გამოცდების ეროვნული ცენტრი

მასწავლებლის ბიბლიოთეკა

ბიოლოგია

თბილისი
2011

აივენგო შათირიშვილი
სულხან ცაგარელი
ილია ლაზრიშვილი

სახელმძღვანელო შედგენილია მასწავლებლის პროფესიული სტანდარტის მიხედვით აგებული პროგრამის შესაბამისად. მასში განხილულია ზოგადი ბიოლოგიის, ადამიანის ანატომიისა და ფიზიოლოგიის ყველა ძირითადი, აქტუალური საკითხი. განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა უჯრედული და განვითარების ბიოლოგიის, ზოგადი და ადამიანის გენეტიკის, ბიომრავალფეროვნებისა და ევოლუციური თეორიის საკვანძო საკითხებს. სახელმძღვანელოში ასახულია ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები ბიოტექნოლოგიის გამოყენებით. ნაშრომში აგრეთვე წარმოდგენილია ბიომეტრიის მნიშვნელოვანი საკითხები.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია ბიოლოგიის პროფილის პედაგოგებისათვის. იგი გარკვეულ სამსახურს გაუწევს აგრეთვე უმაღლესი სასწავლებლების ბიოლოგ და მედიკოს სტუდენტებს.

რედაქტორი - საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპოდენტი **ირაკლი ელიავა**

ენობრივი რედაქტორი - **თეა დულარიძე**

ISBN 978-9941-0-3106-9

© სსიპ გამოცდების ეროვნული ცენტრი, 2011

თავი1. ბიოლოგიის საგანი და ცოცხალი მატერიის თვისებები

1.1. ბიოლოგის კვლევის საგანი და სიცოცხლის არსი

ბიოლოგია ცოცხალი ბუნების, სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებაა. ტერმინი "ბიოლოგია" 1802 წელს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შემოიღეს ფრანგმა მეცნიერმა ჟ. ბ. ლამარკმა და გერმანელმა გ. ტრევირანუსმა. *ბიოლოგია შეისწავლის ცოცხალ არსებათა აგებულებას, ფუნქციებს, გავრცელებას. წარმოშობას, განვითარებას, კავშირს ერთმანეთთან და არაცოცხალ ბუნებასთან.*

ბიოლოგია იკვლევს ყველა იმ თვისებას, რომელსაც ცოცხალი ამჟღავნებს. რა არის სიცოცხლე? ეს პრობლემა დღემდე დიდ ინტერესს იწვევს. სახეობათა დიდი მრავალფეროვნება, ბუნების ამ უნიკალური მოვლენის ცალსახა და ამომწურავ განსაზღვრას ართულებს.

ხშირად ბუნების ჩვეულებრივი და ფართოდ გავრცელებული მოვლენების ფორმულირება რთულია. ეს მაშინ ხდება, თუ მოვლენას ლაბილური ან ნაშლილი საზღვრები აქვს, აგრეთვე, როდესაც მოვლენა რთული შინაგანად წინააღმდეგობრივი კომპონენტებისგან შედგება. ასეთ კატეგორიათა რიცხვს მიეკუთვნება სიცოცხლის ცნება. სადღეისოდ ბიოლოგიის დიდი პროგრესის მიუხედავად, ბევრი რამ სიცოცხლის შესახებ მაინც ამოუცნობი რჩება. მაგალითად, ძნელია განისაზრვროს პერიოდი, როდესაც წყვეტს სიცოცხლეს მცენარე ან ცხოველი. იმ შემთხვევაში როდესაც ადამიანს უწყდება სუნთქვა და უჩერდება გულის მუშაობა, ვამბობთ, რომ იგი გარდაიცვალა. მიუხიდევად იმისა, რომ ადამიანის ორგანიზმში მრავალი უჯრედი აგრძელებს სიცოცხლეს. ზოგჯერ, თუ თავის ტეინის ნეირონებს არ დაუკარგავთ სიცოცხლის უნარი, რეანიმაციის შედეგად ადამიანში სიცოცხლე აღდგება. იგი აგრძელებს ნორმალურ ცხოვრებას. ამრიგად, სიცოცხლე არის განსაკუთრებული და უნიკალური მოვლენა. მისი არსის ახსნა მხოლოდ ფიზიკური და ქიმიური კანონებით შეუძლებელია.

ფენომენი, რომელსაც სიცოცხლეს ვუწოდებთ, ერთი შეხედვით მარტივი ამოსაცნობია. საქმის არსში ჩაუხედავი პირიც კი, ადვილად ანსხვავებს ცოცხალს არაცოცხალისგან. მაგრამ, სიცოცხლის ცნების ზუსტი განსაზღვრისას დიდ სძნელეს აწყდებიან, ვინაიდან კონკრეტული პასუხის გაცემა ძალზე რთულია. უპირველეს ყოვლისა, სიცოცხლე, როგორც ასეთი, ცალკე აბსტრაქტულად არ არსებობს. იგი დისკრეტულია ე.ი. არსებობენ მხოლოდ ცალკეული ცოცხალი ინდივიდები. მეორეც, ამ ცნების განსაზღვრა მოითხოვს მოვლენის ღრმა ცოდნას. ბუნებაში არსებობენ ნაირგვარი სახეობები. მრავალი მათგანი არასრულყოფილად ან საერთოდ შეუსნავლელია.

ფილოსოფოსები და მეცნიერები სიცოცხლის ცნების განმარტებისას ეყრდნობოდნენ იმ თვისებას (მათი შეხედულებით!), რითაც ცოცხალი არაცოცხალისგან განსხვავდება. ასე მაგალითად, სიცოცხლე არის: "კვება, ზრდა და დაუძლურება" (არისტოტელე); "რთული ქიმიური პროცესი" (ა. ლაუაზიე); "ცილოვან სხეულთა არსებობის წესი" (ფ. ენგელსი); "მატერიის მოძრაობის განსაკუთრებული ფორმა" (ა. ოპარინი). ამჟამად სიცოცხლის ცნების საყოველთაოდ აღიარებული ზუსტი განმარტება არ არის შემუშავებული. გვაქვს მხოლოდ განზოგადებული განსაზღვრება: *სიცოცხლე არის გარედან მიღებული ენერგიით, ბიოპოლიმერებისგან (ცილებითა და ნუკლეინის მჟავებით) აგებული სპეციფიური სტრუქტურების შენარჩუნება და თვითნარმოქმნა.* ნუკლეინის მჟავა და ცილა მხოლოდ მაშინ არის სიცოცხლის სუბსტრატი, როდესაც უჯრედშია და ფუნქციონირებს. ისინი უჯრედის გარეშე ქიმიური ნივთიერებებია.

თანამედროვე განსაზღერებით *დედამიწაზე მცხოვრები ნებისმიერი ცოცხალი წარმოადგენს ბიოპოლიმერებისგან - ცილებისა და ნუკლეინის მჟავებისგან აშენებულ ღია, თვითწარმომქნელ და თვითმარეგულირებელ სისტემას.*

სისტემას უწოდებენ ურთიერთ დაკავშირებულ და ურთიერთმოქმედ სტრუქტურების ერთობლიობას (მთლიანობას), რომელშიც განუწყვეტლივ შეედინება და გამოედინება ნივთიერებათა, ენერგიისა და ინფორმაციის ნაკადი. ცოცხალი სისტემა გაცილებით რთულია, ვიდრე არაცოცხალი სისტემები. ნებისმიერი სისტემა შემადგენელი ნაწილების მარტივ ჯამს არ წარმოადგენს. სისტემის სტრუქტურა და ფუნქცია ერთიმეორეს განსაზღვრავენ. მისთვის ნიშანდობლივია მონესრიგებულობა, თვითრეგულაცია და თვითგანვითარება. ბიოლოგიურ სისტემას წარმოადგენს გენოტიპი, უჯრედი, ორგანიზმი, პოპულაცია, ეკოსისტემა და ბიოსფერო. იმის დასადგენად, თუ როგორ მუშაობს სისტემა მისი შემადგენელი ნაწილების სრულყოფილი შესწავლა არ კმარა.

თანამედროვე ეტაპზე ბიოლოგების ძირითადი მიზანია გამოიკელიონ თუ როგორ ფუნქციონირებს მთლიანი სისტემა. ასე მაგალითად, სადღეისოდ კარგადაა შესწავლილი ნეირონი. ადამიანში მრავალ ნეირონთა ერთობლივ მოქმედებასთან არის დაკავშირებული ცნობიერება. ამჟამად არ გაგვაჩნია რეალური წარმოდგენა, თუ როგორ ყალიბდება აზრი და რა არის მისი ქიმიური სუბსტრატი.

1.2. ცოცხალი მატერიის ორგანიზაციული დონეები.

სიცოცხლე დედამიწაზე ნაირგვარი სახით ვლინდება. იგი წარმოდგენილია პროკარიოტული და ეუკარიოტული, ერთუჯრედიანი და მრავალუჯრედიანი ფორმებით. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები, თავის მხრივ, გაერთიანებულია სოკოების, მცენარეთა და ცხოველთა სამეფოებში. არაერთგვაროვნების მიუხედავად ცოცხალი ბუნება იერარქიული ორგანიზაციის მქონე რთული სისტემაა. *როდესაც სისტემის შემადგენელი ურთიერთმოქმედი კომპონენტები (ნაწილები) რიგითობის მიხედვით უმდაბლესიდან უმაღლესისკენაა განლაგებული, მათ იერარქიული ეწოდება.* დაბალი დონიდან მაღალზე გადასელისას თავს იჩენს სრულიად ახალი თვისებები, რომელიც წინა დონეს არ მოეპოვებოდა. დონის თვისებებს შემადგენელი ნაწილების ურთიერთგანლაგება და ურთიერთქმედება განსაზღვრავს. ქვედა ორგანიზაციული დონე მომდევნო ზედა დონის თვისებების განმსაზღვრელია. ცოცხალი ჩვენს პლანეტაზე დისკრეტული ერთეულებით — ორგანიზმების ანუ ინდივიდების სახითაა წარმოდგენილი. ორგანიზმი ერთის მხრივ შეიცავს დაქვემდებარებულ (მაგ. მოლეკულური, უჯრედული...) დონეებს. მეორეს მხრივ, იგი მაკროსისტემის (მაგ. პოპულაცია, სახეობა, ეკოსისტემა ...) ერთეულს წარმოადგენს. სიცოცხლის თითოეული დონე უნიკალური და მრავალფეროვანია. ასე მაგალითად, ცოცხალ სისტემას უჯრედულ დონეზე აქვს საერთო დამახასიათებელი ნიშნები. მაგრამ ეს სისტემები (უჯრედები) ერთმანეთისგან მორფო-ფიზიოლოგიურად განსხვავდება. გამოყოფენ სიცოცხლის შემდეგ ორგანიზაციულ დონეებს:

1. მოლეკულური დონე. სიცოცხლის ორგანიზაციის ყველაზე ძველი და უმდაბლესი დონეა. ის ყველაზე უკეთაა შესწავლილი. აქ გადის საზღვარი ცოცხალსა და არაცოცხალს შორის. ორგანული მოლეკულებით (დნმ, რნმ, ცილა, ლიპიდი, ნახშირწყალი) ხორციელდება სასიცოცხლო პროცესები (ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლა, გენეტიკური ინფორმაციის რეალიზაცია და მომდევნო თაობაში მისი გადაცემა და მისთ.). მოლეკულური დონე ზემდგომი საფეხურების საფუძველია და განსაზღვრავს მათ ხასიათს.

2. უჯრედული დონე. უჯრედი არის ყველა ორგანიზმის სტრუქტურული, ფუნქციური, გამრავლებისა და განვითარების ერთეული. უჯრედი ცოცხალში ფუნდამენტურ დონეს ქმნის, ვინაიდან იგი სიცოცხლისთვის დამახასიათებელ ყველა ზოგად ნიშანს ფლობს. ამრიგად უჯრედი არის სიცოცხლის ელემენტარული ერთეული. სიცოცხლის არაუჯრედული ფორმების - ვირუსების არსებობა ამ დებულებას ადასტურდებს. ვირუსები სასიცოცხლო თვისებებს მხოლოდ მასპინძლის უჯრედში მოხვედრისას ამჟღავნებენ.

3. ქსოვილური დონე. იგი მრავალუჯრედიან ორგანიზმებს გააჩნიათ. ევოლუციის პროცესში წარმოშობით, აგებულებითა და შესასრულებელი ფუნქციით მსგავსი უჯრედებისგან ჩამოყალიბდა ქსოვილები. ისინი ორგანიზმში სპეციფიკურ კონკრეტულ ფუნქციას ასრულებს.

4. ორგანოული დონე. რამდენიმე ქსოვილისგან ფორმირდება ორგანო. იგი არის სხეულის მეტნაკლებად გამოკერძოებული ნაწილი, რომელსაც განსაზღვრული ფორმა, აგებულება, მდებარეობა და სპეციფიკურ ფუნქცია აქვს. ორგანოები, რომელთა კერძო ფუნქციები ერთ ზოგად ფუნქციას შეადგენენ, ერთიანდებიან ორგანოთა სისტემად.

5. ორგანიზმული დონე. ორგანიზმი არის ისეთი ცოცხალი არსება, რომელსაც აქვს ცოცხალის ყველა თვისება და დამოუკიდებლად არსებობა შეუძლია. ერთუჯრედიანებში უჯრედული და ორგანიზმული დონე ერთმანეთს ემთხვევა. იმ გარდაქმნებს, რომელსაც ორგანიზმი განიცდის ჩასახვიდან სიკვდილამდე ონტოგენეზი ენოდება.

6. სახეობრივი (პოპულაციურ-სახეობრივი) დონე. სახეობა არის მორფო-ფიზიოლოგიური ნიშნებით მსგავს ინდივიდთა ერთობლიობა, აქეთ ერთმანეთთან შეჯვარებისა და ნაყოფიერი შთამომავლობის მოცემის უნარი, ქმნიან პოპულაციების სისტემას და გარკვეულ არეალს იკავებენ. სახეობა პოპულაციების სახით არსებობს.

7. ეკოსისტემური დონე. სხვადასხვა სახეობის (მიკროორგანიზმები, სოკოები, მცენარეები, ცხოველები) პოპულაციებისა და მათი საარსებო გარემოს ურთიერთდამოკიდებულებით ყალიბდება მდგრადი დინამიური სისტემა — ეკოსისტემა. იგი შედგება ცოცხალ ორგანიზმთა ერთობლიობისა (ბიოცენოზი) და არაცოცხალი ბუნების კომპონენტებისგან (ეკოტოპი).

8. ბიოსფერული დონე. ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლის ორგანიზაციული დონის, ყველაზე რთული და კომპლექსური, საბოლოო საფეხურია. იგი ყველა ეკოსისტემათა ერთობლიობაა. გარემოდან განუწყვეტლივ იღებს ნივთიერებათა და ენერგიის ნაკადს, ასევე გასცემს მას. ორგანიზაციის ამ დონეზე განუწყვეტლივ მიმდინარებს ენერგიის გარდაქმნა და ნივთიერებათა ბილოგიური მიმოქცევა. ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნება ერთობლივად ფუნქციონირებს, ურთიერთქმედებს, რაც სიცოცხლის შენარჩუნებასა და დედამიწაზე განვითარებას განაპირობებს.

1.3. ცოცხალი მატერიის კრიტერიუმები.

ძნელია მოიძებნოს ისეთი ცალსახა კრიტერიუმი, რომელითაც შესაძლებელია ცოცხალის არაცოცხალისგან გამიჯვნა. ორგანიზმებს მოეპოვებათ ისეთი ნიშნები, რომლებიც არაცოცხალ სისტემათა დიდ ნაწილში არ გვხდება. ამ ნიშნებს შორის ძნელია გამოვყოთ ისეთ, რომელიც მხოლოდ ცოცხალს გააჩნია. ბუნებრივია, არც ერთი ცალკე აღებული კრიტერიუმი ცოცხალსა და არაცოცხალს შორის ზღვარის გასავლებად არ არის

საკმარისი. ამიტომაც, ცოცხალი ორგანიზმების დასახასიათებლად რამდენიმე კრიტერიუმს იყენებენ.

ქვემოთ ჩამოთელილი კრიტერიუმები ერთდროულად, მხოლოდ ცოცხალ სისტემას ახასიათებს. სადღეისოდ არ გაგვაჩნია კრიტერიუმების ისეთი ჩამონათვალი, რომელსაც ყველა გაიზიარებს. სხვადასხვა სახელმძღვანელოში ნაიგვარ, განსხვავებულ კრიტერიუმთა ჩამონათვალს შეხვდებით. იგი ცოცხალი სისტემის სირთულეზე მიგვანიშნებს. ცოცხლი არაცოცხალისგან შემდეგი ძირითადი კრიტერიუმებით განსხვავდება:

1. ქიმიური შედგენილობის ერთიანობა. ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებაში ერთნაირი ქიმიური ელემენტები გვხდება. მიუხედავად ამისა, ისინი ელემენტთა შემცველობით განსხვავდებიან. ცოცხალში დიდი რაოდენობითაა (98%) ე.წ. ორგანოგენული ელემენტები: ნახშირბადი, ჟანგბადი, აზოტი და წყალბადი. ამ ელემენტებისა არის აშენებული რთული ორგანული მოლეკულები, რომლებიც ცოცხალში სპეციფიკურ ფუნქციებს ასრულებს. ნუკლეინის მჟავეები (დნმ, რნმ) უზრუნველყოფს მემკვიდრეობას, ცვალებადობასა და თვითნარმიქმნას. ცილების მრავალ ფუნქციათა შორის აღსანიშნავია საამშენებლო და კატალიზური ფუნქცია. ლიპიდები და ნახშირწყლები ენერგიის ძირითადი წყაროა. ისინი მონაწილეობს მემბრანებისა და უჯრედის კედლის შენებაში.

2. ცოცხალი — ღია სისტემა. ყველა ცოცხალი წარმოადგენს ღია სისტემას. იგი მხოლოდ მაშინ ინარჩუნებს მდგრადობას, როდესაც გარემოდან განუწყვეტლივ იღებს ნივთიერებათა და ენერგიის ნაკადს და გამყოფს ენერგიით ღარიბ ნივთიერებებს - დაშლისა და დაჟანგვის საბოლოო პროდუქტებს.

3. სტრუქტურული ორგანიზაციის ერთიანობა. ცოცხალ სისტემებს მსგავსი სტრუქტურული ორგანიზაცია გააჩნია. ჩვენს პლანეტაზე ბინადარი ყველა ორგანიზმის სტრუქტურულ-ფუნქციური და განვითარების ერთეული არის უჯრედი. დიდი მორფო-ფიზიოლოგიური ნარგეარობის მიუხედავად, ერთუჯრედიანი და მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედები ზოგადი ორგანიზაციით მსგავსია. ცოცხალის სტრუქტურულ ერთიანობას გამოხატავს უჯრედული თეორია.

4. რეპროდუქცია (გამრავლება). მოლეკულურ დონეზე რეპროდუქციის უნარი დნმ-ს აქვს. დნმ-ის რეპლიკაციით ორი იდენტური მოლეკულა ყალიბდება. რეპროდუქციის უნარს ფლობს უჯრედი და ზოგიერთი ორგანოიდი (მაგ., მიტოქონდრია, პლასტიდები და სხვ.). ორგანიზმულ დონეზე რეპროდუქცია უსქესო და სქესობრივი გამრავლებით ხორციელდება. ყველა ცოცხალი ორგანიზმი ფლობს ზოგადი თვისებას, თავისიენ მსგავსი შთამომავლები წარმოქმნას. გამრავლება განაპირობებს სიცოცხლის უწყვეტობას დედამინაზე.

5. მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა. მემკვიდრეობითობა არის ცოცხალ ორგანიზმთა თვისება გამრავლების პროცესში მემკვიდრული ინფორმაცია გადასცეს შთამომავლებს. მემკვიდრულ ინფორმაციას დნმ (ზოგიერთ ვირუსში რნმ) შეიცავს. დნმ-ში არსებული ინფორმაციის მიხედვით ყალიბდება კონკრეტული ორგანიზმი, რომელშიც მიმდინარეობს მისთვის ნიშანდობლივი სასიცოცხლო პროცესები. მემკვიდრეობითობას გენეტიკური აპარატის (გენეტიკური ნივთიერების) სპეციფიკური ორგანიზაცია – ***გენეტიკური კოდი*** განსაზღვრავს. ***დნმ-ის მოლეკულაში ნუკლეოტიდთა სპეციფიკურ თანამიმდევრობას, რომელიც განსაზღვრავს ცილის მოლეკულაში ამინომჟავათა შესაბამისი წესით განლაგებას გენეტიკური კოდი ეწოდება.***

ცვალებადობა არის ორგანიზმის თვისება, გენეტიკური მასალის ცვლილებით ან გენთა რეკომბინაციით შეიძინოს ახალი ნიშან-თვისებები. იგი მემკვიდრეობითობის საპირისპირო მოვლენაა და ორგანიზმთა მრავალფეროვნებას განაპირობებს.

6. ავტორეგულაცია. ცოცხალი მატერიისგან განსხვავებით არაცოცხალი გარემო ფაქტორების მოქმედებით ადვილად იშლება. გარემო ფაქტორები მოქმედებენ ორგანიზმზე. ორგანიზმებს მოეპოვება თვითრეგულაციის უნიკალური თვისება, რომლის შედეგად ისინი ინარჩუნებენ სტრუქურას და შინაგანი გარემოს მუდმივ შემადგენლობას. ორგანიზმთა მიერ მუდმივად ცვლად გარემოში სტაბილური მდგომარეობის შენარჩუნების უნარი არის მათი გადარჩენის საფუძველი. ორგანიზმის უნარს შეინარჩუნოს სასიცოცხლო პროცესების დინამიური წონასწორობა-მდგრადობა ***ჰომეოსტაზი*** ეწოდება. ავტორეგულაციის თვისება ცოცხალს საშუალებას აძლევს შინარჩუნოს სასიცოცხლო პროცესების დინამიური წონასწორობა-მდგრადობა ბიოლოგიური ორგანიზაციის ყველა დონეზე, დაწყებული მოლეკულურიდან ბიოსფეროს ჩათვლით.

7. მეტაბოლიზმი. ცოცხლი სისტემებისათვის დამახასიათებელია ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლა. ორგანიზმი გარემოდან განუწყვეტლივ შთანთქავს ენერგიით მდიდარ საკვებ ნივთიერებებს და გარემოში გამოყოფს მარტივ, ენერგიით ღარიბ ნივთიერებებს. ნივთიერების გარდაქმნის რეაქციათა ერთობლიობას, ორგანიზმში მოხვედრიდან დაშლის საბოლო პროდუქტების გარემოში გამოყოფამდე ***მეტაბოლიზმი*** ეწოდება. ორგანიზმში მოხვედრილი ნივთიერებების ერთი ნაწილის ქიმიური გარდაქმნით ორგანიზმისათვის ნიშანდობლივი ნაერთები სინთეზირდება. ორგანიზმი მას საამშენებლოდ იყენებს. ბიოსინთეზის პროცესთა ერთობლიობას ***პლასტიკური ცვლა*** (ანუ ასიმილაცია, ანაბოლიზმი) ეწოდება. ორგანიზმში მოხვედრილი ნივთიერებების სხვა ნაწილი იშლება და იჟანგება და გამოიყოფა ქიმიური ენერგია. იგი სხვადასხვა სასიცოცხლო პროცესებს ხმარდება. ნივთიერებათა დაშლის პროცესთა ერთობლიობას, რომელიც ორგანიზმს ენერგიით უზრუნველყოფს ***ენერგეტიკული ცვლა*** (ანუ დისიმილაცია, კატაბოლიზმი) ეწოდება. მცენარეებს და ციანობაქტერიებს (ჰეტეროტროფებისგან განსხვავებით) მოეპოვება ასიმილაციის სპეციფიკური ფორმა. ისინი ფოტოსინთეზის გზით არაორგანული ნივთიერებებიდან ენერგიით მდიდარ საკვებ ორგანულ ნივთიერებებს ასინთეზებენ. მეტაბოლიზმის შენყვეტა ყოველთვის სიცოცხლის უნარიანობის საბოლოო დაკარგვას არ ინვევს. მაგ. გამომშრალ თესლებსა და დაბალ ტემპერატურაზე გაყინული მცირე ზომის ორგანიზმებს ნორმალურ პირობებში დაბრუნებისას მეტაბოლიზმი აღუდგებათ. ზოგიერთ ორგანიზმს ანაბიოზში გადასვლის უნარი გააჩნია.

8. გაღიზიანებადობა. ყველა ცოცხალ ორგანიზმს აქვს გარეგან და შინაგან გამღიზიანებელ ფაქტორზე

ადეკვატური რეაგირების უნარი, რაც მათ ხელს უწყობს შეეგუოს საარსებო გარემოს.

9. მოძრაობა. ცოცხალ სისტემას ან მათ ნაწილებს აქვს სივრცეში გადაადგილების უნარი. ცხოველებს, მცენარეებისაგან განსხვავებით გარემოში აქტიურად გაადგილება შეუძლიათ, რაც ხელს უწყობს შეეგუონ საარსებო გარემოს და მოიპოვონ საკვები. ერთუჯრედიანები გარემოში ცრუფეხებით, შოლტებითა ან ნამწამებით გადაადგილდებიან. მრავალუჯრედიანი ცხოველები კუნთების მეშვეობით მოძრაობენ, რომელსაც ნერვული სისტემა არეგულირებს. მცენარეთა ორგანობი ნელა მოძრაობს. ასე მაგალითად, მცენარეები ყლორტებსა და ფოთლებს ნელი მოძრაობით სინათლისკენ მიმართავენ (ფოტოტროპიზმი).

10. ზრდა და განვითარება. ცოცხალ ორგანიზმებს ახასიათებთ ზრდა — მასის მატება. ზრდა ორგანიზმში უჯრედების რიცხვის და მათი ზომის გადიდების შედეგია. ზოგიერთი ორგანიზმი მთელი სიცოცხლის მანძილზე იზრდება (ე.წ. *განუსაზღვრელი ზრდა.* მაგ. თევზები, ამფიბიები, რეპტილიები და სხვ.), ზოგი, კი გარკვეულ ასაკამდე (ე.წ. *განსაზღვრული ზრდა.* მაგ. მწერები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები და სხვ.). ზოგიერთ არაცოცხალსაც აქვს ზრდის (მაგ. სტალაქტიტი, კრისტალები, ყინულის ლოლუა...) უნარი. მათი ზრდა მსგავსი ერთეულების გარედან დამატებით ხდება. ცოცხალს შინაგანი (ახალი შინაგანი სტრუქტურების წარმოქმნის შედეგად) ზრდა ახასიათებს.

ორგანიზმის ზრდა დაკავშირებულია ინდივიდუალურ განვითარებასთან. განვითარება არის მორფოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ თანამიმდევრულ გარდაქმნათა ერთობლიობა, რომელთაც ორგანიზმი განიცდის ჩასახვიდან სიკვდილამდე.

11. ადაპტაცია. ორგანიზმს ევოლუციის პროცესში ჩამოუყალიბდა მორფო-ფიზიოლოგიურ თავისებურებათა ერთობლიობა, რომელიც ხელს უწყობს მის კონკრეტულ საარსებო გარემოში არსებობას. ცოცხალ სისტემას ისტორიული განვითარების –ევოლუციის უნარი გააჩნია. ევოლუციის შედეგად საარსებო გარემოსადმი შეგუებული ფორმები ყალიბდება.

1.4. ბიოლოგიის ადგილი მეცნიერებათა სისტემაში

ამ საკითხის განხილვამდე მიზანშეწონილია პასუხი გაეცეს კითხვას: რა არის მეცნიერება? ზოგის შეხედულებით მეცნიერება შეგროვებული ფაქტების კომპლექტია, სხვების შეხედულებით — თეორიათა ერთობლიობა, დანარჩენების აზრით — მეთოდების ერთობლიობა. მეცნიერება სამივე ჩამონათვალს მოიცავს. ხშირად მეცნიერება ფაქტებისა და თეორიების კოპლექტად წარმოუდგენიათ, რაც სინამდვილეს არ შეესაბამება. მეცნიერება რაღაცით ცოცხალს ჩამოჰგავს, იგი მუდამ ვითარდება, იზრდება და სრულყოფილებისკენ ისწრაფვის.

მეცნიერება არის ადამიანის მოღვაწეობის სფერო, რომლის მიზანს შეადგენს ბუნების, საზოგადოებისა და აზროვნების შესახებ ობიექტური, ჭეშმარიტი ცოდნის სისტემატიზაცია აბსტრაქტულ-ლოგიკური ფორმით. მეცნიერების უშუალო ამოცანაა სინამდვილის მოვლენებისა და პროცესების აღწერა, ახსნა და პროგნოზირება, მის მიერ აღმოჩენილი კანონზომიერებების საფუძველზე.

მეცნიერული მოღვაწეობის საფუძველია,ფაქტების შეგროვება, მათი სისტემატიზაცია, კრიტიკული ანალიზი, მათ საფუძველზე ახალი ცოდნის სინთეზი და განზოგადება. იგი არა მარტო აღწერს ბუნებაში მიმდინარე ან საზოგადოებრივ მოვლენებს, არამედ ადგენს მიზეზ-შედეგობრივ კავშირებს.

მეცნიერების მიზანია შეიცნოს და ახსნას გარემომცველ სამყაროში მიმდინარე მოვლენები და კანონების, თეორიებისა და პრინციპების სახით ჩამოაყალიბოს. მეცნიერული მიღწევები დანერგოს პრაქტიკაში და ამით გააუჯობესოს ადამიანთა ცხოვრების პირობები. ასევე შესძლოს მომავლის პროგნოზირება და დაეუფლოს გარკვეული პროცესების მართვას.

მეცნიერებას პირობითად ოთხ ჯგუფად ყოფენ:

ჯგუფი	მეცნიერება
საზოგადოებრივი და პუმანიტარული	ანთროპოლოგია, არქეოლოგია, ენათმეცნიერება, ისტორია, ეკონომიკა ლიტერატურათმცოდნეობა, პედაგოგიკა, ფსიქოლოგია, პოლიტოლოგია, სოციოლოგია, ფილოსოფია, იურისპრუდენცია, ეთნოგრაფია, ხელოვნებათმცოდნეობა და სხვ.
ზუსტი	მათემატიკა
საბუნებისმეტყველო	ფიზიკა, ქიმია, ასტრონომია, ბიოლოგია, დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები (გეოლოგია, ფიზიკური გეოგრაფია)
ტექნიკური	ინფორმატიკა, ბიოტექნოლოგია, კიბერნეტიკა, ბიონიკა, აგრონომია, მშენებლობა და არქიტექტურა, მექანიკა, ენერგეტიკა და სხვ.

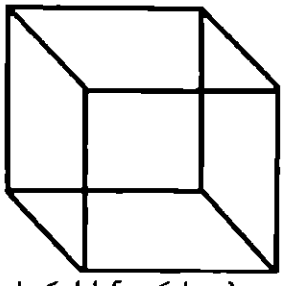
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები ბუნებაში მიმდინარე პროცესებსა და მოვლენებს იკვლევს. ბიოლოგია იკვლევს ცოცხალ სისტემებს, ფიზიკა -– მატერიალური სამყაროს კანონზომიერებებს, ქიმია — მატერიალური სამყაროს ნივთიერებებს, ასტრონომია — ციურ სხეულებს, დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები — პლანეტა დედამიწას.

1.5. ბიოლოგიის კვლევის მეთოდები

მეცნიერული მეთოდი. განვითარების მთელი ისტორიის მანძილზე ადამიანი აკვირდებოდა და ცდილობდა შეეცნო ცოცხალი ბუნება. ბოლო საუკუნეებში მეცნიერული ცოდნა ორგანული სამყაროს შესახებ საკმაოდ გაღრმავდა და გაფართოვდა. ამ პერიოდში გაცილებით მეტი ცოდნა დაგროვდა, ვიდრე მთლიანად ათასწლეულების მანძილზე. XX საუკუნის მეორე ნახევარიდან ბიოლოგია სწრაფი ტემპებით ვითარდება. ეს პროცესი მეცნიერული მეთოდის გამოყენებამ და მისმა სრულყოფამ გამოიწვია.

ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები (ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია...) მეცნიერული მეთოდით იკელევენ. მეცნიერული მეთოდი შემდეგ ეტაპებს მოიცავს: ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებზე დაკვირვებას, ჰიპოთეზის ჩამოყალიბებას, რომლითაც ხსნიან მოვლენას და პიპოთეზიდან გამომდინარე დასკვნების ექსპერიმენტულ შემოწმებას.

ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებს ინტელექტუალური ცნობისმოყვარეობით ვამჩნევთ და გრძნობათა ორგანოებით ვაკვირდებით. მაგრამ ამ ორგანოთა მიერ აღქმულმა ინფორმაციამ შეიძლება შეცდომაში შეგვიყვანოს. მაგალითისათვის ნეკერის კუბის დასახელებაც კმარა *(სურ. 1.1)*. თუ წარმოდგენილ ნახაზს შევხედავთ, მოგვეჩვენება, რომ იგი სამგანზომილებიანი გამჭვირვალე კუბია. სინამდვილეში კი ერთ სიბრტყეზე (ქაღალდზე) განლაგებული ხაზებია. თუ ნახაზს რამდენიმე წამს თვალს არ მოვაცილებთ, შევნიშნავთ, რომ უკანა გვერდი წინ გამოიწევა. თუ კვლავ გავაგრძელებთ ყურებას, ზედაპირი კვლავ საწყის მდებარეობას დაიკავებს. ბუნებრივია, სინამდვილეში ნახაზი არ მოძრაობს. ამრიგად, ჩვენმა მხედველობის ორგანომ შეცდომაში შეგვიყვანა. ამასთანავე გრძნობათა ორგანოების გარჩევის უნარი შეზღუდულია, ამიტომაც ცდებში ნაირგვარ ზუსტ ხელსაწყოებს და კომპიუტერულ სისტემას იყენებენ. მათი მეშვეობით მოიპოვებენ სარწმუნო ინფორმაციას, თვალს ადევნებენ ცდის მსვლელობას და ამუშავებენ მოპოვებულ ინფორმაციას.



სურ. 1.1. ნეკერის კუბი.

ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებზე დაკვირვებით მეცნიერს მრავალი კითხვა ებადება. მეცნიერული მეთოდის საწყისი ეტაპი პრობლემის დასახვაა. შესასწავლი პრობლემები უსაზღვროდ ნაირგვარია. ზოგიერთი მათგანის შესწავლა გავლენას არ ახდენს მეცნიერების განვითარებაზე, ზოგიერთი კი მეცნიერების განვითარებასა და ადამიანთა კეთილდღეობას იწვევს. ბუნებრივია, მეცნიერული პრობლემის დასახვისას ამ მხარეს ითვალისწინებენ. ამუშავებენ ისეთ პრობლემებს, რომლებიც კაცობრიობისა და მეცნიერების პროგრესს ემსახურება. ალბერტ აინშტაინის აზრით ყველაზე რთული პრობლემის მკაფიოდ და დახვეწილად ჩამოყალიბებაა.

კვლევის შემდეგ ეტაპზე მეცნიერი ინდუქციური მსჯელობით შესასწავლ პრობლემაზე სავარაუდო პასუხს - ჰიპოთეზას აყალიბებს. იგი აგროვებს პრობლემის შესახებ არსებულ ინფორმაციას. ფორმულირებული ჰიპოთეზის დასასაბუთებლად სათანადო ექსპერიმენტს გეგმავს, რომელსაც სათანადო მეთოდების მეშვეობით ანხორციელებს. მიღებული შედეგის საფუძველზე გამოაქვს დასკვნა. იგი არის პასუხი დაკვირვების შედეგად წამოჭრილ პრობლემაზე. როდესაც ჰიპოთეზა მრავალი ექსპერიმენტით (დაკვირვებით) დასტურდება და მას მეცნიერული წრეები აღიარებენ, იგი უკვე თეორიას წარმოადგენს.

საბუნებისმეტყველო, მათ შორის თანამედროვე ბიოლოგიური მეცნიერებები მეცნიერული მეთოდით ხელმძღვანელობს. მისი განხორციელება ბიოლოგიაში კერძო მეთოდების მთელი სისტემით ხდება. ბიოლოგიური კვლეეის კერძო მეთოდებია: აღწერითი, შედარებითი, ისტორიული, ექსპერიმენტული.

აღწერილობითი მეთოდი. იგი უძველესი მეთოდია. მცენარეებისა და ცხოველების შესწავლისას, ფაქტობრივი მასალის შეგროვებასა და აღწერას ფართოდ იყებებდნენ ძველი მსოფლიოსა და საშუალო საუკუნის მეცნიერები. ცოცხალ ორგანიზმთა (მიკროორგანიზმები, სოკოები, მცენარეები, ცხოველები) სისტემატიკაში აღნერილობით მეთოდს ამჟამადაც არ დაუკარგავს მნიშვნელობა.

შედარებითი მეთოდი. ორგანიზმების აგებულების, ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური პროცესების შედარებით მათ ურთიერთ მსგავსებასა და განსხვავებას ადგენენ. ამ მეთოდით მიღებული შედეგების საფუძველზე ჩამოაყალიბეს უჯრედული თეორია, ასევე დასაბუთეს ცოცხალი სამყაროს ეეოლუციური განვითარება. ამჟამად ამ მეთოდს ბიოლოგიის მრავალი დარგი (შედარებითი ანატომია, შედარებითი ჰისტოლოგია, შედარებითი ბიოქიმია და სხვ.) იყენებს.

ისტორიული მეთოდი. ამ მეთოდმა პოპულარობა ჩ. დარვინის შრომების აღიარების შემდეგ მოიპოვა. მისი საშუალებით შესაძლებელია გავიაზროთ მიღებული შედეგი და შევადარით წარსულში არსებულ მეცნიერულ შეხედულებას. ამ მეთოდით იკელევენ ორგანული სამყაროს ისტორიულ განვითარებას გეოლოგიურ წარსულში, ცალკეული ტაქსონის (ტიპი, კლასი, რიგი და მისთ.) ფილოგენეზს.

ექსპერიმენტული მეთოდი. ეს მეთოდი ბიოლოგიაში შემოიტანა უ. პარვეიმ, რომლითაც ადამიანში სისხლის მიმოქცეეა შეისწავლა. დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა გ. მენდელის ცდებს, რომელიც ექსპერიმენტული მეთოდის კლასიკურ ნიმუშადაა მიჩნეული. მენდელმა ექსპერიმენტული მეთოდით არა მარტო მემკვიდრეობითობის მოელენა შეისწავლა, არამედ წამოყენებული ჰიპოთეზის მართებულებაც შეამოწმა. ამჟამად ბიოლოგიაში ექსპერიმენტულ მეთოდს წამყვანი ადგილი უჭირავს. ამას ხელი შეუწყო ბიოლოგიურ ცდებში ურთულესი აპარატურის (ელექტრონული მიკროსკოპი, დნმ-სექვენატორი, ქრომატოგრაფი და მისთ.) მომარჯვებასთან

ერთად, ფიზიკისა და ქიმიის მეთოდების გამოყენებამ. ექსპერიმენტის უმაღლესი ფორმა არის მოდელირება. ასე მაგალითად, კომპიუტერული მოდელირებით იკელევენ ეეოლუციის ძირითად მიმართულებებს, ეკოსისტემის განვითარებას, ბიოსფეროში გლობალურ კლიმატური და ტექნოგენური ცვლილებებით გამოწვეულ მოსალოდნელ შედეგებს.

ამჟამად ბიოლოგია განვითარების ახალ ეტაპზე გადადის. ექსპერიმენტული მეთოდისა და სისტემურ-სტრუქტურული მიდგომით ახალი მიმართულება – *სისტემური ბიოლოგია* ჩამოყალიბდა. მისი მიზანია დაადგინოს, თუ როგორ მოქმედებს სისტემის ერთი ან მეტი შემადგენელი ნაწილის ცვლილება მთლიან სისტემასა და მის შემადგენელ სხვა ნაწილებზე. ასე მაგალითად, მოქმედებს თუ არა სამკურნალო პრეპარატი სამიზნე ორგანოს გარდა ადამიანის სხვა ორგანოებზე და ხომ არ აქვს იგი უარყოფით გვერდით ეფექტს? როგორ იმოქმედებს ბიოსფეროსა და მის შემადგენელ სტრუქტურებზე (ეკოსისტემა, სახეობა, პოპულაცია) ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის თანდათანობითი ზრდა?

1.6. ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სისტემა

ბიოლოგიის განვითარება მიმდინარეობდა საკელეი ობიექტის თანდათანობითი გამარტივებისა და დიფერენციებს გზით. შემეცნების ამ გზას "რედუქციონიზმს" უნოდებენ. ცოცხალი ბუნების განვითარების ზოგადი კანონზომიერებების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ცალკეულ ორგანიზმთა შესწავლისა და ურთიერთშედარების (სინთეზის) საფუძველზე.

ბიოლოგიური დარგებიდან რედუქციონიზმის (დიფერენციაციის) შედეგად დამოუკიდებელ დისციპლინებად ყველაზე ადრე ჩამოყალიბდა ზოოლოგია და ბოტანიკა (ზოოლოგია იკელევს ცხოელთა, ბოტანიკა კი მცენარეთა სამეფოს).

ორივე მიმართულება განვითარების შედეგად მოგვიანებით ვინრო დარგებად დაიყო. ზოოლოგიაში გამოიყო: პროტოზოოლოგია, რომელიც სწავლობს ერთუჯრედიან ცხოველებს — პროტისტებს (ამჟამად ამ ორგანიზმებს პროტოკტისტების სამეფოში აერთიანებენ). ენტომოლოგია — მწერებს, იქთიოლოგია—თევზებს, ორნითოლოგია –-ფრინველებს, პარაზიტოლოგია — პარაზიტ ცხოველებს და სხე. ბოტანიკაც მრავალ დარგად დაიყო: ალგოლოგია, რომელიც სწავლობს წყალმცენარეებს, ბრიოლოგია — ხავსებს, დენდროლოგია- მერქნიან მცენარეებს (ხეებსა და ბუჩქებს) და სხე. ბოტანიკას გამოეყო და დამოუკიდებელ სამეფოდ ჩამოყალიბდა მიკოლოგია — იკელევს სოკოებს.

კვლევის ობიექტის მიხედვით ცალკე დარგად ფორმირდა მიკრობიოლოგია- სწაელობს მიკროორგანიზმებს, რომელსაც გამოეყო ვირუსოლოგია – იკელევს ვირუსებს, ბაქტერიოლოგია — ბაქტერიებს.

ორგანიზმთა მრავალფეროვნებასა და მათ განაწილებას ტაქსონომიურ ჯგუფებში სწაელობს სისტემატიკა. ორგანიზმების ურთიერთობას სხვა ინდივიდებთან და გარემოსთან შეისწავლის მეცნიერება ეკოლოგია. გეოგრაფიულ განაწილებას ადგენს ბიოგეოგრაფია (ფიტოგეოგრაფია და ზოოგეოგრაფია), წყალში ბინადარ ცხოველებს ჰიდრობიოლოგია. პალეონტოლოგია სწავლობს ნამარხ ფორმებს, რომლებიც ცხოერობდნენ შორეულ წარსულში. ამ ოგანიზმებიდან ზოგი ამომწყდარია, ზოგიც დღესაც აგრძელებს არსებობას.

ორგანიზმის აღნაგობას შეისწავლის მორფოლოგიური დარგები: ანატომია- სწაელობს სტრუქტურათა აგებულებას შეუიარაღებელი თვალით, ჰისტოლოგია—იკელევს ქსოვილებს მიკროსკოპით, უჯრედული ბიოლოგია (ძვ. სახელწოდებაა ციტოლოგია) — უჯრედს.

ორგანიზმში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებს სწავლობს ფიზიოლოგია. ორგანიზმის მემკვიდრუულობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებებს — გენეტიკა. ინდივიდური განვითარების კანონზომიერებებს — განვითარების ბიოლოგია, მის შემადგენლობაში შედის ემბრიოლოგია.

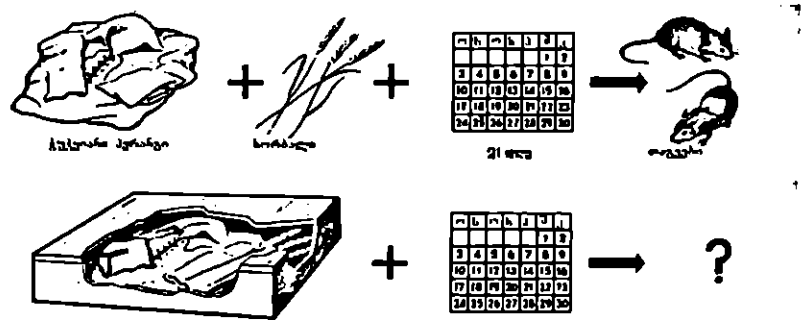
ბიოლოგიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დარგია ეეოლუციური თეორია (ბიოეეოლუცია), რომელიც სწაელობს ორგანული სამყაროს ისტორიული განვითარების კანონზომიერებებს.

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისათვის და კერძოდ ბიოლოგიისათვის დამახასიათებელია ადრეთვე სხვადასხვა დარგების ერთმანეთში შეჭრის და ინტეგრაციის (გაერთიანების) ტენდენციები. "ინტეგრალიზმის", შედეგად ბიოლოგიაში ჩამოყალიბდა ბიოქიმია—სწავლობს ორგანიზმის ქიმიურ შედგენილობას და მასში მიმდინარე პროცესებს. ბიოფიზიკა- იკელევს ორგანიზმში მიმდინარე ფიზიკურ და ფიზიკო-ქიმიურპროცესებს. ბიოქიმიის, მიკრობიოლოგიისა და გენეტიკის მიჯნაზე ჩამოყალიბდა მოლეკულური ბიოლოგია. ცალკე დარგად ჩამოყალიბდა რადიობიოლოგია, ბიოკიბერნეტიკა და კოსმოსური ბიოლოგია. სოციალურ მეცნიერებათა და ბიოლოგიის მიჯნაზე ჩამოყალიბდა ანთროპოლოგია და ბიოსოციოლოგია. ბიოლოგიაში შეიჭრა მათემატიკა, რის საფუძველზეც ჩამოყალიბდა ბიომეტრია. კომპიუტერიზაციამ ხელსაყრელი პირობები შექმნა თეორიული ბიოლოგიის განვითარებისათვის.

თავი 2. სიცოცხლის წარმოშობა დედამიწაზე

დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობა ბიოლოგიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და რთულად გადასაწყვეტი პრობლემაა. იგი მუდამ იპყრობდა სწავლულთა ყურადღებას. აღნიშნული პრობლემა მეცნიერების ისტორიული განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე სხვადასხვაგვარად განიხილებოდა. დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ მრავალი მახვილგონივრული ჰიპოთეზაა მოწოდებული. ისინი შეიძლება ორ ჯგუფად დაეყოთ. *1. აბიოგენეზის* კონცეფცია. ამ შეხედულების მიხედვით, ცოცხალი არაცოცხალი მატერიიდან წარმოიშვა. *2. ბიოგენეზის* კონცეფცის მიხედვით, ცოცხალი მხოლოდ ცოცხალისგან წარმოიქმნება. შემოთავაზებულ ჰიპოთეზებს შორის აღსანიშნავია: 1. კრეაციონისტული; 2. თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვა); 3. სტაციონარული მდგომარეობის (მარადიულობის); 4. პანსპერმიის (კოსმიური); 5. ბიოქიმიური ევოლუციის.

კრეაციონისტული ჰიპოთეზის მიხედვით, სიცოცხლე შეიქმნა განსაზღვრულ პერიოდში ზებუნებრივი ძალის (ღმერთის) ერთჯერადი შემოქმედებითი აქტის შედეგად. ამ შეხედულებას ავითარებენ დღეს ფართოდ გავრცელებული მონოთეისტური (იუდაიზმი, ქრისტიანობა, ისლამი) რელიგიები. იუდაისტურ-ქრისტიანული ტრადიციული შეხედულება გადმოცემულია დაბადებაში [1.1-26] და დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია გაეცნოს. კრეაციონისტული ჰიპოთეზა პასუხობს შეკითხვას: ,,რატომ?", მეცნიერებამ კი უნდა უპასუხოს შეკითხვას: ,,რა გზით?". საბუნებისმეტყველო მეცნიერება შეისწავლის იმ მოვლენებს, რომლებზედაც დაკვირვებაა შესაძლებელი. ამდენად იგი ვერასდროს ვერ შეძლებს უარყოს ან დაასაბუთოს კრეაციონისტული ჰიპოთეზა.



სურ. 2.1. ვან პელმონტის ექსპერიმენტი: ჭუჭყიანი პერანგისა და ხორბლისგან სიბნელეში 21 დღეში თაგვების მიღების ხერხი. ქვემოთ — მეცნიერს პარალელურად უნდა ჩაეტარებია ექსპერიმენტის საკონტროლო ვარიანტი.

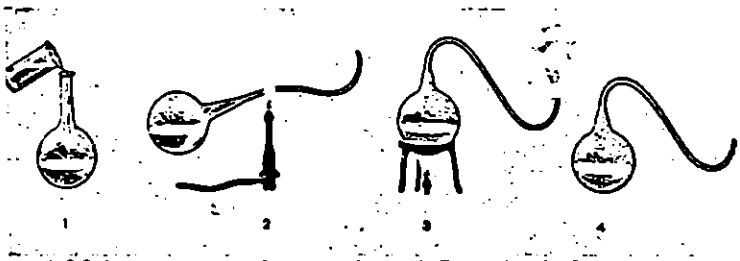
თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვის) ჰიპოთეზის თანახმად, სიცოცხლე მრავალჯერ წარმოიშვა თავისთავად (სპონტანურად) არაცოცხალი ნივთიერებებისგან. იგი კრეაციონისტული კონცეფციის ალტერნატიულ ჰიპოთეზას წარმოადგენს. ამდაგვარი აბიოგენეზის კონცეფცია გავრცელებული იყო ძველ მსოფლიოში (ჩინეთი, შუამდინარეთი, ეგვიპტე, საბერძნეთი). ზოგიერთი სწავლული ავითარებდა აბსურდულ შეხედულებას, რომ ,,ზოგიერთი ხე დებს კვერცხს" (ემპიდოკლე), "შლამისგან ჭიაყელა, ხოლო ხორცისგან ტილი წარმოიქმნება" (არისტოტელე). XVIII საუკუნეში გამოჩენილმა ექიმმა და ბუნებისმეტყველმა ვან ჰელმონტმა ჩაატარა ცდა და აღწერა ჭუჭყიანი პერანგისა და ხორბლისგან სიბნელეში 21 დღეში თაგვების მიღების წესი *(სურ 2.1)*. თვითჩასახვის კონცეფციას იზიარებდა XVIII – XIX სს. მრავალი გამოჩენილი ბუნებისმეტყველი, მათ შორის, ჟან ბატისტ ლამარკი.

იტალიელმა ექიმმა და ბუნებისმეტყველმა ფრანჩესკო რედიმ (აღიარებდა ბიოგენეზის კონცეფციას) 1688 წ. ჩატარებული ცდებით დაასაბუთა თვითჩასახვის გზით ცოცხალი ორგანიზმების წარმოშობის შეუძლებლობა. მან რვა ქილაში ჩაანყო ხორცის ნაჭრები. ნახევარს მარმაში გადააფარა, დანარჩენი კი თავისია დატოვა. თავისია ქილებში მართლაც გაჩნდნენ მატლები, მაგრამ არა თვითჩასახვის შედეგად, არამედ ბუზების მიერ დადებული კვერცხებიდან. აქედან მან დაასკვნა, რომ ცოცხალი მხოლოდ ცოცხალისგან წარმოიშვება *(სურ. 2.2)*.

მიკროორგანიზმების აღმოჩენამ ხელი შეუწყო თვითჩასახვის ჰიპოთეზის ხელახალ აღორძინებას. აბიოგე-



სურ. 2.2. ფრანჩესკო რედის მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტი.



სურ. 2.3. პასტერის ცდის მოდელი. 1. კოლბაში თავსდება მიკრობთა საკვები არე (ბულიონი). 2. კოლბის ყელს ეძლევა S-ის ფორმა. 3. კოლბაში ჩასხმული საკვები არე სტერილდება. 4. კოლბაში მოთავსებული საკვები არე გარემოსთან უშუალოდ არის დაკავშირებული. ჰაერიდან კოლბაში მიკრობები და მტვრის ნაწილაკები ვერ იჭრებიან. ისინი S-ისებური მილის ქვედა მუხლში ილექებიან. ბულიონში თვითჩასახვით ცოცხალ არსებათა წარმოქმნა არ ხდება.

ნეზის მომხრენი ამტკიცებდნენ, რომ არაცოცხალი მატერიიდან მხოლოდ პრიმიტიული ფორმები (მიკროორგანიზმები) წარმოიქმნება. გამოჩენილმა ფრანგმა მეცნიერმა ლუი პასტერმა 1862 წელს მახვილგონიერული მარტივი ცდით დაამტკიცა თვითჩასახვის გზით მიკროორგანიზმების წარმოშობის შეუძლებლობა. პასტერმა კოლბაში ბულიონი (მიკრობების საკვები არე) მოათავსა. კოლბის ყელს S-სებრი მინის მილი მიარჩილა და გაასტერილა. კოლბაში ჰაერი თავისუფლად შედიოდა, მაგრამ მიკრობები ვერ იჭრებოდა *(სურ 2.3)*. პასტერმა გაითვალისწინა ოპონენტთა არგუმენტი, კერძოდ, გარემოსგან იზოლირებულ დახშულ არეში ცოცხალი არ წარმოიქმნება. კოლბის შიგთავსი, გარემოსთან უშუალო კავშირის მიუხედავად, თვეების მანძილზე სტერილური რჩებოდა. პასტერმა დაასაბუთა, რომ ორგანული ნაერთების შემცველ სითხეში (ბულიონში) მიკროორგანიზმები თვითჩასახვით კი არ ჩნდება, არამედ გარემოდან ხვდება და ხელსაყრელ პირობებში მრავლდება.

ამჟამად დედამიწაზე თვითჩასახვის გზით სიცოცხლის წარმოშობა ორი მთავარი მიზეზის გამო შეუძლებელია. გარემოში არსებული ჟანგბადი (თავდაპირველ ატმოსფეროში იგი არ იყო) ზემოქმედებს ორგანულ ნივთიერებებზე, შლის ან მათ ინაქტივაციას ინვევს. მეორე ფაქტორი რედუცენტების (ბაქტერიები, სოკოები და სხვ.) მოქმედებაა. ისინი შთანთქავენ და შლიან ორგანულ ნივთიერებებს.

სტაციონარული მდგომარეობის (მარადიულობის) ჰიპოთეზის თანახმად, როგორც დედამიწა, ისე მასზე დასახლებული სახეობები მუდმივად არსებობდნენ. დედამიწაზე ყოველთვის იყო სიცოცხლისათვის აუცილებელი პირობები. ჰიპოთეზა ნამოყენებულია 1880 წელს გერმანელი მეცნიერის ვ. პრეიერის მიერ. ამ ჰიპოთეზის მომხრეებს მიაჩნიათ, რომ სახეობები არასდროს წარმოშობილან. ისინი არ იზიარებენ შეხედულებას, რომ გეოლოგიურ ეპოქებში ხდებოდა გარკვეული სახეობების წარმოშობა, განვითარება, ხოლო ზოგიერთი მათგანის ამონყდომა. ამ დებულების უარსაყოფად მოჰყავთ შემდეგი არგუმენტი: პალეონტოლოგიური მონაცემებით, მტევანფარფლიანი თევზები ამონყდნენ ცარცული პერიოდის ბოლოს ანუ 70 მილიონი წლის წინ. მაგრამ მას შემდეგ, რაც ინდოეთის ოკეანეში 1953 წელს (კუნძულ მადაგასკართან) პირველად მოიპოვეს მტევანფარფლიანი თევზი ლატიმერია, საჭირო გახდა ამ დასკვნის შესწორება. მათი შეხედულებით დღეს არსებული სახეობებისა და ნამარხი ფორმების შედარებით შესაძლებელია მხოლოდ გაირკვეს, ამონყდა თუ არა კონკრეტული სახეობა. ისინი ნამარხი ფორმების არსებობას ეკოლოგიურ ასპექტში განიხილავენ, კერძოდ, რიცხოვნობის ცვლილებით ან მათი ხელსაყრელ პირობებში მიგრაციით.

პანსპერმიის (კოსმიური) ჰიპოთეზის მიხედვით, სიცოცხლე შეიძლება წარმოშობილიყო ერთხელ ან მრავალჯერ, დროის სხვადასხვა პერიოდში ჩვენი გალაქტიკის ან კოსმოსის სხვადასხვა ნაწილში (უბანში) (ე. ი. განსხვავებულ დროსა და სივრცეში). შემდგომში მოხდა ცოცხალის განსახლება კოსმოსში, საიდანაც სტერილურ დედამიწაზე შემოაღწია. ჰიპოთეზა მონოდებულია 1865 წ. გერმანელი მეცნიერის გ. რიხტერის მიერ. მას მხარს უჭერდნენ გამოჩენილი ფიზიკოსები ჰელმჰოლცი, ტომსონი და არენიუსი. სიცოცხლის მარადიულობისა და პანსპერმიის ჰიპოთეზები ნამოაყენეს პასტერის გახმაურებული ექსპერიმენტის გამოქვეყნებიდან ძალიან მალე. ერთი შეხედვით, იგი ამ უკანასკნელის ლოგიკურ დასკვნას წარმოადგენს. ამ ჰიპოთეზაში ყურადღება ექცევა ორ საკითხს: 1. რა საშუალებებით ხორციელდება ერთი პლანეტიდან მეორეზე ,,სიცოცხლის ჩანასახის'' გადატანა; 2. შეუძლია თუ არა "სიცოცხლის ჩანასხს" კოსმიურ სივრცეში ცხოველქმედების შენარჩუნება.

კოსმოსში ჩატარებული გამოკვლევებით მეცნიერებმა სიცოცხლე მზის სისტემაში ვერ აღმოაჩინეს. მეტეორიტებსა და კომეტებში გამოვლენილია ისეთი ორგანული ნივთიერებები, რომელთა უნაყოფო დედამიწაზე მოხვედრის შემთხვევაში შეიძლება ,,სიცოცხლის ჩანასახი'' ყოფილიყო. მეტეორიტებთან შედარებით ორგანული ნივთიერებებით მდიდარია კომეტები, რომელთა დედამიწაზე დაცემა ეჭვს არ ინვევს. ამერიკელმა მეცნიერებმა 1996 წელს მარსის ქვაში ბაქტერიების მსგავსი ორგანიზმის კვალი აღმოაჩინეს (ისინი არ მიიჩნევენ, რომ ცოცხალმა მარსიდან შემოაღწია). სიცოცხლის უმდაბლესმა ფორმებმა და საერთოდ მიკრობებმა და მათმა სპორებმა ხანგრძლივად უნდა გაუძლონ კოსმოსის (აბსოლუტურ ნულთან მიახლოებულ ტემპერატურას, მაღალ რადიაციას) პირობებს. ამერიკელმა მეცნიერმა მ. გრინბერგმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთა, რომ თუ მიკრობებს ყინულის თხელი შრე ფარავს, მაშინ მათ საკმაოდ დიდხანს (10^7 წლამდე) შეუძლია კოსმოსში არსებობა. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ დედამიწაზე ,,სიცოცხლის ჩანასახი'' გამოგზავნილია სხვა პლანეტების მიერ კოსმოსური ხომალდებით. ეს იდეა ამჟამად ,,მიმართული პანსპერმიის'' სახელწოდებით მოიხსენიება.

ამრიგად, პანსპერმიის ჰიპოთეზა არავითარ ვარაუდს არ გვთავაზობს, თუ როგორ შეიძლებოდა მომხდა-

რიყო თაედაპირველად სიცოცხლის წარმოშობა სხვა პლანეტებზე. ასევე არ ეხება დედამიწაზე მოხვედრილი ცოცხალის შემდგომ ევოლუციურ განვითარებას. იგი ავითარებს იდეას, წარმოშობილი ცოცხალი სისტემები რა გზით შეიძლება განსახლებულიყო კოსმოსში და მოხვედრილიყო სტერილურ დედამიწაზე.

ბიოქიმიური ევოლუციის ჰიპოთეზის თანახმად, სიცოცხლე წარმოიშვა დედამიწაზე, მისი განვითარების გარკვეულ ეტაპზე, ფიზიკურ და ქიმიურ პროცესებზე დამყარებული ბუნებრივი (აბიოგენური) მოვლენების შედეგად. მეცნიერული თვალთახედვით, ეს კონცეფცია გაცილებით სრულყოფილად არის დამუშავებული.

თანამედროვე კოსმოგონური წარმოდგენების თანახმად, დედამიწა წარმოიქმნა დაახლოებით 5 მილიარდი წლის წინ. მიაჩნიათ, რომ სიცოცხლე დედამიწაზე წარმოიშვა დაახლოებით 3,8 მილიარდი წლის წინ. 3,5 მილიარდი წლის წინ ჩვენს პლანეტაზე უკვე სახლობდნენ ფოტოსინთეზის უნარის მქონე პრიმიტიული (ციანობაქტერიების მსგავსი) ცოცხალი ორგანიზმები. ზოგჯერ ისინი ქმნიდნენ მკვრივ გროვებს, რომლებმაც ჩვენამდე გაქვავებული – სტრომატოლიტების (გვხდება ავსტრალიისა და სამხრეთ აფრიკის ზღვის სანაპირო ზოლში) სახით მოაღწიეს.

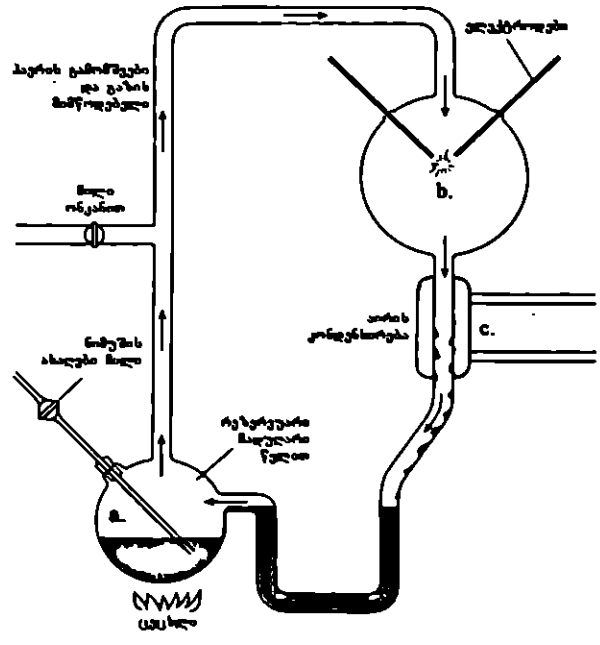
ბიოქიმიური ევოლუციის ჰიპოთეზა წამოაყენეს რუსმა ბიოქიმიკოსმა ა. ოპარინმა (1924) და ინგლისელმა მეცნიერმა ჯ. ჰოლდეინმა (1929). ამ ჰიპოთეზის თანახმად, არაორგანული ნივთიერებებიდან თანდათანობით ჩამოყალიბდა ორგანული ნივთიერებები, რომლებმაც სათავე დაუდეს ცოცხალ უჯრედს. ოპარინის ვარაუდით, თავდაპირველად ჩამოყალიბდა ცილებისგან აგებული კოაცერვატული წვეთები (სისტემა), რომელიც გარემოსთან ნივთიერებათა ცვლას ანხორციელებდა. ჰოლდეინის მოსაზრებით, აბიოგენეზის გზით სინთეზირებულმა ორგანულმა ნაერთებმა სათაეე დაუდო თვითწარმომქნელ მაკრომოლეკულურ სისტემას, რომელშიც წამყვან როლს ნუკლეინის მჟავები ასრულებდა. ოპარინ-ჰოლდეინის ჰიპოთეზა მრავალმა მეცნიერმა აღიარა და განავითარა.

ამჟამად, ამ ჰიპოთეზის მომხრეები სიცოცხლის წარმოშობის პროცესს პირობითად ოთხ ეტაპად ყოფენ:

1. პირველადი ატმოსფეროს აირებიდან დაბალმოლეკულური ორგანული ნაერთების სინთეზი;
2. მონომერებისგან პოლიმერების (პოლიპეპტიდებისა და პოლინუკლეოტიდების) წარმოქმნა.
3. თვითწარმომქმნელი სისტემების — პროტობიონტების ჩამოყალიბება.
4. მარტივი უჯრედის ჩამოყალიბება, რომელსაც მოეპოვებოდა სიცოცხლისთვის დამახასიათებელი ნიშნები. კერძოდ, ჰქონდა რეპროდუქციული გენეტიკური აპარატი, რითაც შვილეულ უჯრედებს გადაეცემოდა მშობლის ყველა ქიმიური და მეტაბოლური თვისებები.

პირველი სამი ეტაპი ქიმიურ ევოლუციას მიეკუთვნება, მეოთხე კი – ბიოლოგიურს. პირველ ეტაპზე მოხდა აბიოგენური გზით მარტივი ორგანული ნივთიერებების სინთეზი. ქიმიური ევოლუციის შესაძლებლობა მოდელური ცდებით პირველად (1953) დაასაბუთეს სტენლი მილერმა და ნობელის პრემიის ლაურიატმა ჰაროლდ იურიმ. პირველად ატმოსფეროს საკარაუდო ნივთიერებებზე (მეთანი, ამიაკი, მოლეკულური წყალბადი, წყლის ორთქლი) ელექტრული მუხტის ზემოქმედებით მიიღეს ორგანული ნივთიერებები *(სურ. 2.4)*. სადღეისოდ დადასტურებულია აბიოგენური გზით ზოგიერთი რთული ორგანული ნაერთის (ალდეჰიდები, ამინომჟავები, აზოტოვანი ფუძეები, ნუკლეოტიდები, მონოსაქარიდები და მისთ.) სინთეზის შესაძლებლობა. ამრიგად, ამ ეტაპზე წარმოიქმნა ნუკლეინის მჟავებისა და ცილების მონომერები, ასევე სხვა ბიოპოლიმერების შემადგენელი კომპონენტები. ატმოსფერო არ შეიცავდა ჟანგბადს და ორგანული ნივთიერებები არ იჟანგებაოდა. პირველად ოკეანეში მათი თანდათანობითი გართულებითა და დაგროვებით ჩამოყალიბდა ,,პირველადი ბულიონი''. თანამედროვე მეცნიერების პოზიციიდან ქიმიური ევოლუციის პირველი ეტაპი კარგად არის არგუმენტირებული.

ქიმიური ევოლუციის **მეორე ეტაპზე** მონომერთა პოლიმერიზაციის შედეგად ჩამოყალიბდა პოლიპეპტიდური და პოლინუკლეოტიდური ნიეთიერებები. ვარაუდობენ, რომ ორგანულ ნიეთიერებათა კონცენტრაცია და პოლიმერიზაციის პროცესი უნდა მომხდარიყო მცირე ზომის გუბურების ფსკერზე ან



სურ. 2.4. ს. მილერსა და ჯ. იურის პირველადი ატმოსფეროსა და დედამინის ზედაპირის მოდელი. a. რეზერვუარი ასახავს დედამინის მხურვალე ზედაპირს, სადაც კონდენსირებული წყალი დუღდა და ორთქლდებოდა. b. რეზერვუარი პიველად ატმოსფეროს გამოსახავს. იგი შეიცავს აირთა ნარევს (NH_3, CH_4, H_2) და წყლის ორთქლს. მასში ხშირი იყო ძლიერი ელჭექი (ხდებოდა ელექტრო განმუხტვა). c.კონდენსირებული აირი საწყის სითხეს უბრუნდება. გარკვეული დროის შემდეგ სითხეში სხვადასხვა სახის რთული ორგანული ნივთიერებები გამოვალინეს.

თავთხელ, თბილ, ორგანული ნივთიერებებით მდიდარ („პირველადი ბულიონი") ზღვების სანაპირო ზოლში. აორთქლების გამო ამდაგვარ გარემოში წყალი უმნიშვნელო რაოდენობით რჩებოდა. ასეთ პირობებში აბიოგენური გზით სინთეზირებული მცირე ზომის პოლიმერები წყლის ზემოქმედებით ვერ იშლებოდა, ანუ პირუკუ რეაქცია არ მიმდინარეობდა.

არსებობს მოსაზრება, რომ კონცენტრაციისა და პოლიმერიზაციის პროცესები მიმდინარეობდა არა თხევად (ხსნარები), არამედ მყარ გარემოში, კრისტალურ თიხნარ ზედაპირზე დალექილი ორგანული ნივთიერებებით მდიდარ მასაში.

მესამე ეტაპზე ანუ პრებიოლოგიური ევოლუციის საწყის ეტაპზე მოხდა მრავალმოლეკულური კომპლექსის ჩამოყალიბება. რთული ორგანული ნაერთებიდან ჩამოყალიბდა ცილა-ნუკლეინურ-ლიპიდოვანი კომპლექსი (მეცნიერები ამ კომპლექსს სხვადასხვა სახელით მოიხსენიებენ: კოაცერვატები, პრობიონტები, პროგენოტები, მიკროსფეროები და ა.შ.). მათ აღენიშნებოდათ გარემოსთან ურთიერთქმედების უნარი და ცოცხალისათვის დამახასიათებელი ზოგიერთი ნიშანი. ამდაგვარი სისტემების არსებობის შესაძლებლობა ახლად წარმოშობილ დედამიწაზე მეცნიერებმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს. ვარაუდობენ, რომ პრობიონტებმა დასაბამი მისცეს პროტოუჯრედს. თავდაპირველად თეითწარმომქმნელ მოლეკულებს რნმ წარმოადგენდა. ზოგიერთ რნმ-ს აღმოაჩნდა კატალიზური ფუნქცია (თ. ჩეკსა და ს. ალტმანს რნმ-ის ავტოსპლაისინგის აღმოჩენისათვის 1989 წ. ნობელის პრემია მიენიჭა). რნმ ერთდროულად გენიც იყო და ფერმენტიც. ენერგიის ნყაროდ იყენებდნენ აბიოტური გზით სინთეზირებულ გარემოში არსებულ ატფ-ს.

ამერიკელმა მეცნიერმა უ. გილბერტმა თავდაპირველ დედამიწაზე არსებულ ამდაგვარ სისტემებს „რნმ-ის სამყარო" უწოდა. ამჟამად მეცნიერებს შორის საკამათოდ არის ქცეული, თუ სად წარმოიშვა პრობიონტები. ზოგიერთ მკვლევარს მიაჩნია, რომ პრობიონტები უნდა წარმოშობილიყო მცირე ზომის გუბურებში ან თავთხელ ზღვებში. ზოგიერთი მეცნიერის ვარაუდით, ვინაიდან დედამიწის ზედაპირი კოსმიური სხეულებით (მეტეორიტები, კომეტები) იბომბებოდა, პრობიონტები პირველადი ოკეანის ღრმა ფენებში, შედარებით უცვლელ, საიმედოდ დაცულ გარემოში უნდა წარმოშობილიყო. ამჟამად ოკეანის ფსკერზე ჰიდროთერმულ ნაკადულებში გამოვლენილია ეკოსისტემა (ბაქტერიები, ჭიები, მოლუსკები), რომელიც მზის სინათლის ენერგიის ნაცვლად ქიმიურ ენერგიას იყენებს.

მეოთხე ეტაპი – უჯრედის წარმოშობა. ზოგიერთი მეცნიერი მიიჩნევს, რომ პროტოუჯრედი ანუ პირველადი უჯრედი აგებულებით არქებაქტერიების მსგავსი უნდა ყოფილიყო. მათ აღენიშნებოდათ დნმ-საგან ორგანიზებული გენეტიკური აპარატი და ცილის მასინთეზირებელი სისტემა. ისინი გარემოსგან ცილოვან-ლიპიდური მემბრანით იყვნენ გამიჯნული. პროტოუჯრედს ჩამოყალიბებული ჰქონდა ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლა, რომელსაც გენეტიკური აპარატი აკონტროლებდა. ენერგიას მოიპოვებდნენ უჟანგბადო დაშლის – გლიკოლიზის გზით.

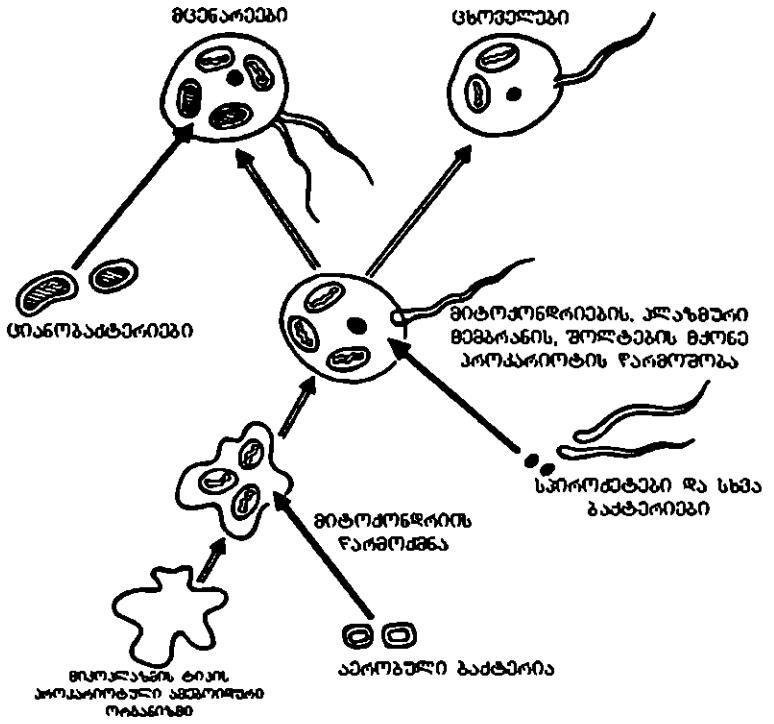
თავდაპირველი ორგანიზმები ჰეტეროტროფები იყვნენ და იკვებებოდნენ „პირველად ბულიონში" არსებული ორგანული ნივთიერებებით. ორგანიზმების ინტენსიური გამრავლების გამო პირველად ოკეანეში ორგანულ ნივთიერებათა მარაგი მნიშვნელოვნად უნდა შემცირებულიყო. ამგვარმა პირობებმა გაამწვავა კონკურენცია. ბუნებრიეი გადარჩევის ზეწოლამ, ერთი მხრივ, განაპირობა ორგანიზმების აგებულების გართულება და გასრულყოფილება. მეორე მხრივ, ორგანიზმთა გარკვეულმა ჯგუფმა სასიცოცხლო პროცესებისათვის ენერგიის ახალი ნყარო აითვისა. მათ აროგენეზის შედეგად ჩამოუყალიბდათ ავტოტროფული კვება (ქემოსინთეზი და ფოტოსინთეზი) და ატმოსფერული აზოტის ფიქსაციის უნარი *(იხ. თავი 5)*.

დედამიწაზე სიცოცხლის შემდგომი განვითარებისათვის უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ადვილად ხელმისანვდომი სინათლის ენერგიის გამოყენებით არაორგანულიდან ორგანული ნაერთების სინთეზის (ფოტოსინთეზი) ჩამოყალიბებას. ერთის მხრივ იქმნებოდა ორგანულ ნივთიერებათა მარაგი, რომელსაც ჰეტეროტროფები იყენებდნენ საკვებად. მეორეს მხრივ ატმოსფერო მოლეკულური ჟანგბადით მდიდრდებოდა. პირველადი ატმოსფერო (იგი არ შეიცავდა ჟანგბადს) შეიცვალა. გარემოს მოლეკულური ჟანგბადით გამდიდრებით შეიქმნა ენერგეტიკული ცვლის ჟანგბადიანი ეტაპის ჩამოყალიბების წინაპირობა. იგი გლიკოლიზისა და დუღილისაგან განსხვავებით გაცილებით ეფექტურია, ვინაიდან მეტი ატფ სინთეზდება. ორგანიზმთა სწრაფი ზრდისა და განვითარებისათვის შეიქმნა ხელსაყრელი პირობა, რამაც დააჩქარა მათი ევოლუციის პროცესი. წარმოიქმნა სიცოცხლის დამცველი ოზონის ეკრანი.

ეუკარიოტული უჯრედის წარმოშობა. პალეონტოლოგიურ მასალაზე დაყრდნობით მეცნიერები მიიჩნევენ, რომ დაახლოებით 1 — 1,5 მილიარდი წლის წინ შედარებით მარტივი ორგანიზაციის პროკარიოტული უჯრედებიდან გაცილებით რთული აღნაგობის ეუკარიოტული უჯრედები ჩამოყალიბდა.

მონოდებული ჰიპოთეზებიდან ამჟამად ყველაზე პოპულარულია ეუკარიოტების წარმოშობის **სიმბიოგენეზის ჰიპოთეზა**. ამ ჰიპოთეზის თანახმად, ეუკარიოტული უჯრედის მიტოქონდრიები, პლასტიდები, შოლტებისა და წამწამების ბაზალური სხეულაკები ოდესღაც თავისუფლად ბინადარი პროკარიოტული უჯრედები იყვნენ. დიდი ზომის ანაერობ ამებოიდურ უჯრედში მათი შეღწევით შეიქმნა მტკიცე ასოციაციები. სიმბიოგენეზის გზით ეუკარიოტული უჯრედის წარმოშობის პროცესში გამოყოფენ შემდეგ ეტაპებს: 1. დიდი ზომის ამებოიდურ, ანაერობულ პროკარიოტულ უჯრედში (მასპინძელი-უჯრედი) ჩასახლდა მცირე ზომის აერობი პროკარიოტული უჯრედი. სიმბიოზურმა თანაარსებობამ ამ უკანასკნელის თანდათანობით მიტოქონდრიებად გარდაქმნა გამოიწვია. 2. აერობული (მიტოქონდრიების მფლობელი) პროკარიოტული მასპინძელი უჯრედისა და სპიროქეტების მსგავსი პროკარიოტული უჯრედის სიმბიოზით შოლტები, კინეტოსომა და ცენტრო-

სომა ჩამოყალიბდა. ამ ორგანოიდების დნმ-ს თანამონაწილეობით უჯრედის გენეტიკური მასალა თანდათანობით ბირთვად დიფერენცირდა (ციტოპლაზას გენეტიკური მასალა გარსით გამოეყო), რაც ეუკარიოტულ უჯრედის წარმოშობას ნიშნავს. ასეთმა უჯრედმა დასაბამი მისცა ცხოველთა და სოკოების სამეფოს. 3. სიმბიოზის კიდევ ერთი აქტით განხორციელდა ეუკარიოტულ უჯრედში პროკარიოტული უჯრედის, კერძოდ ციანობაქტერიების ჩანერგვა. ეს უკანასკნელი თანდათანობით პლასტიდებად დიფერენცირდა. მიაჩნიათ, რომ ამდაგვარმა უჯრედებმა სათავე დაუდეს მცენარეთა სამეფოს *(სურ. 2.5)*. სიმბიოგენეზურ ჰიპოთეზას შემდეგი სარწმუნო არგუმენტები მოეპოვება: 1. ცენტრიოლში, პლასტიდებსა და მიტოქონდრიაში საკუთარი დნმ-ის თანაპოვნიერება. 2. ქლოროპლასტსა და მიტოქონდრიას გააჩნიათ ნრიული ბაქტერიების დნმ-ის მსგავსი სტრუქტურები, რომლებშიც გენებია განლაგებული. 3. ქლოროპლასტი და მიტოქონდრია შეიცავს ბააქტერიის მსგავს რიბოსომებს, მაშასადამე მათ გააჩნიათ ცილების მასინთეზირებელი საკუთარი აპარატი. 4. ცილის სინთეზი მიტოქონდრიასა და ქლოროპლასტში ისეთივე წესით მიმდინარეობს, როგორც პროკარიოტულ უჯრედში.



სურ. 2.5. სიმბიოზის გზით ეუკარიოტული უჯრედის ჩამოყალიბების თანმიმდევრული ეტაპები

ალტერნატიულ შეხედულებას ანვითარებენ **ინვაგინაციის ჰიპოთეზის** ავტორები. ეუკარიოტული უჯრედის წინაპარი აერობული პროკარიოტი უჯრედია. ამდაგვარ მასპინძელ-უჯრედს პლაზმური მემბრანის შიგა ზედაპირზე მოეპოვებოდა რამდენიმე გენომი. დნმ-ის შემცველი ორგანოიდები და ბირთვი ჩამოყალიბდა გარსის ჩადრეკვისა და გადაზონრვის — ინვაგინაციის შედეგად. გარსის ინვაგინაციის გამო მემბრანის ორი შრით შეფუთული გენომები ციტოპლაზმაში აღმოჩნდნენ. გენომების შემდგომი ეეოლუცია სხვადასხვა გზით წარიმართა, ერთი მათგანი ბირთვად, სხვები მიტოქონდრიად, ცენტრიოლად და ქლოროპლასტებად დიფერენცირდა.

თავი 3. ორგანიზმთა მრავალფეროვნება და სისტემატიკა

3.1. ბიოლოგიური მრავალფეროვნება

ბიომრავალფეროვნება ესაა ცოცხალი ბუნების ერთ-ერთი განსაკუთრებული თვისება — წარმოქმნას განსხვავებული ფორმები სიცოცხლის ორგანიზაციის ნებისმიერ დონეზე. ბიომრავალფეროვნება გულისხმობს სიცოცხლის ნაირგვარობას გენებიდან მოყოლებული ეკოსისტემების ჩათვლით. სიცოცხლეს საფუძვლად უდევს ორგანული მოლეკულების მრავალფეროვნება. ნაირგვარი უჯრედებისგან ყალიბდება სხვადასხვა სახის ქსოვილები და ორგანოები, ხოლო ამ უკანასკნელთაგან — განსხვავებული ორგანიზმები. ორგანიზმთა მრავალფეროვნება დასაბამს აძლევს განსხვავებულ სახეობებსა და ეკოსისტემებს.

ხშირად ტერმინი „ბიომრავალფეროვნება'' ვიწრო მნიშვნელობით იხმარება. ამ შემთხვევაში იგულისხმება გენეტიკური, სახეობრივი და ეკოლოგიური მრავალფეროვნება. გენეტიკური მრავალფეროვნება მემკვიდრული ცვალებადობით (მუტაციები, რეკომბინაცია) მიიღწევა. გენეტიკური მრავალფეროვნებით იქმნება ევოლუციური პროცესისათვის მასალა, რომლის გამოყენებითაც ახალი სახეობები ნარმოიქმნება – შესაბამისად, იზრდება სახეობრივი მრავალფეროვნება.

სახეობრივ მრავალფეროვნებას იკვლევს ბოტანიკა, მიკოლოგია, ზოოლოგია მიკრობიოლოგია და პალეონტოლოგია. დედამინაზე უამრავი და მრავალფეროვანი სახეობა ბინადრობს. მაგალითად, თანამედროვე ცხოველთა სამეფოში 2 მლნ-მდე სახეობაა აღნერილი, მცენარეთა სამეფოში - 0.5 მლნ., სოკოთა სამეფოში — 100 ათასი, მიკრობებში — 4.5 ათასი. ყოველწლიურად ათასობით ახალი სახეობის გამოვლენა ხდება. მიაჩნიათ, რომ ამჟამად დედამინაზე 10 მილიონზე მეტი სახეობა სახლობს. თუ ასეა, მაშინ დღეს დედამინაზე ბინადარ სახეობათა მხოლოდ 5% ყოფილა აღნერილი. პალეონტოლოგთა გამოთვლით, ამჟამად არსებული სახეობები დედამინაზე ნარმოშობილ სახეობათა საერთო რაოდენობის დაახლოებით 2—5%-ს შეადგენს. სახეობათა დიდი ნანილი, მათ შორის, დიდი სისტემატიკური ჯგუფები, დედამინის ისტორიული განვითარების პროცესში ამონყდა. სანიმუშოდ ნამარხი ქვეწარმავლების დასახელებაც კმარა. მათი უმრავი და ნაირგვარი სახეობა ფართოდ იყო გავრცელებული დედამინაზე. თანამედროვე ქვეწარმავლები ამ ოდესღაც უზარმაზარი ჯგუფის, მხოლოდ უმნიშვნელო ნაშთს ნარმოადგენს.

სახეობათა ნაირგვარობა გარკვეულნილად განაპირობებს ეკოსისტემათა მრავალფეროვნებას. ნებისმიერი ეკოსისტემა სახეობრივი შემადგენლობით ინდივიდუალური და სპეციფიკურია. მასში ერთი ან რამდენიმე სახეობა (ე. წ. დომინანტი) რიცხოვნობით ჭარბობს, სხვები კი უფრო მცირერიცხოვანნი არიან. ეს უკანასკნელნი განსაზღვრავენ ეკოსისტემის მრავალფეროვნებას. დომინანტი სახეობები ეკოსისტემას იერსახეს აძლევენ. რაც უფრო მეტი სახეობაა ეკოსისტემაში, მით უფრო რთულია მისი ორგანიზაცია და მეტი მდგრადობითაც გამოირჩევა. რთულ ეკოსისტემაში გაცილებით გრძელი კვებითი ჯაჭვები გვხვდება, ბიოტური კავშირები (სიმბიოზი, მტაცებლობა, პარაზიტიზმი) გაცილებით მრავალფეროვანი და აქტიურია, ხოლო კვებითი ქსელი — ბევრად უფრო რთული. ეკოსისტემები ერთმანეთისაგან ბიომრავალფეროვნებით განსხვავდება, ზოგიერთში მრავალი სახეობა ბინადრობს (მაგალითად, მარადმწვანე წვიმიანი ტროპიკული ტყე), ზოგში კი (მაგალითად, უდაბნო) — მხოლოდ რამდენიმე.

3.2. სისტემატიკა

როგორც აღინიშნა, ცოცხალ სამყაროს ახასიათებს ბიოლოგიური ნაირგვარობა, რომლის ერთ-ერთი გამოხატულება სახეობათა მრავალფეროვნებაა. სიცოცხლის ორგანიზაციის სახეობრივ დონეზე მრავალფეროვნების სტრუქტურული ერთეული არის სახეობა, ხოლო დონეს სახეობათა რაოდენობით საზღვრავენ. სადღეისოდ აღნერილ სახეობათა რაოდენობა შთამბეჭდავია, მათ სისტემატიზირება და მონესრიგება ესაჭიროება. სწორედ ამ პრობლემას იკვლევს მეცნიერული დარგი ბიოლოგიური სისტემატიკა. მისი მიზანია, როგორც დღეს არსებული, ისე ამომწყდარი სახეობების აღნერა, მათი საკლასიფიკაციო ჯგუფების (ტაქსონების) მიხედვით განანილება და კლასიფიკაციის ბუნებრივი სისტემის შექმნა.

ბიოლოგიის განვითარების ნებისმიერ ეტაპზე ხდებოდა ბიომრავალფეროვნების შესახებ ცოდნის შეჯამება და სისტემის შემუშავება. ასეთი სისტემა მეცნიერების პროგრესს უწყობდა ხელს. ორგანიზმთა სისტემა ბიოლოგიურ კანონზომიერებებს ასახავს. იგი არა მარტო განაზოგადებს ფაქტებს, არამედ პროგნოზირების უნარსაც ფლობს. მაგალითად, თუ ახლად მოპოვებული უცნობი სახეობის ინდივიდს სამ ნანილად დაყოფილი ქიტინით დაფარული სხეული და ექვსი დასახსრული ფეხი აქვს, ზოოლოგი ამ ცხოველს უსათუოდ მწერების კლასს მიაკუთვნებს. მას ანატომიური გამოკვლევის გარეშეც შეუძლია განსაზღვროს ცხოველის შინაგანი

აგებულება; კერძოდ, მრავალსაკნიანი გულის, ტრაქეალური სუნთქვის სისტემის, მუცლის ნერვული ძენკვისა და ხახის ზედა და ქვედა ნერვული კვანძების არსებობა და ყველა ის ნიშანი, რომელიც მწერებისთვის არის დამახასიათებელი.

სისტემატიკას, თეორიულის გარდა, პრაქტიკული მნიშვნელობაც აქვს. ასე მაგალითად, ტოქსოპლაზმა ადამიანის მძიმე დაავადებას – ტოქსოპლაზმოზს იწვევს. ამ ცხოველის სისტემატიკური კუთვნილება კარგა ხანს უცნობი იყო, ხოლო მკურნალობა — გართულებული. მეცნიერებმა ტოქსოპლაზმის სასიცოცხლო ციკლის ერთ-ერთი სტადიის ელექტრონული მიკროსკოპით კვლევისას კოქციდიებისთვის დამახასიათებელი ნიშნები გამოავლინეს. ამრიგად, დადგინდა, რომ პარაზიტი კოქციდიებს მიეკუთვნებოდა. დაავადების სამკურნალოდ კი ადრე ცნობილი კოქციდიების საწინააღმდეგო ეფექტური პრეპარატები გამოიყენეს.

სახეობის აღსანიშნავად იყენებენ ბინარულ ნომენკლატურას (ორმაგ სახელწოდებას). ყოველი სახეობა ორი ლათინური სიტყვით აღინიშნება. მაგალითად, ძაღლს ჰქვია Canis familiaris . ამ ორი ლათინური სიტყვიდან პირველი არსებითი სახელია, იწერება სათაო ასოთი და გვარს აღნიშნავს, მეორე – ზედსართავი — იწერება პატარა ასოებით და სახეობის საკუთარი სახელია. ბინარული ნომენკლატურა საყოველთაოა ცოცხალი სამყაროსათვის; გამონაკლისია ვირუსები. მათ ციფრებით, ლათინური ან ბერძნული ანბანით (მაგალითად, ვირუსი SV40; ფაგი. T4) ან ნიადაგსახმარი სახელწოდებით (მაგალითად, ცოფის ვირუსი, პოლიომიელიტის ვირუსი) აღნიშნავენ.

ნებისმიერი სახეობა წარმოშობის, განვითარებისა და ამოწყდომის ეტაპებს გადის. მრავალი სახეობა ანთროპოგენური ფაქტორის ზემოქმედებით ამოწყდა. პ. ოლდაკის (1990) მონაცემებით, ამ ფაქტორის ზემოქმედების გამო ყოველდღიურად 1-2 სახეობა გადაშენების ზღვარს აღწევს. ამჟამად ბიომრავალფეროვნების დაცვას დიდი ყურადღება ექცევა. შედგენილია გადაშენების პირას მყოფი სახეობების ***წითელი ნუსხა*** (ბუნებისდაცვითი დოკუმენტი) და ფართო მკითხველთათვის მისი პოპულარული ვარიანტი ***წითელი წიგნი.***[1]

სახეობის კრიტერიუმები. სახეობები ერთმანეთისაგან მრავალი ნიშან-თვისებით განსხვავდება. ერთ გვარში გაერთიანებული მონათესავე სახეობები საერთო მსგავსების მიუხედავად განსხვავდებიან მორფოლოგიურად, გეოგრაფიული გავრცელებით, ასევე, ქცევებით, ფიზიოლოგიური ნიშნებით და სხვ. სახეობისათვის დამახასიათებელ ნიშან-თვისებებს კრიტერიუმებს უწოდებენ. სახეობრივი იდენტიფიცირება შემდეგი კრიტერიუმებით ხორციელდება:

მორფოლოგიური კრიტერიუმი სისტემატიკაში გამოყენებულ კრიტერიუმთა შორის ერთ-ერთი უძველესია. იგი ეფუძნება ერთ სახეობაში გაერთიანებული ინდივიდების მორფოლოგიურ მსგავსებას. იგი ერთადერთი კრიტერიუმია, რომელიც პალეონტოლოგიაში გამოიყენება. ერთმანეთს ადარებენ თანამედროვე ფორმებს, ასევე თანამედროვე და ნინაპარ ფორმებს.

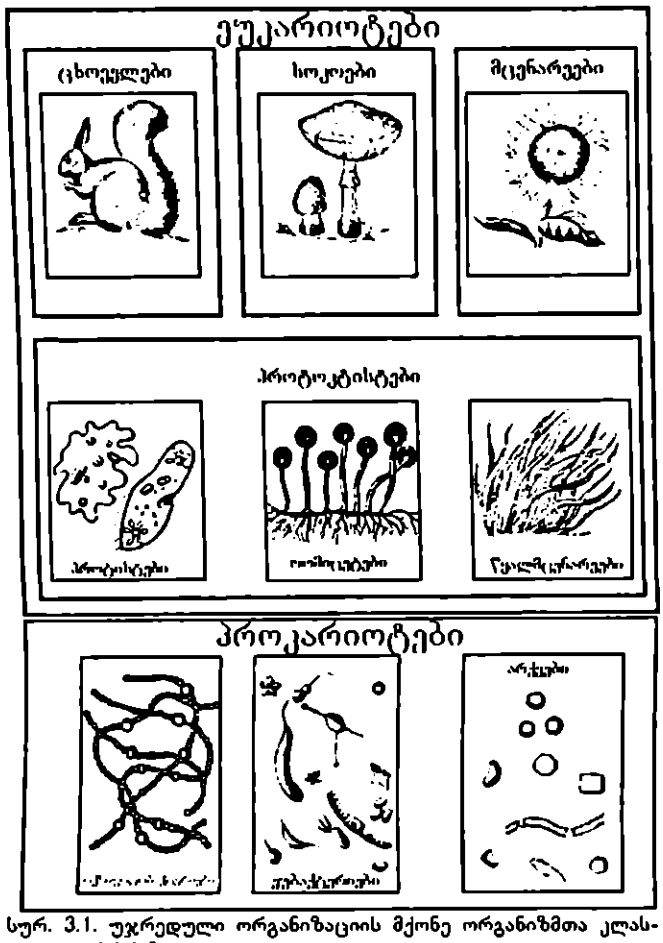
მორფოლოგიური კრიტერიუმით შეუძლებელია სახეობა-ორეულების გამიჯვნა. სახეობა-ორეულები გარეგანი ნიშნებით ერთმანეთისაგან თითქმის არ განსხვავდება. ასეთი ფორმები ხშირად გვხვდება უხერხემლო ცხოველებში, ხერხემლიანებში კი იშვიათია. მაგალითად, შავ ვირთაგვაში გვხვდება ორი სახეობა-ორეული. ერთს — 38, მეორეს კი 42 ქრომოსომა აღენიშნება. ვინაიდან ზოგჯერ სახეობები მორფოლოგიურად მკაფიოდ არ არიან გამიჯნული, ხოლო ზოგიერთი მათგანი (სახეობა-ორეულები) მორფოლოგიური ნიშნებით ფაქტობრივად ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება, ამდენად, მხოლოდ მორფოლოგიური კრიტერიუმი არ არის საკმარისი იმის დასადგენად, თუ რომელ სახეობას ეკუთვნის ინდივიდი.

ფიზიოლოგიურ-ბიოქიმიური კრიტერიუმი. ამ კრიტერიუმის მიხედვით, ერთსა და იმავე სახეობაში გაერთიანებულ ინდივიდების გენებს მსგავსი ნუკლეოტიდური თანამიმდევრობა უნდა ჰქონდეთ, ხოლო ორგანიზმში — მსგავსი ცხოველქმედების პროცესები უნდა მიმდინარეობდეს. მოლეკულური ბიოლოგიის უახლესი მეთოდებით მრავალ სახეობაში შესწავლილია ბირთვულ და მიტოქონდრიულ გენთა დნმ-ის თანამიმდევრობა. შექმნილია დნმ-ის სადიაგნოსტო ზონდები, რომლებითაც უშეცდომოდ საზღვრავენ სახეობის სტატუსს. მონათესავე სახეობათა დნმ ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობის მიხედვით ერთმანეთისაგან უმნიშვნელოდ განსხვავდება, ხოლო ფილოგენეზურად დაცილებულ სახეობებში ეს მაჩვენებელი საკმაოდ განსხვავებულია. ამ კრიტერიუმს გარკვეული ნაკლიც აღენიშნება ზოგიერთი ამინომჟავის (მაგ., ლიზინი) მეტაბოლიზმის გზა მონათესავე ცხოველებში განსხვავებულია, მაშინ, როდესაც სისტემატიკურად დაცილებულ სახეობებში (E.coli, N.crassa) ზოგიერთი ამინომჟავას (მაგ., არგინინი, ჰისტიდინი) მეტაბოლიზმი ერთნაირია. ამრიგად, მხოლოდ ეს კრიტერიუმი არ არის საკმარისი სახეობის იდენტიფიცირებისათვის.

გეოგრაფიული კრიტერიუმი. სახეობას განსაზღვრული არეალი უჭირავს, ე. ი. ის მისთვის ხელსაყრელ

---

1 კარლ ლინე (1707—1778). თანამედროვე სისტემატიკის ფუძემდებელია შვედი ნატურალისტი და ექიმი კარლ ლინე. მან თავი მოუყარა დიდძალ მასალას და ნინამორბედთა მიღწევების გათვალისწინებით შექმნა მცენარეთა და ცხოველთა მწყობრი მოხერხებული სისტემა. შეიმუშავა სისტემატიკის მეცნიერული პრინციპები და მოახდინა მცენარეთა და ცხოველთა კლასიფიცირება. იგი გადმოცემულია ნაშრომში ,,ბუნების სისტემა'' (1735). ლინემ შემოიღო საფეხურებრივად ურთიერთდაქვემდებარებული (იერარქიული) სისტემატიკური ერთეულები: კლასი, რიგი, გვარი, სახეობა, ქვესახეობა. პირველმა ჩამოაყალიბა შეხედულება სახეობის, როგორც უნიკალურ, დისკრეტულ, ბუნებაში რეალურად არსებულ კატეგორიაზე. მისი შეხედულებით სახეობა მდგრადი და უცვლელია, რომელიც მკვეთრად გამიჯნულია დანარჩენი სახეობებისაგან. ლინემ სახეობის აღნიშვნის აუცილებელ პირობად დაამკვიდრა საერთაშორისო (ლათინური) ბინარული ნომენკლატურა.



სურ. 3.1. უჯრედული ორგანიზაციის მქონე ორგანიზმთა კლასიფიკაციის სქემა.

პირობებში სახლობს. სახეობის არეალის განსაზღვრულობა ეკოლოგიური პირობების დისკრეტულობაზე მიუთითებს. ამიტომაც მას ეკოლოგიურ კრიტერიუმთან აერთიანებენ და ეკოლოგიურ-გეოგრაფიულ კრიტერიუმს უწოდებენ. არეალის ფართობი, ფორმა და განლაგება ბიოსფეროში მნიშვნელოვანი სახეობრივი ნიშანია. ყოველ სახეობას თავისთვის გამოსადეგი ტერიტორია უჭირავს, აქვს წარმოშობის კერა. იგი სპეციფიკურ დამოკიდებულებას ამყარებს არეალში გაერცელებულ სხვა სახეობებთან. სახეობის დახასიათება არაა სრულყოფილი, თუ არ აღინიშნა არეალის სპეციფიკური თავისებურებები.

მაგრამ ამ კრიტერიუმსაც არაერთი ნაკლოვანება აქვს. არსებობენ ისეთი სახეობები, რომლებსაც ერთი და იგივე არეალი უჭირავთ (მაგ., ქონდარა ფიჭვს, დაურულ ლარიქსს და სურნელოვან ვერხვს ერთი და იგივე არეალი უკავიათ). ბუნებაში გვხვდება კოსმოპოლიტი სახეობები (მაგალითად, დელფინი ორცინუსი, ყორანი, ჭინჭარი და სხვ.). არეალი არ გააჩნია ადამიანის მიერ უნებურად გავრცელებულ სახეობებს (სახლის თაგვი, ვირთაგვა, ტარაკანა, ოთახის ბუზი და სხვ.), პარაზიტებსა და რუდერულ მცენარეებს. ამ შემთხვევაში გეოგრაფიული კრიტერიუმი თავის მნიშვნელობას კარგავს. ამრიგად, მხოლოდ გეოგრაფიული კრიტერიუმი არაა საკმარისი სახეობის განსასაზღვრად.

გენეტიკური კრიტერიუმი სახეობის რანგის განსაზღვრისათვის მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია. ამ კრიტერიუმის საფუძველია სახეობის გენეტიკური ერთიანობა. ყოველ სახეობას ევოლუციის პროცესში მისთვის დამახასიათებელი კარიოტიპი (ქრომოსომათა რაოდენობა, ზომა, ფორმა) ჩამოუყალიბდა. კარიოტიპი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია. სახეობა რეპროდუქციულად დახშული იზოლირებული სისტემაა. სახეობაში გაერთიანებულ ინდივიდებს შორის მიმდინარეობს თავისუფალი შეჯვარება, რაც სახეობის ერთიანობას განაპირობებს. არსებობს წყვეტილი არეალის მქონე სახეობები (მაგ., ცისფერი კაჭკაჭი, ხლაკუნა, ისლი და სხვ.), *(სურ. 11.4)*. ასევე, აგამური ფორმები, ობლიგატური პართენოგენეზური სახეობები. ზემოთ დასახელებულ ფორმებს შორის თავისუფალი შეჯვარება და გენეტიკური ინფორმაციის გაცვლა არ მიმდინარეობს. ამგვარ პოპულაციებში ინდივიდთა გენეტიკური ერთიანობა არ წარმოიქმნება.

მეორე მხრივ, ზოგჯერ ახლო მდგომ სახეობებში გაერთიანებული ინდივიდები ერთმანეთს ეჯვარებიან და ფერტილურ შთამომავლობას წარმოქმნიან. ასევე, ქრომოსომული და გენომური მუტაციით კარიოტიპი იცვლება, მაგრამ მუტანტი ახალი სახეობა არ არის. ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გამო მხოლოდ გენეტიკური კრიტერიუმი არ არის საკმარისი სახეობის იდენტიფიცირებისათვის.

სახეობის დასადგენად ყველა კრიტერიუმის გამოყენება შეუძლებელია. კონკრეტულ შემთხვევაში ინდივიდების დაჯგუფების რანგის განსაზღვრა ხელმისაწვდომი კრიტერიუმებით ხორციელდება. მართალია, სახეობა დისკრეტული სისტემაა, მაგრამ იმის განსაზღვრა, თუ რომელ სახეობას ეკუთვნის ესა თუ ის ინდივიდი, ყოველთვის არ არის ადვილი.

ორგანიზმთა სისტემა. ორგანიზმთა იერარქიული დაჯგუფება ხორციელდება ნათესაობის (ევოლუციური პრინციპის) მიხედვით. ცოცხალი სამყაროს სისტემას დასრულებული სახე ჯერ კიდევ არ მიუღია. ახალ მეცნიერულ გამოკვლევათა საფუძველზე მიმდინარეობს სისტემის დახვეწა. ამჟამად საყოველთაოდ აღიარებული სისტემა ჯერ კიდევ არ არის შემუშავებული. ამიტომაც, სხვადასხვა სახელმძღვანელოში, საცნობარო ლიტერატურასა თუ საიტზე სხვადასხვა სახის სისტემას წაანყდებით.

არისტოტელეს დროიდან (ძვ. წ. IV ს.) მოყოლებული XIX ს-ის შუა წლებამდე ცოცხალ სამყაროს ორად — მცენარეთა და ცხოველთა სამეფოდ — ყოფდნენ. ამავე საუკუნის 60-იან წლებში მესამე სამეფოდ უმარტივესები გამოყვეს. სისტემატიკის ისტორიაში მნიშვნელოვანია 1925 წელი, როდესაც ფრანგმა სისტემატიკოსმა

ე. შატონმა ცოცხალი სამყარო ორ დიდ ჯგუფად — პროკაროტებად და ეუკარიოტებად — დაყო. მის მიერ შემოთავაზებული ტერმინები ბიოლოგიაში მყარად დამკვიდრდა. გასულ საუკუნეში პოპულარობა მოიპოვა რ. უიტეიკერის (1969) მიერ ხუთ სამეფოდ დაყოფილმა სისტემამ. მას აქტუალობა დღესაც არ დაუკარგავს. ეს სამეფოებია: Monera (ბაქტერიები და ციანობაქტერიები), protista (ერთუჯრედიანი ეუკარიოტული ორგანიზმები), Animalia (მრავალუჯრედიანი ცხოველები), Fungi (სოკოები), Plantae (მცენარეები). 1982 წ. ამერიკელმა მეცნიერებმა მარგელისმა და შვარცმა წარმოადგინეს ხუთ სამეფოდ დაყოფილი სისტემის სრულყოფილი ვარიანტი. მათ სამეფოები ზესამეფოში (პროკარიოტთა და ეუკარიოტთა დომენი) — გააერთიანეს. ეს სისტემა საკმაოდ პოპულარულია სასწავლო-საცნობარო ლიტერატურაში და ჩვენც ამ სისტემას ვთავაზობთ მკითხველს *(სურ. 3.1)*.

გამოჩენილმა სისტემატიკოსმა თ. კავალიე-სმიტმა (1998) მეცნიერული კვლევის თანამედროვე მიღწეების გათვალისწინებით ცოცხალი სამყარო ორ დიდ ერთეულად – დომენად (ზესამეფო) და შვიდ სამეფოდ დაყო. ეს სისტემა შემდეგი სახისაა: 1. დომენი პროკარიოტები, მასში გაერთიანებულია ორი სამეფო: არქებაქტერიები და ეუბაქტერიები. 2. დომენი ეუკარიოტები, მასში გაერთიანებულია ხუთი სამეფო: ცხოველები, სოკოები, მცენარეები, ქრომისტები და პროტისტები.

კლასიფიკაციის თანამედროვე სისტემის ძირითადი ტაქსონებია: 1. სამეფო — regnum; 2. ტიპი — phylum (მცენარეებში განყოფილება — divisio); 3. კლასი — classis; 4. რაზმი (მცენარებში რიგი) — ordo; 5. ოჯახი — familia; 6. გვარი — genus; 7. სახეობა — species.

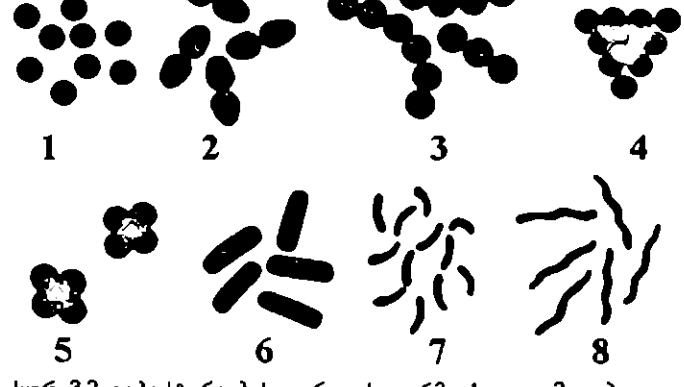
სისტემაში სახეობა სიცოცხლის ერთ-ერთი იერარქიული დონე და, ამასთანავე, ძირითადი ტაქსონომიური ერთეულია.

3.3. დომენი (ზესამეფო) პროკარიოტები PROCARYOTA სამეფო მონერები – MONERA

მონერათა სამეფოში გაერთიანებულია უძველესი წარმოშობის პროკარიოტული ორგანიზმები. ისინი დედამიწაზე 3.5 მილიარდი წლის წინ უკვე სახლობდნენ. შემორჩენილია პრიმიტიული პროკარიოტების გაქვავებული ნაშთები — სტრომატოლიტები. მონარეთა სამეფოს სამ განყოფილებად (ტიპი) ყოფენ: არქეები (ძვ. სახელწოდებაა არქებაქტერიები), ეუბაქტერიები და ოქსიფოტობაქტერიები.

არქეები ანუ არქებაქტერიები ბუნებაში ფართოდ გაერცელებული, უძველესი წარმოშობის, პროკარიოტული ორგანიზმებია. ზოგიერთი მათგანი გვხდება ისეთ გარემოში, სადაც სხვა ორგანიზმებს არსებობა არ შეუძლია. კერძოდ, ცხელ წყლებში (ოპტიმალური ტემპერატურაა 80-105°C), მჟავა (pH 1-2) ან ტუტე (pH 9-11) გარემოში, დამლაშებულ ნიადაგებსა და წყალსატევებში (NaCl 25-30%), ღრმა წყალსატევების ფსკერზე (უძლებენ 700 ატმოსფეროზე მეტ წნევას).

არქეები ნაირგვარი ფორმის (სფერული, ჩხირისებური, ხვეული და მისთ.) და მცირე ზომის (0.4 – 1 მკმ.) უჯრედებია. მრავალ მათგანს მოეპოვება შოლტები, რომლებიც ეუკარიოტებისგან განსხვავებით რამდენიმე სახის ცილა ფლაგელინისაგან არის აგებული. მრავალდებიან უჯრედის ორად (ბინალური) გაყოფით, დაკვირტვითა და ფრაგმენტაციით. მათ არ შეუძლიათ რთული ჰიდროლიზური ფერმენტების სინთეზი, ამიტომაც ჰეტეროტროფები მარტივი ორგანული ნივთიერებებით იკვებებიან. გააჩნიათ ერთი რგოლოვანი ბაქტერიული ქრომოსომა, რომელიც ციტოპლაზმიდან მემბრანით არ არის გამიჯნული. გენები ეუკარიოტების მსგავსად მოზაიკური (ეკზონ - ინტრონული) სტრუქტურისაა. არქეები ეუბაქტერიებისა და ეუკარიოტებისგან შემდეგი ნიშნებით განსხვავდება: 1. უჯრედი შემოფარგლულია ერთ- ან ორშრიანი ლიპიდური მემბრანით. 2. მემბრანული ლიპიდები შედგება სხვა ორგანიზმების მსგავსად არა გლიცერინისა და ცხიმოვანი მჟავეებისგან, არამედ გლიცერინისა და მრავალატომიანი (ტერპენოიდები) სპირტებისგან. 3. უჯრედის კედელი აგებულია ცილებისა და ფსევდომურეინისგან. ეს უკანასკნელი მხოლოდ არქეებში გვხვდება. 4. ფოტოტროფებში მაფოტოსინთეზებელი პიგმენტია არა ქლოროფილი, არამედ ბაქტერიოროდოპსინი. 5. მეთანწარმომქმნელი არქეები ნახშირბადის წყაროდ CO_2-ს იყენებს და მეთანს წარმოქმნის. 6. რიბოსომული 16S რნმ უნიკალური შედგენილობისაა, რომლის მსგავსიც სხვა სამეფოებში არ გვხვდება.



სურ. 3.2. ეუბაქტერიების უჯრედის ფორმა. 1. კოკი. 2. დიპლოკოკი. 3. სტრეპტოკოკი. 4. სტაფილოკოკი. 5. სარცინა. 6. ბაცილა. 7. ვიბრიონი. 8. სპირილი

ეუბაქტერიები გვხვდება ყველგან — ხმელეთის ზედაპირსა და მის ღრმა ფენებში, წყლებში, ატმოსფეროში, მცენარეთა და ცხოველთა სხეულზე და სხეულში. ისინი ერ-

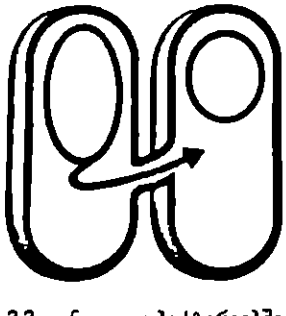
თუჯრედიანი, მცირე ზომის პროკარიოტული ორგანიზმებია. უჯრედის სიგრძე 1-დან 10 მკმ-მდე მერყეობს, ხოლო დიამეტრი საშუალოდ 1-მკმ-ს შეადგენს. მათი რაოდენობა კოლოსალურ რიცხვს აღწევს. მაგალითად, 1 გრ. ნაყოფიერ მიწაში დაახლოებით 2.5 მილიარდი ბაქტერიაა, ხოლო 1 სმ^3 ახალ რძეში 3 მილიარდამდე.

ბაქტერიათა სხეულის ფორმა ნაირგვარია. მათ შეიძლება ჰქონდეთ სფერული (კოკი), ჩხირისებური (ბაცილა) ან ხვეული ფორმა. ზოგჯერ უჯრედები ერთმანეთთან არის დაკავშირებული და ნაირგვარ სტრუქტურას ქმნის. კოკები შეიძლება იყოს წყვილ-წყვილად განლაგებული — დიპლოკოკები, კუბურად — სარცინები, ძეწკვისებურად — სტრეპტოკოკები, მტევნისებურად – სტაფილოკოკები. ხვეულის ფორმის ბაქტერია შეიძლება იყოს რკალისებური – ვიბრიონები, ერთ ან რამდენიმე ხვეულიანი — სპირილები, მრავალ თანაბარ ხვეულიანი — სპიროქეტები *(სურ. 3.2)*.

ბაქტერიის უჯრედი შემოფარგლულია ორშრიანი ლიპიდური პლაზმური მემბრანით. მემბრანის შიგნითა მხარეს განლაგებულია პიდროლიზური ფერმენტები, ამასთანავე წარმოქმნილია სხვადასხვა სახის მილაკოვანი ჩანაბურცვები. აქ არსებული ფერმენტებისა და პიგმენტების ნაწილი სუნთქვას ახორციელებს, სხვები ფოტოსინთეზსა და აზოტის ფიქსაციაში მონაწილეობს. მემბრანას ციტოპლაზმის მხარეს გააჩნია ბურცობი — მეზოსომა. სხვა ფუნქციებთან ერთადმნიშვნელოვან როლს ასრულებს უჯრედის გაყოფაში.

პლაზმურ მემბრანას გარეთა მხარეს ეკვრის უჯრედის კედელი, რომელიც უჯრედს ანიჭებს ფორმას, სიმტკიცეს და იცავს დაზიანებისაგან. უჯრედის კედელი ნარმოადგენს ლიპიდების, პოლისაქარიდების (ძირითადად მურეინი) და ცილების მტკიცე ბადეს. ზოგიერთ პათოგენურ ბაქტერიას (მაგალითად, მიკოპლაზმას) კედელი არ გააჩნია. მრავალ ბაქტერიას აქვს შოლტები, რომელთა მეშვეობითაც მოძრაობს.

გენეტიკური ინფორმაცია ერთადერთ ბაქტერიულ ქრომოსომაშია მოთავსებული. იგი წარმოადგენს დნმ-ის ნყვილჯაჭვიან წრიულ ჭიმს, ქმნის კომპაქტურ სტრუქტურას — ნუკლეოიდს. ის მემბრანით არაა შემოფარგლული და უშუალოდ ციტოპლაზმაშია მოთავსებული. გაშლილი დნმ-ს სიგრძე 1 მმ-ს აღემატება. უჯრედში აგრეთვე გეხდება მცირე ზომის დნმ-ის წრიული მოლეკულები — პლაზმიდები.



სურ. 3.3. კონუგაცია ბაქტერიებში.

ბაქტერიები მრავლდება უსქესოდ — უჯრედის გაყოფით. გამოელენილია სქესობრივი გამრავლების სპეციფიკური ფორმაც — კონიუგაცია. ორ უჯრედს შორის წარმოიქმნება მოკლე მილი, რომლის გავლითაც ერთი უჯრედიდან (დონორი) ქრომოსომა მეორეში (რეციპიენტი) გადადის *(სურ. 3.3)*. ბაქტერიებში გენთა რეკომბინაცია ტრანსფორმაციისა და ტრანსდუქციის გზითაც ხორციელდება (იხ. თავი 7, მოლეკულური გენეტიკა).

ბაქტერიების გარკვეული ჯგუფი არახელსაყრელ პირობებში სპორებს წარმოქმნის. უჯრედში ნუკლეოიდი და ციტოპლაზმის ნაწილი სქელი მრავალი შრით იფარება და სპორად (ენდოსპორად) გარდაიქმნება. უჯრედში წესისამებრ ერთი სპორა ყალიბდება. ეუკარიოტებისგან განსხვავებით, სპორა გამრავლებას არ ემსახურება. სპორა უძლებს არახელსაყრელ პირობებს; გარკვეულ როლს თამაშობს ბაქტერიების გაერცელება-განსახლებაში. მათ მიერ ათვისებული ტერიტორიის შენარჩუნებასა და ახალი საარსებო გარემოს ათვისებაში.

ჟანგბადთან დამოკიდებულების მიხედვით ბაქტერიები იყოფა აერობებად და ანაერობებად. არსებობს გარდამავალი ჯგუფებიც. აერობები კარგად მრავლდებიან ჟანგბადიან არეში. მოლეკულურ ჟანგბადს იყენებენ უანგვითი რეაქციებისათვის. ანაერობებს შეუძლიათ არსებობა ჟანგბადის გარეშე, ზოგიერთი მათგანის ვეგეტატიური ფორმა პაერზე ილუპება, სპორა კი გამძლეა. სუნთქვას დუღილის გზით ახორციელებენ *(იხ. თავი 5)*.

კვების ნირით ბაქტერიები განსხვავდებიან, ამდენად მიზანშეწონილია განზოგარდებულად განვიხილოთ *ორგანიზმთა კვების ძირითადი ტიპები:*

I. **ნახშირბადის წყაროს** მიხედვით: ა). *ავტოტროფები* (აუცილებელი ორგანული ნივთიერებების მისაღებად არაორგანულ ნაერთს — CO_2-ს იყენებენ). ბ). *ჰეტეროტროფები* (იკვებებიან მზა ორგანული ნივთიერებებით და ამ გზით მოიპოვებენ ნახშირბადის შემცველ ნივთიერებებს).

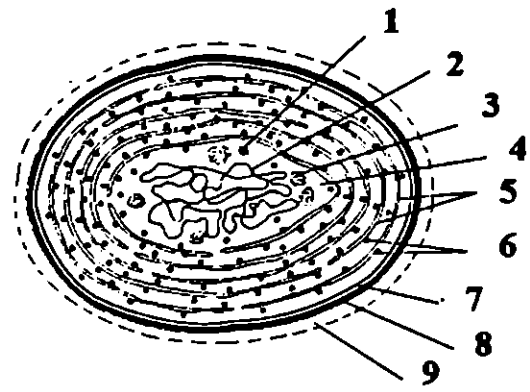
II. **ენერგიის წყაროს** მიხედვით: ა). *ფოტოტროფები* (ფოტოსინთეტიკოსები, ორგანულ ნივთიერებათა სინთეზისათვის იყენებენ სინათლის ენერგიას). ბ). *ქემოტროფები* (ქემოსინთეთიკოსები, ორგანულ ნივთიერებათა სინთეზისათვის იყენებენ მხოლოდ ქიმიურ ენერგიას).

ნახშირბადისა და ენერგიის წყაროს მიხედვით ორგანიზმებს ოთხ ძირითად კვებით ჯგუფად ჰყოფენ: 1. *ფოტოავტოტროფები* (მაგ., ციანობაქტერიები, მცენარეები). 2. *ფოტოჰეტეროტროფები* (მაგ., მენამული ბაქტერიები). 3. *ქემოავტოტროფები* (მაგ., ნიტრიფიკაციის ბაქტერიები). 4. *ქემოჰეტეროტროფები* (საპროტროფი, პარაზიტი და სიმბიოზი ბაქტერიები, სოკოები და ცხოველები).

კვების ძირითადი ტიპების გარდა გეხდება შერეული კვების სახეც, მაგალითად, *მიქსოტროფული (იხ. თავი 9.6)*. ბაქტერიებში კვების ყველა ფორმა გეხვდება.

ქემოჰეტეროტროფი ბაქტერიები გარემოში გამოყოფენ ფერმენტებს, რომელთა მეშვეობითაც რთული ორგანული ნივთიერებები მარტივ ნივთიერებებად იშლება. ეს ნივთიერებები აღნევენ უჯრედში, ზოგი ენერგიის წყაროდ გამოიყენება, სხვები კი ნივთიერებათა სინთეზს ხმარდება. ჰეტეროტროფ ბაქტერიებს მიეკუთვნება სამი დიდი ჯგუფი: 1. საპროტროფები მკედარი ხრწნადი ორგანული ნივთიერებებით იკვებება. ისინი ეკოსისტემაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ — რედუცენტებს წარმოადგენენ. 2. პარაზიტები. მათი საკვები ცოც-

ხალი ორგანიზმების მზა ორგანული ნივთიერებებია. დაავადებათა გამომწვევ პარაზიტებს პათოგენურ ბაქტერიებს უწოდებენ. მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანში ისინი ნაირგვარ დაავადებას იწვევენ. კერძოდ, ადამიანში: ტიფს, ქოლერას, დიფტერიას, ჯილეხს, ტეტანუსს, ანგინას, შავ ჭირს, ტუბერკულოზს, სიფილისს და სხვ. 3. **სიმბიონტები.** სიმბიოზი არის ორი სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმთა ურთიერთსასარგებლო თანაცხოვრება. სიმბიოზის სანიმუშო მაგალითია პარკოსანი მცენარე და კოჟრის ბაქტერიები; ძუძუმწოვრები, მათ შორის ადამიანი და მათ ნაწლავში ბინადარი ბაქტერია — ნაწლავის ჩხირი. *(იხ. თავი 9)*



სურ. 3.4. ციანობაქტერია. 1. ლიპიდის გროვა. 2. ნუკლეოიდი (დნმ-ის ნრიული მოლეკულა). 3. ცილის გრანულა. 4. რიბოსომა. 5. თილაკოიდი. 6. ფიკობილისომა (ციანოსომა) - პიგმენტების შემცველი სტრუქტურა. 7. პლაზმური მემბრანა. 8. უჯრედის კედელი. 9. ლორწოვანი შრე.

ოქსიფოტობაქტერიები. ამ განყოფილებაში (ტიპი) მრავალი ჯგუფია გაერთიანებული, მათ შორის ციანობაქტერიები (ძვ. სახელწოდებაა ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები). ისინი გავრცელებულია მტკნარ წყლებსა და ზღვებში, ჭაობებში, ნიადაგში. მოლურჯო-მომწვანო ფერი აქვთ, თუმცა გეხვდება მოშავო-მოლურჯოდ და სხვაგვარად შეფერილი ფორმებიც. ერთუჯრედიანი, ძაფნაირი ან კოლონიური ფორმებია. უჯრედს გააჩნია პროკარიოტული ორგანიზაცია *(სურ. 3.4)*. ქლოროფილი და სხვა პიგმენტები ლოკალიზებულია მემბრანულ სტრუქტურებში ტილაკოიდების სახით. ეუბაქტერიებისგან განსხვავებით, ფოტოსინთეზის დროს ჟანგბადს გამოყოფს (ოქსიფოტოსინთეზი). ნახშირბადის წყაროა CO_2. მათ დიდი როლი შეასრულეს თანამედროვე ატმოსფეროს ჩამოყალიბებაში. შებოჭეს ჭარბი CO_2 და გაამდიდრეს გარემო ჟანგბადით (პირველადი ატმოსფერო არ შეიცავდა ჟანგბადს). ციანობაქტერიებს ახასიათებს ორგვარი კვება — ავტოპეტეროტროფებია. სინათლეზე ახდენენ ფოტოსინთეზს, სიბნელეში კი გარემოდან ითვისებენ ორგანულ ნივთიერებებს. სამარაგო ნივთიერებაა გლიკოგენი. მრავალი მათგანი ახდენს ატმოსფერული აზოტის ფიქსაციას, გამოყოფს დაშლის პროდუქტს — ამიაკს, რომელსაც აზოტის შემცველი ორგანული ნივთიერებების (მაგ., ამინომჟავების) სინთეზისთვის იყენებს. მრავლდებიან მხოლოდ უსქესოდ. მონანილეობენ სომბიოზში, რომლის სანიმუშო მაგალითია ლიქენები.

ციანობაქტერიები ხშირად, განსაკუთრებით ზაფხულში ინტენსიურად მრავლდება და სხვა ორგანიზმებთან ერთად ინვევს წყლის „ყვავილობას". იგი უარყოთად მოქმედებს წყალში ბინადარ ცხოველებზე. ციანობაქტერიები განსაკუთრებით კარგად მრავლდება ორგანული ნივთიერებებით გაჭუჭყიანებულ წყლებში. მათი რაოდენობის მიხედვით შესაძლებელია წყლის გაბინძურების ხარისხის განსაზღვრა, რაც ერთგვარი ბუნებრივი ინდიკატორია.

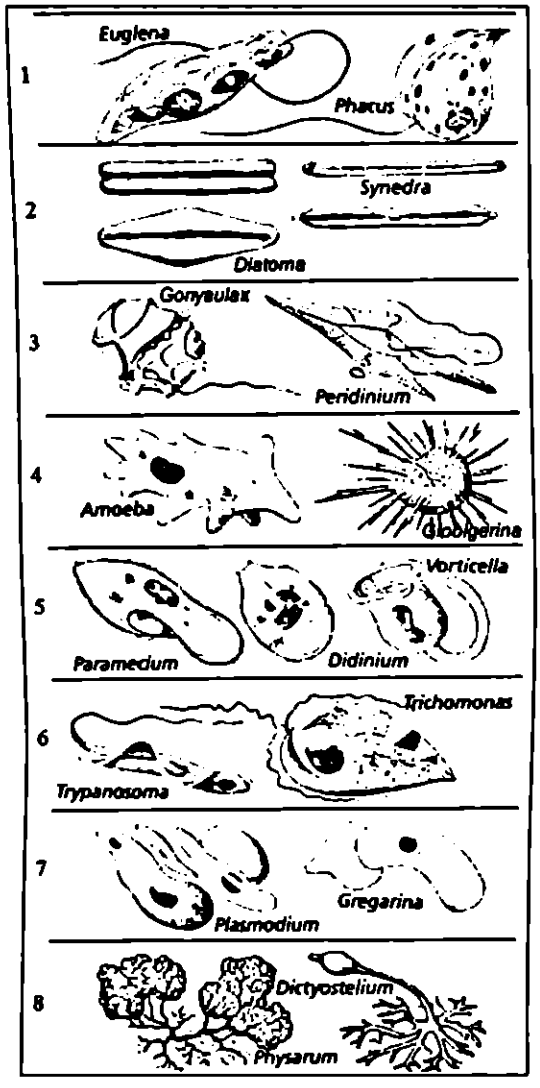
ბაქტერიების მნიშვნელობა. ბაქტერიები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ბიოსფეროში სიცოცხლისათვის აუცილებელი ელემენტების (ნახშირბადი, აზოტი, გოგირდი, ფოსფორი) წრებრუნვაში. ეკოსისტემის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ჯგუფს — რედუცენტებს ძირითადად მიკროორგანიზმები ქმნიან. მათ გარეშე დედამიწაზე სიცოცხლე შეუძლებელი იქნებოდა. ბაქტერიებს აქვთ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა – ისინი გამოიყენება მრავალი საკვები პროდუქტის (ყველი, მანონი, არაჟანი და მისთ.), ორგანული ნივთიერებების (ცილები, ამინომჟავები, ვიტამინები, და სხვ.) და სამკურნალო პრეპარატების (ანტიბიოტიკები, ვაქცინები, შრატები და მისთ.) წარმოებაში. ბაქტერიები წარმატებით გამოიყენება თანამედროვე ბიოტექნოლოგიაში (გაჭუჭყიანებული წყლების გაწმენდა, უნარჩენო წარმოება, უმინარევო და ფერმენტული პრეპარატების მიღება, ეფექტური ვაქცინებისა და სამკურნალო პრეპარატების შექმნა და მისთ.) (იხ. თავი 10).

ასევე საჭიროა აღინიშნოს ბაქტერიების უარყოფითი როლიც. ზოგიერთი მათგანი იჭრება მცენარის, ცხოველისა და ადამიანის ორგანიზმში და აავადებს მათ.

ბაქტერიები ყოველწლიურად კულტურულ მცენარეთა მსოფლიო მოსავლის 1/8 ნანილს სპობენ. შინაურ ცხოველებსა და ადამიანში იწვევენ მძიმე ინფექციურ დაავადებებს, აფუჭებენ საკვებ პროდუქტებს და სხვ.

3.4. დომენი (ზესამეფო) ეუკარიოტები EUCARYOTA

სამეფოში გაერთიანებულ ორგანიზმებს აქვთ ციტოპლაზმიდან გარსით გამიჯნული, ფორმირებული ბირთვი. გენეტიკური მასალის უმეტესი ნაწილი მასშია მოთავსებული და ქრომოსომებადაა დიფერენცირებული. ეუკარიოტებისგან განსხვავებით, დნმ დაკავშირებულია სპეციფიკურ ცილებთან — ჰისტონებთან და ქმნიან რთულ კომპლექსს. უჯრედს გააჩნია მემბრანების რთული სისტემა. იგი უჯრედის შიდა სივრცეს განყოფილებებად — კომპარტმენტებად (მაგ., ენდოპლაზმური ბადე, მიტოქონდრია, გოლჯის კომპლექსი და მისთ.) ყოფენ. ეუკარიოტების უჯრედები ნორმალურ პირობებში მიტოზური გაყოფით მრავლდება. უჯრედს აქვს აქტინომიეზინური კუმშვადი სისტემა. მისი დახმარებით შეუძლია პინოციტოზისა და ფაგოციტოზის გზით ნარიტაცოს მსხვილი ორგანული ნანილაკები და წვეთები, ზოგჯერ მცირე ორგანიზმებიც. პროკარიო-



სურ. 3.5. პროტოკტისტების ზოგიერთი ოჯახის წარმომადგენლები.

ტების მსგავსად, ეუკარიოტული უჯრედი ზედაპირით ინოვს დაბალმოლეკულურ ორგანულ ნივთიერებებს. ახასიათებთ აეტოტროფული და ჰეტეროტროფული ტიპის კვება. დომენში გაერთიანებულია ოთხი (პროტოკტისტები, უმაღლესი მცენარეები, სოკოები, მრავალუჯრედიანი ცხოველები) სამეფო.

სამეფო პროტოკტისტები PROTOCTISTA

ეუკარიოტებში გაერთიანებულ სამეფოთა შორის სამი (უმაღლესი მცენარეები, სოკოები, მრავალუჯრედიანი ცხოველები) მონოფილეტური (საერთო წინაპრიდან) წარმოშობისაა. მეოთხე სამეფო — პროტოკტისტები ჰეტეროგენურია. მასში გაერთიანებულია ფილოგენეზურად განსხვავებული ჯგუფები. მეცნიერთა ვარაუდით, იგი მომავალში სათანადო გამოკვლევების საფუძველზე რამდენიმე სამეფოდ დაიყოფა. ამიტომაც მარგელისისა და შვარცის მიერ მოწოდებულ სისტემატიკაში მხოლოდ ეს სამეფო ინვევს მეცნიერთა კამათს (ზოგიერთი სისტემატიკოსი ამ სამეფოს პროტისტებს უწოდებს).

პროტოკტისტთა სამეფოში გაერთიანეს ისეთი ჯგუფები, რომლებსაც სხვა, მკაცრი კრიტერიუმების საფუძველზე გამოყოფილ სამეფოებში ადგილი ვერ მიუჩინეს. ამასთანავე ამ სამეფოში თავმოყრილ ჯგუფებთან (წყალმცენარეები, ოომიცეტები, პროტისტები) ფილოგენეზურად არიან დაკავშირებული სოკოები, უმაღლესი მცენარეები და მრავალუჯრედიანი ცხოველები.

სამეფოში გაერთიანებულ ინდივიდებში გვხვდება კვების სხვადასხვა ტიპი. ზოგი ცხოველური კვებით — ფაგოციტოზით მოიპოვებს სარჩოს (მაგალითად, ამება), სხვები სოკოს მსგავსად სხეულის ზედაპირით ინოვენ დაბალმოლეკულურ ორგანულ ნივთიერებებს (მაგ., ოომიცეტები) ან მცენარის მსგავსად ახდენენ ფოტოსინთეზს (მაგალითად, ულოტრიქსი, ლამინარია და სხვა წყალმცენარეები), გვხდება შერეული კვების ტიპიც (მაგალითად, ევგლენა, ქლამიდომონადა) *(სურ. 3.5)*.

მრავალუჯრედიანი წყალმცენარეების სხეულს (არ გააჩნიათ ტიპიური ქსოვილები და ორგანოები) **თალუსი** ენოდება. მათი უჯრედი შეიცავს სხვადასხვა ფორმის (ფირფიტისებურ, სპირალურ, ჯამისებრ და მისთ.) ქლოროფილის შემცველ სტრუქტურას — ქრომატოფორს. მრავლდებიან როგორც უსქესოდ (სპორები, ზოოსპორები), ისე სქესობრივად (უყალიბდებათ გამეტები). წესისამებრ, სქესობრივ გამრავლებას არახელსაყრელ პირობებში ინყებენ.

ოომიცეტები სოკოებს ენათესავება და აგებულებითაც მათ ემსგავსება. თანამედროვე შეხედულებით ისინი გაცილებით ძველი წარმოშობისაა, ვიდრე სოკოები. სხეული უხვად დატოტვილი მილისებური ძაფებისგან — ჰიფებისგან შედგება, რომლებიც ქმნიან მიცელიუმს. ჰიფი მოკლებულია ტიხრებს და შეიცავს მრავალ ბირთვს. გააჩნია უჯრედის კედელი, რომელიც შედგება სოკოების მსგავსად არა ქიტინისგან, არამედ ცელულოზისაგან. ოომიცეტებს ახასიათებთ როგორც უსქესო, ისე სქესობრივი გამრავლება. ისინი მოკლებულია ქლოროპლასტებს და ჰეტეროტროფულად იკვებება. გვხვდება როგორც საპროტროფები, ისე პათოგენური ფორმები (მაგ., ვაზის ჭრაქი, ფიტოფტორა და სხვ.)

უმარტივესები (პროტისტები) სავსებით დამოუკიდებელი ერთუჯრედიანი ეუკარიოტული ორგანიზმებია. ამდენად სტრუქტურულად ერთუჯრედიანია, ფიზიოლოგიურად კი სრულყოფილი ორგანიზმია. მათი თავისებურება ისაა, რომ მრავალუჯრედიანებისაგან განსხვავებით, უჯრედი არაა დიფერენცირებული და მასში მიმდინარეობს ცხოველმყოფელობის ყველა პროცესი: კვება, მოძრაობა, სუნთქვა, გამოყოფა, გამრავლება და მისთ. უჯრედს ციტოპლაზმაში მოპოვება სპეციფიკური სტრუქტურები — ორგანოიდები, რომლებიც მრავალუჯრედიან ცხოველთა ორგანოების ანალოგიურ ფუნქციებს ასრულებს. მაგალითად, ციტოსტომი — საჭმლის მოპოვების; საჭმლის მომნელებელი ვაკუოლი –მონელების; საცლელი — ნარჩენების გამოდევნის;

მფეთქავი ვაკუოლი – ჭარბი წყლისა და დაშლის პროდუქტების გამოყოფის; ნითელი თვალაკი — მხედველობის; ცრუფეხები, შოლტები, წამწამები -- მოძრაობის. ზოგიერთი მათგანი ადამიანის საშიში პარაზიტია (მაგალითად, დიზენტერიული ამება, უროგენიტალური ტრიქომონა, ლეიშმანია, გამბიური ტრიპანოსომა, მალარიის პლაზმოდიუმი, ტოქსოპლაზმა და სხვ.) *(სურ. 3.5-ზე ნახ. 6 და 7)*

სამეფო სოკოები FUNGI (MYCOTA)

სოკოები ხმელეთისა და წყლის ეკოსისტემების მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია. ისინი ნაირგვარ საარსებო გარემოსთან არიან შეგუებული. ადრე სოკოებს მცენარეთა სამეფოში აერთიანებდნენ. ბიოქიმიის, გენეტიკისა და ციტოლოგიის ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე XX ს. 70-იან წლებში სოკოები ცალკე სამეფოდ გამოყვეს.

სოკოებს მოეპოვებათ ისეთი ნიშნები, რომლებითაც მცენარეებს ემსგავსებიან, კერძოდ: 1. არა აქვთ მოძრაობის უნარი; 2. აქვთ უჯრედის კედელი; 3. ახასიათებთ სხეულის განუწყვეტელი ზრდა; 4. ახასიათებთ ოსმოტროფული კვება (საკვების სხეულის ზედაპირით შეწოვა); 5. აქვთ დიდი ზომის ვაკუოლები.

ამასთანავე სოკოებს ცხოველების მსგავსი ნიშნებიც ახასიათებთ, კერძოდ: 1. ჰეტეროტროფული კვების ტიპი; 2. ქიტინის არსებობა უჯრედის კედელში (იგი მწერების გარეგან ჩონჩხში გეხდება); 3. სამარაგოდ იგროვებენ გლიკოგენს; 4. კატაბოლიზმის ერთ-ერთი პროდუქტია შარდოვანა; 5. არა აქვთ პლასტიდები.

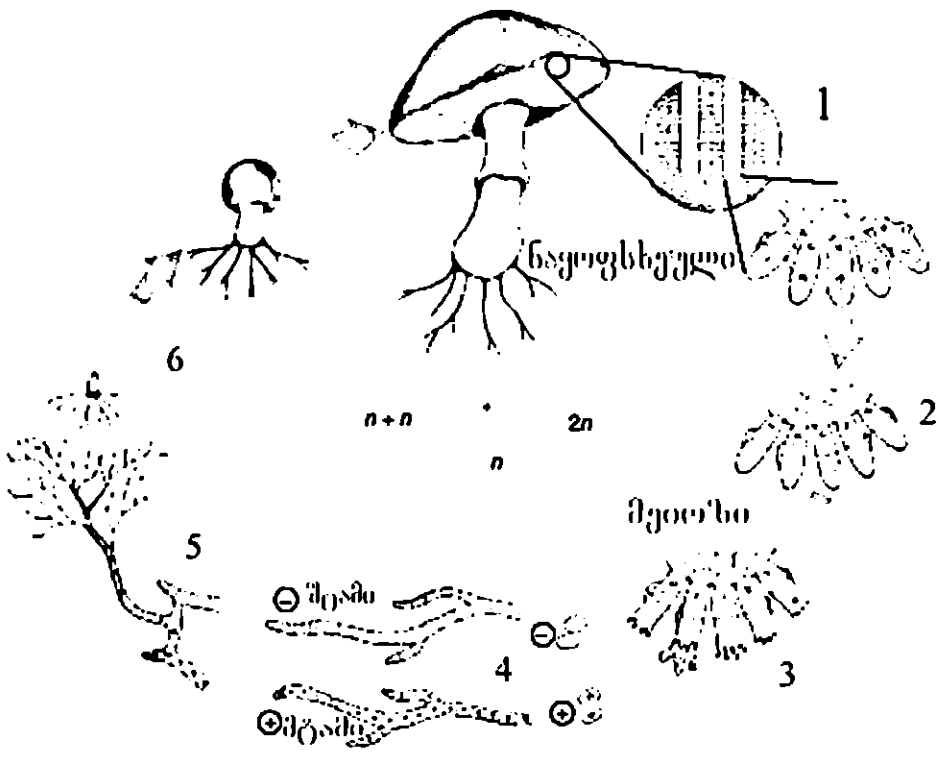
სოკოს სხეულს მიცელიუმი ეწოდება. იგი წვრილი დატოტვილი მილისებური ძაფებისგან შედგება. ზოგი სოკოს ჰიფები დაყოფილია ერთ ან მრავალბირთვიან უჯრედებად (მაგალითად, პენიცილიუმი, ასპერგილუსი, ქამა სოკო და მისთ.), სხვებისა დაყოფილი არ არის (მაგ., პურის ობი — მუკორი) და აქვს არაუჯრედული ორგანიზაციის მრავალბირთვიანი მიცელიუმი. სოკოებს გააჩნია უჯრედის სქელი, დრეკადი კედელი, რომელიც აგებულია პოლისაქარიდების (ქიტინი), ცილებისა და ლიპიდებისგან. ციტოპლაზმა შეიცავს ენდოპლაზმურ ბადეს, მიტოქონდრიებს, პრიმიტიულ გოლჯის კომპლექსს, რიბოსომებს (შუალედურია პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების რიბოსომებს შორის). ბირთვი პატარა ზომისაა და მცირე რაოდენობით შეიცავს ჭარბ დნმ-ს. გენეტიკური მასალა — ქრომოსომები შეილეულ უჯრედებში მიტოზისა და მეიოზის მეშვეობით ნაწილდება. გაყოფის პერიოდში ბირთვის გარსი არ იშლება და თითისტარა ბირთვშივე ყალიბდება (ახასიათებთ დახშული მიტოზი და მეიოზი). სოკოები მრავლდება როგორც უსქესოდ, ისე სქესობრივად. ჰიფები იზრდება კენწრულად და უხვად იტოტება. ახასიათებთ უჯრედგარეთა მონელება. უჯრედი გარემოში გამოყოფს ჰიდროლიზურ ფერმენტებს, რომლებიც რთულ ორგანულ ნაერთებს მარტივ ნივთიერებებად შლის და ჰიფებით შეინოვს.

დიდ ჯგუფს ქმნის ობის სოკოები. ისინი გეხვდება ტენიან, ორგანული ნივთიერებებით მდიდარ გარემოში, მცენარის მკვდარ ნარჩენებსა და ხრწნად ცხოველებზე. მათ მიეკუთვნება მუკორი. გააჩნია დაუტიხრავი ჰიფები. იგი ფორმალურად თითქოს ერთ დიდ მრავალბირთვიან უჯრედს წარმოადგენს. მიცელიუმი ნარმოქმნის ზეაღმართულ ჰიფებს. თითოეული ბოლოვდება სფერული სპორანგიუმით. მასში მრავალი შაეი ფერის სპორა მწიფდება. სპორანგიუმის გარსის დარღვევის შემდეგ სპორა გარემოში იფანტება და ვრცელდება. მსგავსი აგებულებისაა პენიცილიუმი. იგი კარგად ვითარდება პურზე და სხვა პროდუქტებზე, სადაც მომწვანო ნაფიფქს წარმოქმნის. მუკორისაგან განსხვავებით მისი მიცელიუმი დატიხრულია და ცილინდრული ფორმის უჯრედებისაგან შედგება, ხოლო ზეამართული მიცელიუმი ფუნჯის მსგავსი ნარმონაქმნით ბოლოვდება. ზედა ბოლოში მრავალი მომწიფებული სპორაა, რომლებიც სხეულს სცილდება და გარემოში ვრცელდება. ობის სოკოები ბუნებაში დიდ როლს ასრულებს — მონაწილეობს ნივთიერებათა წრებრუნვაში, ახდენს ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციას, ათავისუფლებს ნიადაგს მკვდარი ნარჩენებისაგან.

რამდენადმე განსხვავებულია ქუდიანი სოკოების აგებულება და გამრავლება. მაგალითად, ქამა სოკოს მიცელიუმი ნიადაგშია. უხვ ტენიან და თბილ პერიოდში მიცელიუმს ამოეზრდება ნაყოფსხეული. იგი კომპაქტურად შეკრული ჰიფებისგანაა აგებული, რომელიც ფეხისა და ქუდისაგან შედგება. ქუდის ქვედა მხარეს რადიალურ ფირფიტებზე მრავალი სპორა ყალიბდება *(სურ. 3.6)*. ადამიანი სოკოს (ნაყოფსხეულს) საკვებად უხსოვარი დროიდან იყენებს. ჩვენში მრავალი საჭმელი სოკოა გავრცელებული, მათ შორის: ნიყვი, დათვის სოკო, მჭადა, მანჭკვალა, მხეთამხალი და სხვ.

საფუარი ერთუჯრედიანი საპროტროფული სოკოა. სფერული ან ოვალური ფორმის უჯრედი შემოფარგლულია პლაზმური მემბრანითა და კედლით. აქვს ერთი ბირთვი, ცენტრალური ვაკუოლი და ეუკარიოტული უჯრედისთვის დამახასიათებელი ორგანოიდები. მრავლდება უსქესოდ (დაკვირტვით) და სქესობრივად (სპორების შერწყმით). ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. გეხდება ნახშირწყლებით მდიდარ გარემოში. დიდი რაოდენობითაა მწიფე ნაყოფების, განსაკუთრებით ყურძნის მარცლების ზედაპირზე. სპირტული დუღილის გზით (ანაერობული სუნთქვა) შლის ნახშირწყლებს. ფართოდ გამოიყენება ღვინის, ლუდისა და პურის წარმოებაში, ასევე თანამედროვე ბიოტექნოლოგიაში. საფპროტროფების გარდა ბუნებაში გავრცელებულია პარაზიტული სოკოები. გაცილებით მეტია მცენარის პარაზიტები (მაგ., აბედა სოკო, გუდაფშუტა, ჟანგა სოკო და სხვ.), ვიდრე ცხოველებისა და ადამიანის.

სოკოების სიმბიოზის ყველაზე ცნობილი მაგალითია ლიქენები და მიკორიზა. სოკოების სიმბიოზურ კავშირს უმაღლესი მცენარეების (შიშველთესლოვნები და ფარულთესლოვნები) ფესვებთან მიკორიზა ეწოდება. სოკოს ჰიფები გარს ერტყმის მცნარის ნაზ ფესვებს, ზოგიერთი მასში იჭრება. სოკოს ჰიფები გარემოდან



სურ. 3.6. სოკოს სასიცოცხლო ციკლი. 1. ფირფიტა მასზე განლაგებული ბაზიდიუმებით. 2. ჰაპლოიდი ბირთვების შერწყმით (დიკარიონიდან) დიპლოიდი კენწრული უჯრედის ნარმოქმნა. 3. მეიოზის საბოლოო პროდუქტი — ჰაპლოიდი სპორები. 4. სპორების გაღივება და - და + შენყვილების ტიპის მქონე ჰაპლოიდი შტამების ჩამოყალიბება. 5. კონუგაციით - და + ჰაპლოიდურბირთვიანი (დიკარიონის) ჰიფების ნარმოქმნა. 6. ნაყოფსხეულის (შედგება ფეხისა და ქუდისგან) ჩამოყალიბება.

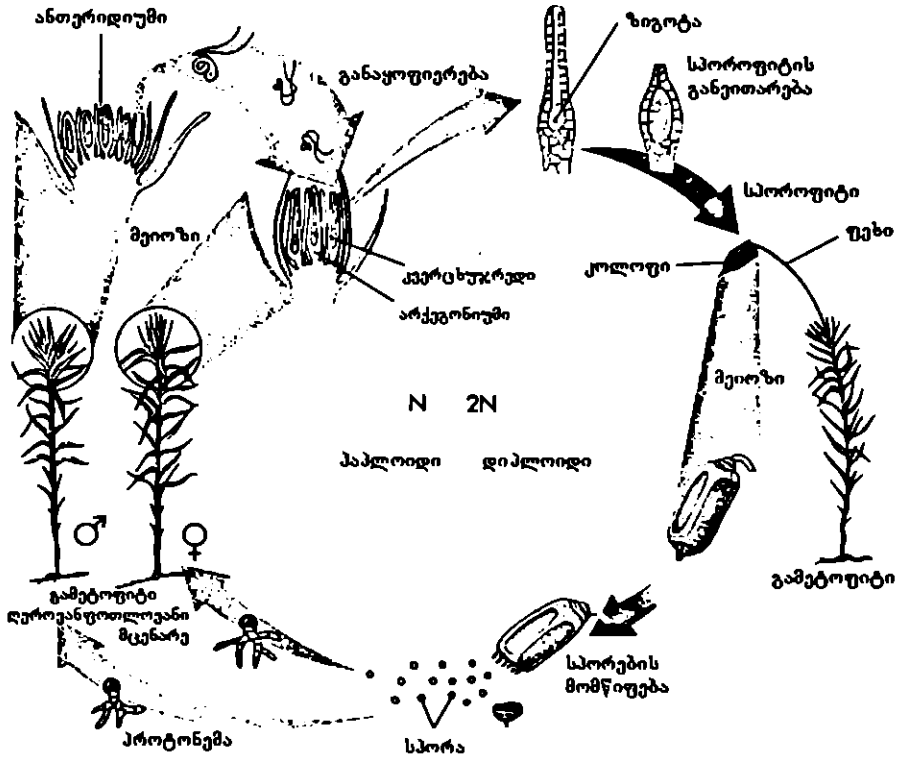
დიდი რაოდენობით იწოვს წყალსა და მასში გახსნილ ნივთიერებებს და აწვდის მცენარეს, ხოლო მათგან იღებს ფოტოსინთეზის შედეგად სინთეზირებულ ორგანულ ნივთიერებებს. მრავალ მცენარეს მათ გარეშე ნორმალური ზრდა-განვითარება არ შეუძლია.

მღიერები სოკოსა და წყალმცენარეების, (ზოგჯერ ციანობაქტერიების) რთული თანაცხოვრების შესანიშნავი მაგალითია. ისინი ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. წყალმცენარე უზრუნველყოფს სოკოს ორგანული ნივთიერებებით, ხოლო სოკო იცავს წყალმცენარეს გარემო ფაქტორების მავნე ზემოქმედებისგან (მზის სხივები, გამოშრობა და მისთ.), აგრეთვე აწვდის წყალსა და მასში გახსნილ მინერალურ მარილებს. ბოლო გამოკვლევების საფუძველზე მიიჩნევენ, რომ სოკოსა და წყალმცენარის თანაცხოვრება საკმაოდ რთულია. ადგილი აქვს წყალმცენარეზე სოკოს ტოლერანტულ პარაზიტიზმს. თანამედროვე სისტემაში მღიერებს დამოუკიდებელ განყოფილებად (ტიპი) აღარ განიხილავენ. მათ ათავსებენ იმ ტაქსონში, რომელსაც სოკოს კომპონენტი ეკუთვნის.

სამეფო უმაღლესი მცენარეები PLANTAE (METAPITA)

მცენარეთა მიერ ახალი გარემოს — ხმელეთის ათვისებამ უმაღლეს მცენარეთა ფორმირება განაპირობა. ერთგვაროვანი წყლის გარემოსგან განსხვავებით მათ ხმელეთზე გაცილებით რთულ და ცვალებად გარემოსთან მოუხდათ შეგუება.

ევოლუციის პროცესში მცენარეებს ახალი ადაპტაციები ჩამოუყალიბდა, სხეულის აგებულება და გამრავლების სისტემა გაურთულდა. წყალმცენარეებისაგან განსხვავებით უმაღლესი მცენარეების სხეული დიფერენცირებულია. გააჩნია ქსოვილები, მათგან აგებულია ორგანოები. უმაღლეს მცენარეთა ორგანოებს აჯგუფებენ: ზრდის ანუ ვეგეტატურ ორგანოებად (ფესვი, ღერო, ფოთოლი) და გამრაელების ანუ გენერაციულ ორგანოებად (მაგალითად, სპორიანებში სპორანგიუმი, სადაც სპორები ყალიბდება; ფარულთესლოვნებში კი — ყვავილი, ნაყოფი და თესლი)



სურ. 3.7. ხავსის სასიცოცხლო ციკლი.

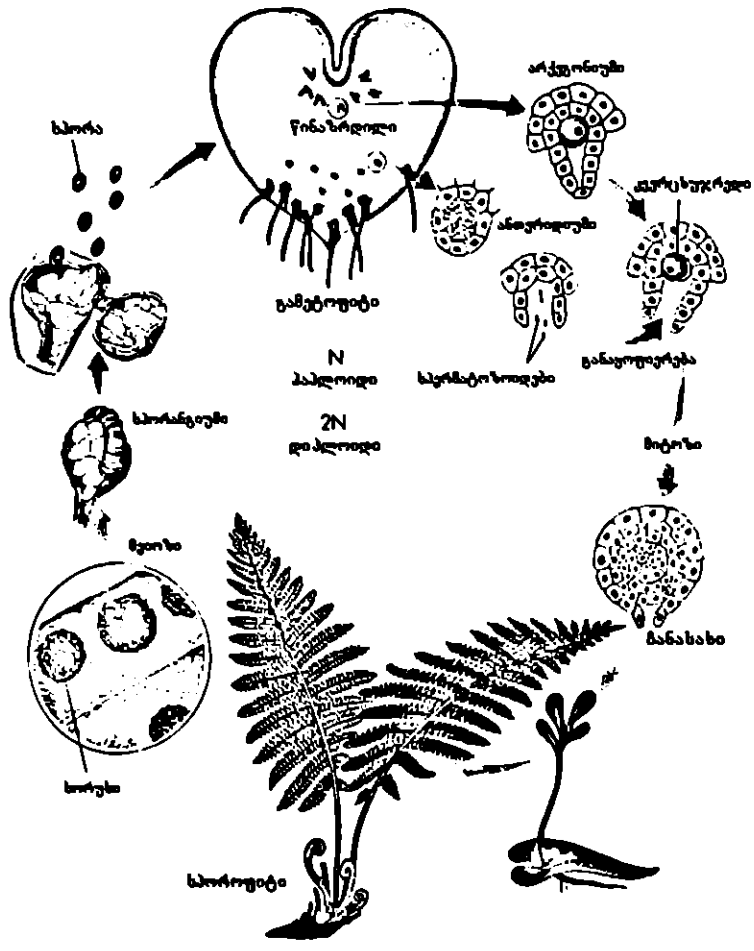
უმაღლეს მცენარეებს ორ დიდ ჯგუფად ყოფენ: **სპოროვანი მცენარები** ანუ **არქეგონიატები** (მაგ., ხავსნაირები, გვიმრანაიები და სხვ.) და **თესლოვნები** (შიშველთესლოვნები, ფარულთესლოვნები).

მცენარეები ცხოველებისგან შემდეგი ნიშნებით განსხვავდება: 1. ახასიათებთ ავტოტროფული კვების ტიპი, ახდენენ ფოტოსინთეზს; 2. არა აქვთ სივრცეში მოძრაობით გადაადგილების უნარი; 3. ახასიათებთ სხეულის განუწყვეტელი ზრდა; 4. ახასიათებთ ოსმოტროფული კვება (საკვების სხეულის ზედაპირით შეწოვა); 5. აქვთ ცელულოზოვანი უჯრედის კედელი; 6. მოპოვებათ უჯრედის წვენი, რომელიც დიდი ზომის ცენტრალური ვაკუოლშია მოთავსებული; 7. გააჩნიათ სპეციფიკური ორგანოიდები — პლასტიდები.

ხავსნაირები. ამ განყოფილებაში გაერთიანებულია მარტივი აგებულების, მცირე ზომის, სპოროვანი მცენარეები. სახეობათა მრავალფეროვნებით მხოლოდ ყვავილოვან მცენარეებს ჩამორჩებიან. გვხდება ყველა კონტინენტზე. საარსებოდ ირჩევენ ტენიან ადგილებს და შეუძლიათ მწირ და უნაყოფო ადგილებზე დასახლება. დიდი რაოდენობით გვხვდება ტუნდრასა და ნოტიო მაღალმთიანეთში. ხავსნაირები მხოლოდ ბალახოვანი მცენარეებია. ღეროფოთლოვან ხავსებს მიეკუთვნება გუგულის სელი. იგი იზრდება ტყეებში (ბევრია ნაძვნარში), მდელოებზე, ჭაობებში და სხვ. გააჩნია ნაირქსოვილოვანი ორგანოები: ღერო და ფოთოლი. ფესვი არა აქვს. ღეროს ბოლოზე იკეთებს გამონაზარდებს — რიზოიდებს, რითაც ნიადაგს ემაგრება და ნიადაგურ კვებას ახორციელებს. ღეროზე მჭიდროდ არის განლაგებული პატარა, ლანცეტის ფორმის ფოთლები. უჯრედს გააჩნია ქლოროპლასტები, ამდენად ხავსი ავტოტროფია.

გუგულის სელი, ისე როგორც ნებისმიერი სხვა ხავსი მრავლდება როგორც უსქესოდ, ისე სქესობრივად. ღეროფოთლოვანი მცენარე სქესიან თაობას (გამეტოფიტი) წარმოადგენს. (თაობა, რომელიც სპორებს იძლევა, სპოროფიტია. იგი მცენარის განვითარების ციკლის დიპლოიდური ფაზაა. თაობა, რომელზეც სასქესო უჯრედები წარმოიქმნება გამეტოფიტია და ჰაპლოიდურ ფაზას წარმოადგენს). ხავსნაირები — ჰეტერომორფულ სასიცოცხლო ციკლში გაბატონებული სპოროფიტული მცენარეებია. ხავსების ევოლუცია წარიმართა იმგვარად, რომ სასიცოცხლო ციკლში დამოუკიდებლობა მოიპოვა გამეტოფიტმა, ხოლო სპოროფიტი გამარტივებულია და დაკარგული აქვს დამოუკიდებლად არსებობის უნარი.

ზოგიერთ ღეროს წვერზე მცენარე იკეთებს მამრობით სასქესო ორგანოს — ანთერიდიუმს, მასში მწიფდება სპერმატოზოიდები. სხვა ინდივიდის ღეროს წვერზე ვითარდება მდედრობითი სასქესო ორგანო — არქეგონიუმი, რომელშიც მწიფდება კვერცხუჯრედი. განაყოფიერებისთვის აუცილებელია წყალი. ამდაგვარ გარემოს წვიმა ან უხვი ნამი ქმნის. ანთერიდიუმში მომწიფებული სპერმატოზოიდები შოლტებით გადადგილდება არქეგონიუმისკენ და ერთ-ერთი მასში არსებულ კვერცხუჯრედს ანაყოფიერებს. ზიგოტიდან ფორმირ-



სურ. 3.8. გვიმრის სასიცოცხლო ციკლი.

დება გრძელი ფეხი, რომელიც კოლოფით (სპორანგიუმით) ბოლოვდება. კოლოფში (სპორანგონიუმში) საწყისი უჯრედების მეიოზური გაყოფის გზით ყალიბდება სპორები. სპორა სქელი გარსებით დაფარული ჰაპლოიდური ერთი უჯრედია. სპორები ქარის მეშვეობით ვრცელდება გარემოში. ხელსაყრელ პირობებში მოხვედრილი სპორიდან დატოტვილი ძაფნაირი სხეული — პროტონემა ვითარდება. იგი დასაბამს აძლევს ღეროფოთლოვან მცენარეს (*სურ. 3.7*). ხავსის სპოროფიტია კოლოფი ფეხით. ძაფნაირი პროტონემის არსებობა მიუთითებს იმაზე, რომ ხავსები ოდესღაც არსებული, უძველესი მწვანე წყალმცენარეებისგან წარმოიშვა.

ჭაობებშია გავრცელებული თეთრი ანუ ტორფის ხავსი — სფაგნუმი. იგი მრავალწლიანი მცენარეა. გააჩნია დატოტვილი ღერო, რომლზეც მოთეთრო, ნვრილი ლანცეტა ფოთლებია განლაგებული. სფაგნუმის ფოთოლი შედგება მცირე ზომის მწვანე (ქლოროპლასტების შემცველი) და დიდი ზომის მკვდარი უჯრედებისგან. ეს უკანასკნელი წყლითაა ამოვსებული. სფაგნუმს რიზოიდები არ გააჩნია. წყალსა და მინერალურ მარილებს სხეულის ზედაპირით იწოვს. სასქესო ორგანოები არის ანთერიდიუმი და არქეგონიუმი. ტორფიან ჭაობებზე სფაგნუმი ქმნის მთლიან საფარს და ტორფის მთავარი წარმომქმნელია.

ტორფი წარმოადგენს საუკეთესო ორგანულ სასუქს. იგი სანვავადაც გამოიყენება. ტორფიდან ღებულობენ ცვილს, პარაფინს, კარბოლის მჟავას, მეთანოლს, ძმარმჟავასა და სხვა ნივთიერებებს.

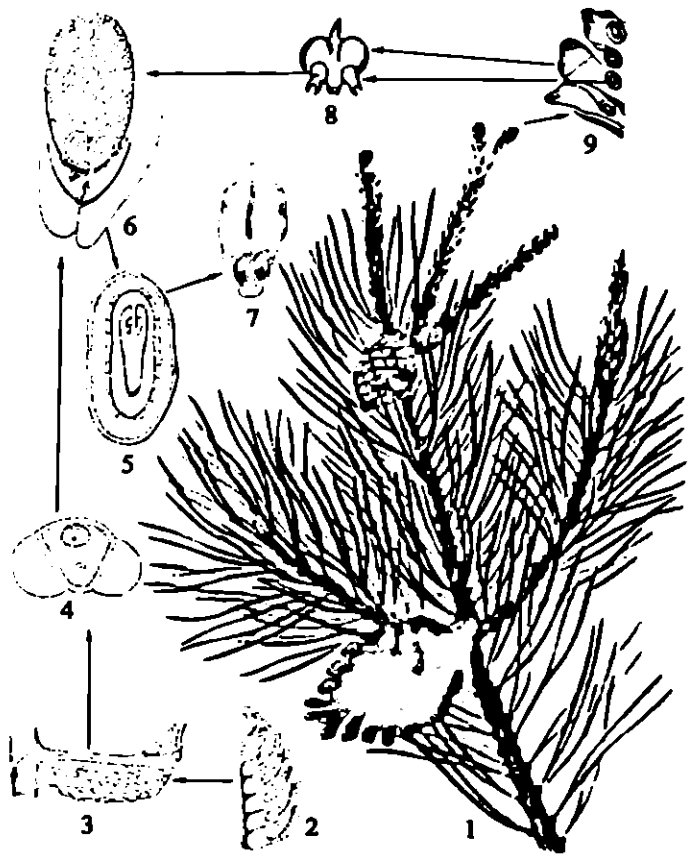
გვიმრანაირები უძველესი სპოროვანი მცენარეებია. გავრცელებულია მთელ დედამიწაზე: ტყეებში, ველებზე, ჭაობებსა და უდაბნოებში, მრავალფეროვანი ფორმები გვხდება ტროპიკულ ტყეებში. ძირითადად ბალახოვანი მცენარეებია, მხოლოდ ტროპიკულ ტყეებში გვხდება ხემაგვარი გვიმრები. გვიმრებს აქვს ფესვი, ღერო, მარტივი ან რთული ფოთოლი. ჩვენში ფართოდ გავრცელებული გვიმრაა ჩადუნა. იგი ტენიან ფოთლოვან ტყეებსა და დაჩრდილულ ადგილებში იზრდება. მისი ღერო (ფესურა) მიწაშია მოთავსებული. აქვს 1 მ-დე სიგრძის რთული ფოთლები. ფოთლის ქვედა ზედაპირზე იკეთებს ყავისფერ მეჭეჭებს – სორუსებს. მასში მრავალი სპორანგიუმია, რომელშიც სპორები ყალიბდება. სპორიდან ვითარდება გულისებური ფორმის 2-4 მმ. ზომის მწვანე ფირფიტა — ნინაზრდილი (სქესიანი თაობა — გამეტოფიტი). მასზე ვითარდება ანთერიდიუმები და არქეგონიუმები. ანთერიდიუმში ნარმოიქმნება მრავალი მცირე ზომის შოლტებანი გამეტა — სპერმატოზოიდები. არქეგონიუმში ყალიბდება ერთი კვერცხუჯრედი. განაყოფირებისათვის საჭიროა წყლიანი გარემო. არქეგონიუმში მოხვედრილი სპერმატოზოიდი ანაყოფიერებს კვერცხუჯრედს. ზიგოტიდან ღეროფოთლიანი მცენარე (სპოროფიტი) ვითარდება. გვიმრის სასიცოცხლო ციკლში ადგილი აქვს თაობათა მონაცვლეობას. ხავსებისგან განსხვავებით, ორივე თაობა (სპოროფიტი და გამეტოფიტი) დამოუკიდებელი ორგანიზმებია. გვიმრანაირების ჰეტერომორფულ სასცოცხლო ციკლში გაბატონებულია სპოროფიტული თაობა (*სურ. 3.8*).

სილამაზის გამო ზოგიერთი გვიმრა გამოყენებულია, როგორც დეკორატიული მცენარე, ერთეული — საკვებად ან სამკურნალოდ. საქართველოს ნითელ ნიგნში შეტანილი გვიმრებიდან აღსანიშნავია ტორფიან ჭაობებში გაერცელებული სამეფო გვიმრა. ჩადუნასაგან განსხვავებით, მას გააჩნია უნაყოფო და სპორიანი ფოთლები. გვხდება აჭარაში, აფხაზეთსა და გურიაში. მეზოზოური ერის ქვანახშირის პერიოდში სახლობდ-

ნენ ნაირგვარი გვიმრანაირები, მათ შორის გიგანტური გვიმრები. ხემაგვარი გვიმრები (ზოგიერთი სიმაღლით 30 მ-ს აღწევდა) გაუვალ ტყის მასივებს ქმნიდნენ. ამ პერიოდის ტყეებმა წარმოქმნეს ქვანახშირის საბადოები. თანამედროვე გვიმრები, ქვანახშირის პერიოდში გაბატონებული უზარმაზარი და მრავალფეროვანი ჯგუფის, მხოლოდ უმნიშვნელო შემორჩენილი ნაშთია.

შიშველთესლოვნები ყველაზე ძველი თესლოვანი მცენარეებია. ფართოდაა გავრცელებული დედამიწაზე. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ევრაზიისა და ამერიკის ჩრდილოეთით, ერცელ ტერიტორიაზე ტყის მასივებს ქმნის. გაბატონებულია მაღალმთის ზედა ნაწილში. შიშველთესლოვნები ხე ან ბუჩქოვანი მრავალწლიანი, ძირითადად მარადმწვანე მცენარეებია.

შიშველთესლოვნების მთავარი თავისებურება თესლის არსებობაა, რომელიც მცენარის გამრავლებასა და გავრცელებას ემსახურება. ერთუჯრედიანი სპორისაგან განსხვავებით, თესლში არსებული ჩანასახი გარემოს არახელსაყრელი ფაქტორებისგან საიმედოდ არის დაცული და მომარაგებულია საკვებით. იგი დიდხანს შეიძლება იყოს მოსვენებულ მდგომარეობაში. ხელსაყრელი პირობების დადგომისთანავე ღივდება და ვითარდება მცენარე. მეორე მნიშვნელოვანი თავისებურება ის არის, რომ განაყოფიერება აღარაა დაკავშირებული წყალთან. მტვრის მარცვლის ჰაერით გადატანამ გამორიცხა წყალი, როგორც გამეტების შეხვედრისა და განაყოფიერების აუცილებელი გარემო. შიშველთესლოვნებში მკვეთრად არ არის გამოხატული თაობათა მორიგეობა, სქესიანი თაობა (გამეტოფიტი) ძალზე რედუცირებულია და ვითარდება სპოროფიტზე (უსქესო თაობა).

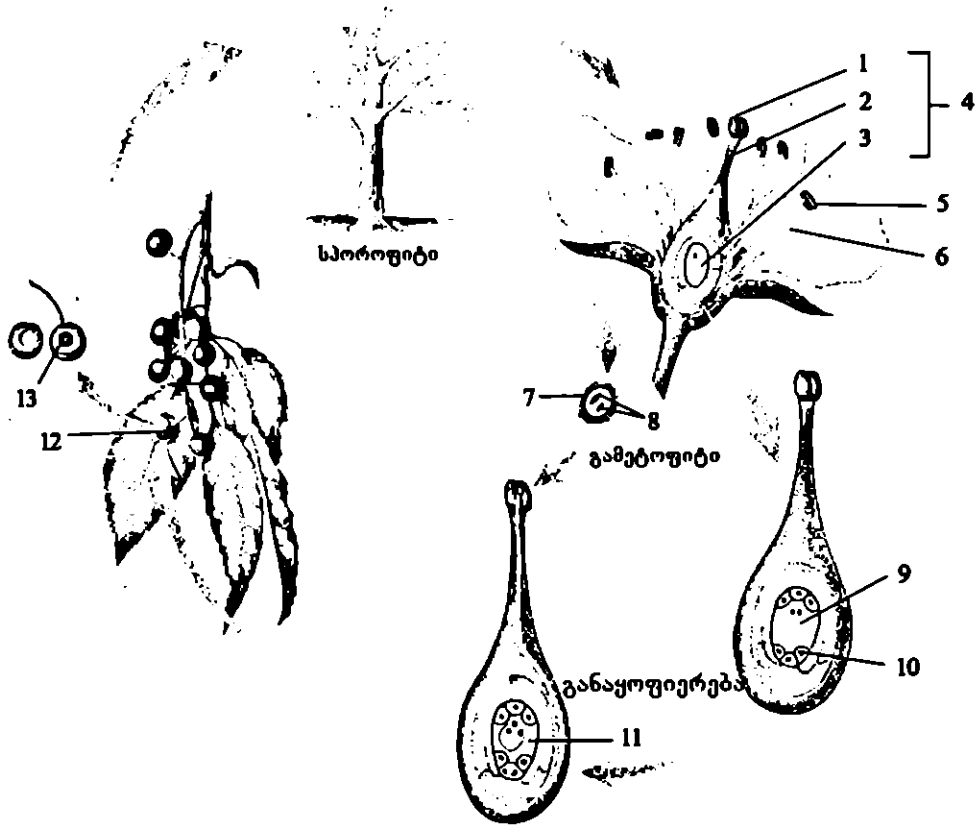


სურ. 3.9. ფიჭვის სასიცოცხლო ციკლი. 1. ტოტი მდედრობითი და მამრობითი გირჩებით. 2. მამრობითი გირჩის განივი ჭრილი. 3. სამტვრე პარკი (მიკროსპორანგიუმი) 4. მტვრის მარცვალი (მამრობითი გამეტოფიტი). 5. თესლის განივი ჭრილი. 6. თესლკვირტის განივი ჭრილი (მდედრობითი გამეტოფიტი). 7. მომწიფებული თესლი ქერქლით. 8. ქერქლი ორი თესლკვირთით. 9. მდედრობითი გირჩის განივი ჭრილი.

შიშველთესლოვანთა შორის ყველაზე წარმომადგენლობითი ჯგუფია წიწვოვნები. მათ მიეკუთვნება: ფიჭვი, ნაძვი, სოჭი, უთხოვარი, კედარი, კვიპაროზი, ღეია, სექვოია, ლარიქსი და სხვ. განვიხილოთ ფიჭვის გამრავლება. გაზაფხულზე ფიჭვის ნორჩ ტოტებზე ვითარდება მონითალო დიდი გირჩები, რომლებიც მდედრობითია და პატარა ზომის მოყვითალო გირჩები, რომლებიც მამრობითია. მამრობითი გირჩის ცენტრალურ ღერძზე მრავალი ქერქლია მიმაგრებული. თითოეულ მათგანზე ორი სამტვრე პარკია, რომელშიც მტვრის მარცვლები ყალიბდება. მომწიფებულ მტვრის მარცვალს აქვს ორი საჰაერო პარკი. მისი დახმარებით მტვრის მარცვალი დიდხანს ჩერდება პაერში და ქარს საკმაოდ შორს გადააქვს. მდედრობითი გირჩის ცენტრალურ ღერძთან დაკავშირებულია ქერქლები. ცალკეულ ქერქლს ორი თესლკვირტი გააჩნია. ისინი შიშველადაა, სწორედ აქედან წარმოდგება მცენარეთა ამ ჯგუფის სახელი — შიშველთესლოვნები. ქარით გადატანილი მტვრის მარცვლები თესლკვირტის წებოვან წვერზე ხვდება და ხდება დამტვერვა. დამტვერვის შემდეგ ქერქლები მჭიდროდ ეკვრიან ერთმანეთს. გირჩა იზრდება, ხეედება და მწვანედ იფერება. დამტვერვასა და განაყოფიერებას შორის ინტერვალი (12-14 თვე) საკმაოდ დიდია.

მამრობითი გამეტა (შოლტები არ გააჩნია და ამიტომ სპერმიას უწოდებენ და არა სპერმატოზოიდს) ანაყოფიერებს თესლკვირტში არსებულკვერცხუჯრედს. ზიგოტიდან ჩანასახი ვითარდება, ხოლო თესლკვირტიდან თესლი ყალიბდება *(სურ. 3.9)*. იგი შეიცავს ენდოსპერმს, რომელშიც საკვები ნივთიერებებია დაგროვებული. მომწიფებული თესლები გირჩიდან გარემოში იფანტება. თესლს გააჩნია ფრთისებრი გამონაზარდი, რომელიც ხელს უწყობს ქარით გავრცელებაში.

შიშველთესლოვანებს დიდი მნიშვნელობა აქვს მცენარეული საფარის შექმნასა და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობაში. განსაკუთრებით მთიან რეგიონებში აფერხებენ თოვლის დნობას, აკავებენ წვიმის წყლებს, რითაც იცავენ ნიადაგს ნიაღვრით ჩამორეცხვისაგან, აჩერებენ ღვარცოფისა და მეწყერის განვითარებას. ისი-



სურ. 3.10. ყვავილოვანი მცენარის (ბალი) სასიცოცხლო ციკლი. ყვავილის შემადგენელი ნაწილები ჯამი, გვირგვინი მტვრიანები და ბუტკო (4). 1. დინგი. 2. სეტი. 3. ნასკვი. 5. სამტვრე პარკი. 6. მტვრიანს ძაფი. 7. მტვრის მარცვალი. 8. სპერმიები. 9. თესლეერტში მოთავსებული ჩანასახოვანი პარკი. შუაში ცენტრალური უჯრედი. 10. კვერცხუჯრედი. 11. სამტვრე მილით მიტანილი სპერმიებიდან ერთი კვერცხუჯრედს ანაყოფიერებს, მეორე კი ცენტრალურ დიპლოიდურ უჯრედს. 12. ნაყოფი. 13 ნაყოფის განივი ჭრილი.

ნი პაერში გამოყოფენ ფიტონციდებს, რომლებიც სპობენ პათოგენურ მიკროორგანიზმებს. ნიწოვან ტყეში პაერი სუფთაა და მდიდარია უანგბადით. ნიწოვნების მერქანი ძვირფასი საამშენებლო მასალაა. მისგან ღებულობენ ქაღალდსა და სხვადასხვა ქიმიურ (მაგალითად, სკიპიდარს, ვანილს, ხის სპირტს და მისთ.) ნივთიერებებს. ნიწოვან ტყეებს ანადგურებს ხანძარი, განსაკუთრებით კი ადამიანი უსისტემო და მოპოვებითი ხის ჭრით.

საქართველოში შიშველთესლოვანთა ზოგიერთი სახეობა გადაშენების პირას იმყოფება და შეტანილია წითელ წიგნში (მაგალითად, შავი ღვია, ელდარისა და ბიჭვინთის ფიჭვი, ურთხელი, აღმოსავლეთის ბრტყელტოტა).

ფარულთესლოვნები ანუ ყვავილოვანი მცენარეები სახეობათა მრავალრიცხოვნობითა და მრავალფეროვნებით მცენარეთა სხვა ჯგუფებს აღემატება. ისინი ყველა კლიმატურ ზონასა და ეკოლოგიურ პირობებში იზრდება, ქმნის ფოთლოვან ტყეებს, ხოლო პრერიებში, სავანასა და სტეპებში — ბალახოვან საფარს. უდაბნოში ცხოვრებასთანაა შეგუებული კაქტუსი, აგავა და ნაირგვარი ეკლიანი ბუჩქი. ზოგიერთი ყვავილოვანი მცენარე მდინარეებში, ტბებსა და ზღვებში იზრდება. სახნავ-სათეს საკარგულზე, პლანტაციაში, ხეხილის ბაღსა თუ ბოსტანში ადამიანი ნაირგვარ კულტურულ ყვავილოვან მცენარეს ამრავლებს, ზრდის პარკებსა და ორანჟერეებში.

ფარულთესლოვნები სხვა მცენარეებთან შედარებით რთული აგებულებისაა. მხოლოდ მათ გააჩნიათ უნიკალური სტრუქტურა — ყვავილი. იგი სქესობრივი გამრავლების ორგანოა. ყვავილსაფარი (ჯამი და გვირგვინი) იცავს ცენტრალურ ნაწილში მოთავსებულ რეპროდუქციულ ნაწილს — მტვრიანასა და ბუტკოს. ყვავილთანაა დაკავშირებული დამტვერვა, განაყოფიერება, ჩანასახის განვითარება, ნაყოფისა და თესლის ჩამოყალიბება. (*იხ. §6.6; სურ. 3.10*)

ყვავილები განსხვავდებიან აგებულებით, ფორმით, ზომით, შეფერილობით. დამტვერვა შეიძლება თვითდამტვერვით ან ჯვარედინი დამტვერვით მოხდეს.

ჯვარედინი დამტვერვა ხორციელდება ქარით (ანემოფილია), წყლით (ჰიდროფილია) ან ცხოველებით

(ზოოფილია). დამტვერავი ცხოველების მიხედვით გამოყოფენ ენტომოფილურ, ორნითოფილურ და ტერიოფილურ მცენარეებს.

ფარულთესლოვნები ხე, ბუჩქოვანი და ბალახოვანი (ერთ ან მრავალწლიანი), მცენარეებია. დანარჩენ უმაღლეს მცენარეებთან შედარებით აქვთ რთულად აგებული ვეგეტატიური (ფესვი, ღერო, ფოთოლი) ორგანოები. ფოთოლი ასრულებს ფოტოსინთეზისა და ტრასპირაციის (წყლის აორთქლება) ფუნქციებს. მისი მეშვეობით ხორციელდება აირცვლა (სუნთქვა) გარემოსთან. ტიპიური ფოთოლი შედგება ყუნწისა და ფირფიტისგან. სხვადასხვა სახეობის მცენარეების ფოთლები ერთმანეთისაგან ფირფიტის ზომითა და დაკბილვით, ფორმით (მომრგვალო, ელიფსური, გულისებრი, რომბისებრი, თირლმლისებრი და მისთ.) და დაძარღვით (ბადისებრი, რკალური, პარარელური და მისთ.) განსხვავდება. ფოთოლი შეიძლება იყოს მარტივი ან რთული (სამყურა, ფრთართული, თათრთული და მისთ.).

ღერო საყრდენ, გამტარ და ზოგჯერ ნივთიერებათა დამაგროვებელ ფუნქციას ასრულებს. იგი ფესვს ფოთოლთან აკავშირებს. ღერო შეიძლება იყოს ბალახოვანი (მაგ., ხორბალი, სიმინდი, ღიღილო და მისთ.) და მერქნიანი (მაგ., მუხა, წაბლი, ჭადარი და მისთ.). ღერო მრავალგვარია: სნორმდგომი, მცოცავი, მხოხავი, მხვიარა. ზოგიერთი მრავალწლიანი ბალახოვანი მცენარე მიწისქვეშა სახეცვლილ ღეროს (ბოლქვი, ფესურა, ტუბერი) ინვითარებს.

ფესვი წყალსა და მასში გახსნილ მინერალურ მარილებს იწოვს ნიადაგიდან და მცენარეს ამაგრებს ნიადაგზე. განარჩევენ მთავარღერძიან და ფუნჯა ფესვთა სისტემებს. ზოგიერთი მცენარე სახეცვლილ ფესვს (მაგ., ძირხვენა, ფესვტუბერი, საბრჯენი, საჰაერო და მისთ.) იკეთებს.

ნაყოფი ნარმოიქმნება ყვავილის ნასკვიდან. მას ნაირგვარი აგებულება და ფორმა გააჩნია. ნაყოფი თესლის დაცვასა და გავრცელებას ემსახურება. ნაყოფში ერთი ან რამდენიმე თესლია მოთავსებული. აგებულების მიხედვით არჩევენ ერთლებნიან და ორლებნიან თესლს. ნაყოფებისა და მასთან ერთად თესლის გავრცელება სხვადასხვა გზით (მაგ., წყლით, ქარით, ცხოველებით და სხვ.) შეიძლება მოხდეს.

ფარულთესლოვნები ეკოსისტემის მნიშვნელოვანი ნაწილია. ისინი სხვა მწვანე მცენარეებთან ერთად ახდენს მზის ენერგიის ფიქსაციას და გარემოს ამდიდრებს ჟანგბადით. კულტურულ მცენარეებისგან ღებულობენ საკვებ პროდუქტებს, ტექნიკურ ნედლეულს, ბევრი მათგანი გამოიყენება საშენ მასალად, სათბობად. ფარულთესლოვნებისგან ამზადებენ სხვადასხვა სახის ქიმიურ ნივთიერებებს და სამკურნალო პრეპარატებს.

საქართველოში ანტროპოგენური ფაქტორის ზემოქმედებით ყვავილოვან მცენარეთა ზოგიერთი სახეობა გადაშენების პირას იმყოფება და შეტანილია წითელ წიგნში (მაგ., ბზა, ქართული ნეკერჩხალი, კავკასიის აკაკი, კოლხური და ქართული თხილი, პონტოური მუხა, კაკლის ხე, ქართული ნუში, კოლხური ჯონჯოლი, ვერხვი, ძელქვა, ქართული ზამბახი და სხვ.)

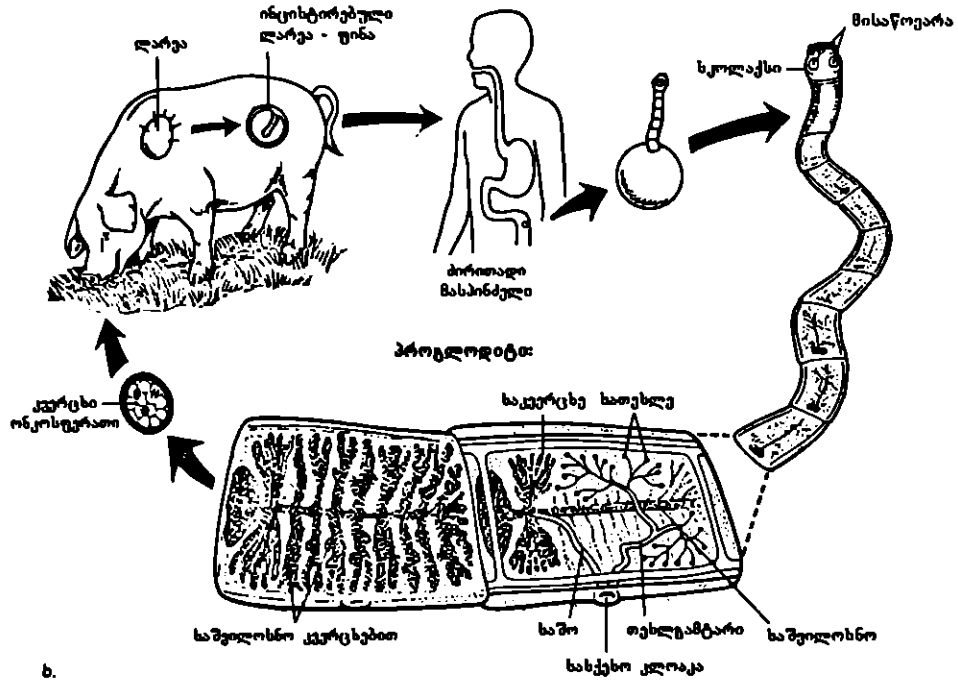
სამეფო ცხოველები ANIMALIA

ცხოველთა სამეფოში საკმაოდ მრავალფეროვანი, მრაეალრიცხოვანი და სხეულის რთული ორგანიზაციის მქონე მრაეალუჯრედიანი ორგანიზმებია გაერთიანებული. მცენარეთა სამეფოსგან განსხვავებით ახასიათებთ: 1. ჰეტეროტროფული კვების ტიპი; 2. არ გააჩნიათ უჯრედის კედელი; 3. სამარაგოდ იგროვებენ გლიკოგენს; 4. არა აქვთ პლასტიდები; 5. ნივთიერებათა ცვლის საბოლოო პროდუქტებია შარდოვანა და შარმჟავა.

სოკოებისა და სხვა ჰეტეროტროფებისგან განსხვდებიან საკვების მოპოვებისა და მიღების წესით. ახასიათებთ ყლაპვითი კვება ანუ მიტაცებული საკვები ხვდება საჭმლის მომნელებელ არხში, მასში მიმდინარეობს მონელებისა და შეწოვის პროცესი, მოუნელებელი ნარჩენები კი გარეთ გამოიდევნება. მათ გააჩნიათ სპეციალიზებული უჯრედები, ერთნაირი აგებულებისა და ფუნქციის უჯრედები ქმნის ქსოვილებს, ეს უკანასკნელი კი ორგანოებსა და სისტემებს.

ევოლუციის პროცესში ჩამოუყალიბდათ სხვადასხვა საკვებით კვების უნარი, ამ ნიშნით ისინი სამ ჯგუფად იყოფიან: 1. ბალახის მჭამელები — herbivora; 2. მტაცებლები ანუ ცხოველური საკვებით მკვებავები — karnivora; 3. ნაირმჭამელები — omnivora.

ნანლაველრუიანები. ამჟამად ეს ჯგუფი ორ დამოუკიდებელ ტიპად არის გაყოფილი: 1. **მსუსხავები**; 2. **ვარცხლურები**. მსუსხავების ტიპში გაერთიანებულია დაბალ საფეხურზე მდგომი, წყალში ბინადარი ცხოველები. უმრავლესობა მიმაგრებულ ცხოვრებას (პოლიპები) ეწევა, რიგი თავისუფლად მცხოვრები (მედუზები) ფორმებია. მათი სხეული პარკისებური აგებულებისაა და კედელი ორი შრისგან (ექტოდერმა, ენტოდერმა) შედგება. ექტოდერმას მრავალი მსუსხავი უჯრედი აქვს, რომლებიც მსხვერპლის დაჭერასა და თავდაცვაში ეხმარება. ახასიათებთ სხიური სიმეტრია. ტიპიური ნარმომადგენელია მტკნარი წყლის ჰიდრა. მას გააჩნია ცილინდრული სხეული, რომლის უკანა ბოლო ემაგრება სუბსტრატს. წინა ბოლო თავისუფლადაა და ბოლოვდება პირით, რომლის ირგვლივ საცეცებია განლაგებული. საჭმლის მონელება ხდება სხეულის სიღრუეში. საკვების მიღება და ნარჩენების გამოყოფა პირის ხვრელით ხორციელდება. აქვთ ვარსკვლავისებური ფორმის ნერვული უჯრედები, რომლებიც მორჩებით ერთიმეორეს უკავშირდება და ქმნის ნერვულ ბადეს. მრაელდება უსქესოდ (დაკვირტვით) (*სურ. 6.1*). და სქესობრივად. ჰერმაფროდიტი ცხოველია. ერთსა და იმავე ცხოველში მწიფდება მდედრობითი და მამრობითი გამეტები. მსუსხავების უმრავლესობა ზღვაში ბინადარობს (მაგ., მარჯნის პო-



სურ. 3.11. ღორის სოლიტერის სასიცოცხლო ციკლი.

ლიპები, მედუზები, აქტინიები და სხვ.).

ბრტყელი ჭიები. ამ ტიპში გაერთიანებულია ორმხრივი სიმეტრიის, ზურგ-მუცლის მიმართულებით გაბრტყელებული სხეულის მქონე ცხოველები. გააჩნიათ კან-კუნთოვანი პარკი, რომელშიც შინაგანი ორგანოებია მოთავსებული. მათ არა აქვთ სხეულის სიღრუე, ორგანოებს შორის არსებული სივრცე ამოვსებულია ფაშარი შემაერთებელი ქსოვილით — პარენქიმით. ამის გამო მათ პარენქიმულ ჭიებს უწოდებენ. ნაწლაელრუიანებისგან განსხვავებით გააჩნიათ გამომყოფ ორგანოთა სისტემა. თავისუფლად მცხოვრები ბრტყელი ჭიები ნამნამიანი ეპითელითაა დაფარული, მტაცებლებია, პატარა ორგანიზმებს ყლაპავენ.

ტიპი იყოფა სამ კლასად: 1. ნამნამიანი ჭიები; 2. მწოველები; 3. თასმისებური ჭიები. პირველ კლასის წარმომადგენლები, ზოგი გამონაკლისის გარდა, თავისუფლადმცხოვრები ფორმებია, დანარჩენი კლასის წარმომადგენლები კი — ადამიანისა და ცხოველთა პარაზიტებია.

ნამნამიან ჭიებს მიეკუთვნება რძისფერი პლანარია. იგი მცირე ზომის, 1 სმ-ის სიგრძის ცხოველია. ბინადრობს დამდგარ ან ოდნავ გამდინარე მტკნარ წყლებში. კან-კუნთოვანი პარკის ზედაპირი ნამნამებით არის დაფარული. მუცლის მხარეს მოპოვება პირის ხვრელი. აქვს ხახა და სამად განტოტვილი ნაწლავი. მათი გვერდითი განშტოებები ყრუთ ბოლოვდება. უკანა ხვრელი არ გააჩნიათ, მოუნელებელი ნარჩენები გამოყოფა პირის ხვრელით. გამომყოფი სისტემა მილაკოვანია. აქეს ორი ნერვული ღერო, რომლებიც წინა ნაწილში არსებულ კვანძს უკავშირდება. სუნთქაეს სხეულის ზედაპირით. მრაველდება სქესობრივად. იგი ჰერმაფროდიტი ცხოველია.

მწოველებს რთული სასიცოცხლო ციკლი გააჩნიათ. განვითარებას გადიან როგორც საბოლოო (პარაზიტობს სქესმწიფე ფორმა), ისე შუალედ (პარაზიტობს ლარვა) მასპინძელში. ადამიანის საშიში პარაზიტებია კატის მწოველა, სისხლის მწოველა და სხვ.

თასმისებრი ჭიები ენდოპარაზიტებია, რომელთა სქესმწიფე ფორმა ადამიანისა და ხერხემლიანი ცხოველების ნაწლავებში ცხოვრობს, ლარვული სტადია კი მეტწილად კუნთებში და ზოგიერთ სხვა ორგანოში. ადამიანის საშიში პარაზიტებია: ექინოკოკი, განიერი სოლიტერი, ღორის სოლიტერი, ხარის სოლიტერი და სხვ.

თასმისებრი ჭიაა ღორის სოლიტერი (*სურ. 3.11*). გააჩნია პატარა თავი (სკოლექსი), მას მოსდევს მოკლე კისერი. იგი წარმოშობს ნაწევრებს. სხეულის დიდი ნაწილი მრავალრიცხოვანი ნაწევრებისგან (პროგლოდიტი) არის აგებული. სქესმწიფე სოლიტერის სიგრძე 3-4 მ-ს აღწევს. პარაზიტი სკოლექსით ემაგრება ნვრილი ნაწლავის კედელს, რაშიც ხელს უწყობს თავზე არსებული ოთხი მისაწოვარი და კაუჭებისგან წარმოქმნილი გვირგვინი. პარაზიტული ცხოვრების გამო ღორის სოლიტერს არ გააჩნია საჭმლის მომნელებელი (საკვებს იწოვს სხეულის ზედაპირით), სუნთქვის, სისხლის მიმოქცევის სისტემები და გრძნობათა ორგანოები. ჰერმაფროდიტი ცხოველია, თითოეულ პროგლოდიტში აქვს მდედრობით და მამრობით სასქესო ორგანოთა სიტემა. საბოლოო მასპინძელში (ადამიანში) სქესმწიფე ფორმა პარაზიტობს, შუალედ მასპინძელში (ღორში) — ლარვა. შემდგომი განვითარებისათვის კვერცხი უნდა მოხვდეს ღორის საჭმლის მომნელებელ სისტემაში. კვერც-

ხიდან იჩეკება 6-კაუჭიანი ლარვა — ონკოსფერა. იგი იჭრება ნაწლავის კედელში და სისხლით გადაიტანება სხვადასხვა ორგანოში, მეტწილად კუნთებში, სადაც გარდაიქმნება ლარვის სხვა სტადიად — ფინად. ადამიანი ფინოზური ხორცის მიღების შემთხვევაში ავადდება.

მრგვალი ჭიები. ორგანიზმებს, რომლებიც ამ ტიპშია გაერთიანებული დაუნანევრებელი ნაგრძელებული ცილინდრული ან თითისტარისებური სხეული გააჩნიათ. ზოგი ნიადაგსა და წყალში ბინადრობს, სხვები მცენარის, ცხოველისა და ადამიანის პარაზიტია. სუნთქვისა და სისხლის მიმოქცევის ორგანოები არ გააჩნიათ. გააჩნიათ მარტივი ტიპის (მეტწილად ორი არხისგან შედგება) გამომყოფი სისტემა. საჭმლის მომნელებელი არხი შედგება პირის ღრუსა და ნაწლავისგან, რომელიც უკანა ხვრელით ბოლოვდება. ნერვული სისტემა ხახისრგვლივი ნერვული რგოლისგან და სიგრძივი ღეროებისგან შედგება. ძირითადად გაყოფილსქესისანი ორგანიზმებია, ზოგში გამოხატულია სქესობრივი დიმორფიზმი. კვერცხები გარემოში გამოიყოფა და ვითარდება. გვხდება ცოცხლადმშობი ფორმები (მაგალითად, სპირალური ტრიქინელა, რიშტა). ზოგიერთი პარაზიტი გეოჰელმინთია — შუალედი მასპინძლის გარეშე ვითარდება (მაგალითად, ადამიანის ასკარიდა, მახვილა), ზოგიც ბიოჰელმინთია — განვითარებაში შუალედი მასპინძელი მონაწილეობს (მაგალითად, რიშტა, სპირალური ტრიქინელა). ადამიანის საშიში პარაზიტებია: ადამიანის ასკარიდა, სპირალური ტრიქინელა, რიშტა და სხვ.

რგოლოვანი ჭიები მაღალი ორგანიზაციის ჭიების ტიპია. ფართოდაა გავრცელებული დედამიწაზე, ბინადრობენ ხმელეთზე, ზღვებსა და მტკნარ წყლებში. ძირითადად თავისუფლად მცხოვრები ორგანიზმებია, ზოგიერთი პარაზიტულ ცხოვრებასაა შეგუებული. დამახასიათებელია სხეულის მეორეული სიღრუე — ცელომი. მათი სხეული ორმხრივსიმეტრიულია და დაყოფილია სეგმენტებად — მეტამერებად. კარგად აქვთ განვითარებული კან-კუნთოვანი პარკი. საჭმლის მომნელებელი სისტემა, ჭიათა სხვა ტიპებისგან განსხვავებით რთული აგებულებისაა და შედგება წინა (პირის ღრუ, ხახა), შუა და უკანა ნაწლავისგან. სუნთქვის ორგანოები მხოლოდ ზოგიერთ რგოლოვან ჭიას გააჩნია. მრავალ სახეობაში სუნთქვის ორგანოს ფუნქციას კანი ასრულებს. სისხლის მიმოქცევის სისტემა კარგად არის განვითარებული. იგი დახშულია და მთავარ ნაწილს შეადგენს ზურგისა და მუცლის სისხლძარღვები. გამომყოფი სისტემა მილაკებისგან შედგება, რომლებიც სეგმენტ-სეგმენტ არის განლაგებული. ნერვული სისტემა წარმოდგენილია მუცლის ნერვული ძეწკვისა და ხახის ზედა და ქვედა ნერვული კვანძებისგან. ცალსქესიანი ან ჰერმაფროდიტი ცხოველები არიან. განვითარება მიმდინარეობს მეტამორფოზით. ზოგიერთ სახეობაში გვხდება უსქესო გამრავლებაც (ფრაგმენტაცია). გამოყოფენ სამ კლასს: 1. მრავალჯაგრიანი ჭიები; 2. მცირეჯაგრიანი ჭიები; 3. წურბელები.

მრავალჯაგრიანი ჭიების დიდი ნაწილი ზღვებში მოსახლეობს, ზოგი მტკნარი წყლის ბინადარია. ცხოვრობენ ფსკერზე, ზოგი მათგანი მჯდომარეა, ხოლო რიგი ფორმები მოძრავი, ზოგიც წყალში ცურავს. სხეული მეტად წაგრძელებულია და იყოფა თავის, ტანისა და ანალურ განყოფილებებად.

მცირეჯაგრიანი ჭიების დიდი ნაწილი ტენიან ნიადაგებში ბინადრობს, რიგი ნაწილი გვხდება მტკნარ წყლებში. ამ კლასშია გაერთიანებული ჭიაყელა. იგი ნიადაგის ბინადარია. დიდი რაოდენობით გვხვდება ნეშომპალით მდიდარ ნიადაგებში. მისი წვრილი და გრძელი სხეული 100-180 რგოლს შეიცავს. წინა ბოლოზე პირის ხვრელია, უკანა ბოლოზე — ანალური ხვრელი. თითოეულ რგოლზე რვა მოკლე ჯაგარია მოთავსებული, რომელიც მოძრაობაში ეხმარება. აქვს რეგენერაციის უნარი. ჰერმაფროდიტი ცხოველია, ეუღლებიან სხვადასხვა ეგზემპლარები. იკვებება ნეშომპალით და ხრნნადი ორგანული ნარჩენებით. იგი ხელს უწყობს ნიადაგის ნარმოქმნას.

წურბელებიდან ყველაზე მეტად ცნობილია სამედიცინო წურბელა. საქართველოში თითქმის ყველგან გვხვდება. იკვებება ხერხემლიანი ცხოველების სისხლით. იყენებენ მედიცინაში სამკურნალო მიზნით.

მოლუსკები ანუ რბილტანიანები. ამ ტიპში გაერთიანებულია ერთ-ერთი ყველაზე უძველესი ჯგუფის ცხოველები. მათი უმრავლესობა ბინადრობს ზღვებსა და ოკეანეებში, ზოგი მტკნარ წყლებში, სხვები ხმელეთზე. მოლუსკების უმეტესობას აქვს ნიჟარა, რომელიც ცხოველის გარეგანი ჩონჩხია. თავზე მოთავსებულია პირი. ბევრს თავზე ერთი ან ორი წყვილი საცეცი გააჩნია, რომლის ბოლოზე თვალები ზის. სხეულსა და ნიჟარას შორის მოთავსებულია კანის ნაოჭი — მანტია, რომელიც წარმოშობს ნიჟარას. ფეხის მეშვეობით მოლუსკები გადადგილდებიან. საჭმლის მომნელებელი სისტემა შედგება წინა, შუა და უკანა ნაწლავისგან. სისხლის მიმოქცევის სისტემა მოლუსკებს კარგად აქვთ განვითარებული, რომელიც არის ღია. მოეპოვებათ გული. გამომყოფი სისტემა ერთი ან ორი თირკმლითაა წარმოდგენილი. სუნთქავენ ლაყუჩებით ან ფილტვით (მანტიის კედლით). გააჩნიათ გაბნეული კვანძების ტიპის ნერვული სისტემა.

მოლუსკების ტიპში გაერთიანებულია შემდეგი კლასები: ორსაგდულიანები, მუცელფეხიანები და თავფეხიანები. **ორსაგდულიანების** კლასს მიეკუთვნება უკბილო. იგი მტკნარი წყლის ბინადარია. უკბილოს თავი არ გააჩნია. აქვს კენტი კუნთოვანი ფეხი, რომლითაც ნელა გადაადგილდება. სუნთქავს ლაყუჩებით. გული სამსაკნიანია. ცალსქესიანი ცხოველია. მდედრი 20 000-მდე კვერცხს ყრის. ახასიათებს მეტამორფოზული განვითარება. კვერცხიდან ვითარდება ლარვული ფორმა — გლოქიდა, რომელიც თევზის კანს ემაგრება და პარაზიტობს.

მუცელფეხიანთა კლასს თანამედროვე მოლუსკების უმრავლესობა ეკუთვნის. ისინი ძირითადად ბინადრობენ ზღვებსა და მტკნარ წყლებში, მცირე ნაწილი ხმელეთზე, ამ კლასის წარმომადგენელია ჩვენში ფართოდ გავრცელებული, ხმელეთზე ბინადარი ვაზის ლოკოკინა. მისი სხეული სპირალურად დახვეულ დიდი ზომის ნიჟარაშია მოთავსებული და სამ ნაწილად იყოფა: თავი, ტანი და ფეხი. თავზე აქვს ორი წყვილი საცეცი.

მოკლე წყვილი შეხებისა და ყნოსვის ორგანოა. გრძელი წყვილი საცეცი თვალით ბოლოვდება. მცენარეებით იკვებება, რაშიაც ენა და მასზე მოთავსებული მაგარი და მახვილი კბილები (საფხეკი) ეხმარება. გააჩნია დიდი ზომის ღვიძლი, რომელიც საჭმლის მომნელებელ ფერმენტებს გამოყოფს. მხოლოდ სქესობრივად მრავლდება. ჰერმაფროდიტი ცხოველია, თვითგანაყოფიერება არ ხდება.

თავფეხიანები ზღვებსა და ოკეანეებშია გავრცელებული. ტიპის ფარგლებში ყველაზე უფრო რთული ორგანიზაციის, სწრაფი და აქტიური ცხოველებია. თავი ტანისაგან მკაფიოდაა გამოცალკევებული და აღჭურვილია საცეცებით. მათი საშუალებით ცხოველი მოძრაობს და მსხვერპლსაც იჭერს. აქვთ კარგად განვითარებული ხერხემლიანების მსგავსი კამერიანი თვალი. თავფეხიანთა უმეტესობას ნიჟარა არ გააჩნია, ხოლო ზოგს აქვს რუდიმენტის სახით.

ნიჟარა მოეპოვება მხოლოდ უძველეს რელიქტურ ფორმას — ნაუტილუსს. ისინი ცალსქესიანი ცხოველებია. განვითარება პირდაპირია. ზოგიერთს აქვს სარეწაო მნიშვნელობა — იყენებენ საკვებად.

ფეხსახსრიანები. ისინი უხერხემლო ცხოველთა შორის ყველაზე მაღალგანვითარებული და მრავალრიცხოვანი ცხოველები არიან. მარტო მწერების კლასი მილიონამდე სახეობას შეიცავს. ფეხსახსრიანები ცხოვრობენ ხმელეთზე, ზღვებსა და მტკნარ წყლებში, გეხდება პარაზიტული ფორმებიც. დამახასიათებელია ორმხრივსიმეტრიული სხეული, რომელიც სეგმენტირებულია. კიდურები დასხსრული აქვთ, საიდანაც ნარმოდგება მათი სახელი. სხეული თავის, ტანისა და მუცლისაგან შედგება. სხეული დაფარულია მკვრივი ქიტინოვანი კუტიკულით. იგი ნარმოადგენს გარეგან ჩონჩხს, რომელიც ცხოველს იცავს დაზიანებისა და გამოშრობისაგან.

ნერვული სისტემა კარგად აქვთ განვითარებული, შედგება ხახის ზედა და ხახის ქვედა ნერვული კვანძისგან და მუცლის ნერვული ძენკვისგან. საკმაოდ რთული აგებულების გრძნობათა ორგანოები აქვთ. თავზე განლაგებულია რთული ფასცეტური თვალები, მხედველობა მოზაიკურია. საჭმლის მომნელებელი სისტემა შედგება ნინა, შუა და უკანა ნანლავისგან. სუნთქვის სისტემა სხვადასხვანაირია: წყალში მცხოვრებნი სუნთქავენ ლაყუჩებით, ხმელეთის ფორმები — ფილტვებით ან ტრაქეებით. გააჩნიათ ღია სისხლის მიმოქცევის სისტემა და მოეპოვებათ კუნთოვანი გული. გამომყოფ ფუნქციას მალპიგის მილები და ცხიმოვანი სხეული ასრულებს. ისინი ცალსქესიანი ცხოველებია. ხშირია სქესობრივი დიმორფიზმი. ზოგიერთი სახეობა მრავლდება პართენოგენეზურად.

ფეხსახსრიანთა ტიპში რამდენიმე კლასია გაერთიანებული, მათ შორის აღსანიშნავია: კიბოსნაირები, ობობასნაირები, მწერები.

კიბოები დედამიწაზე ფართოდაა გავრცელებული. ძირითადად ცხოვრობენ ზღვებსა და მტკნარ წყლებში, ზოგიერთი მღვიმეებში გეხდება, ზოგიც ნოტიო ნიადაგებში. კიბოთა ნარმომადგენლები არიან: დაფნია, ციკლოპი, ღორტავა, ნესტის ჭია, მდინარის კიბო, კრევეტი, კიბორჩხალა და სხვ.

ობობასნაირთა კლასში გაერთიანებულია მეტად ნაირგვარი აგებულების ფეხსახსრიანები. ბინადრობენ ხმელეთზე, იშვიათად წყალში (მაგ., წყლის ობობები). უმრავლესობა მტაცებელია. სხეული შედგება თავმკერდისა და მუცლისაგან, იშვიათად ორივე ნანილი შერწყმულია (მაგ., ტკიპები). სუნთქავენ ტრაქეებით ან ფილტვებით, იშვიათად ორივეთი. ზოგიერთს აქვს შხამიანი ჯირკვალი (მაგალითად, მორიელები, ობობები). ისინი გაყოფილსქესიანი ცხოველები არიან. კვერცხისდებით მრავლდებიან. მორიელები ცოცხლად მშობიარენი არიან.

მწერები ცხოველთა სამყაროს ყველაზე მრავალრიცხოვანი ნარმომადგენლები არიან. მრავალნაირ საცხოვრებელ გარემოში არსებობამ, მათი მრავალგვარობა გამოიწვია. სხეული დაყოფილია სამ ნაწილად: თავი, მკერდი და მუცელი. თავზე აქვს ერთი წყვილი ულვაში, მარტივი და წყვილი რთული — ფასცეტური თვალები, პირის აპარატი. პირი სხვადასხვა ტიპისაა (მღრღნელი, საწუწნი, მლოკავი, მჩხვლეტ-საწუწნი, მბურღავი და ა. შ.) და კვების ხასიათზეა დამოკიდებული. მკერდი შედგება სამი სეგმენტისაგან, თითოეულზე თითო წყვილი დასახსრული ფეხია. შუა და უკანა მკერდზე მოეპოვებათ თითო წყვილი ფრთა. მუცლის განყოფილება დასეგმენტებულია. განვითარება უმაღლეს მწერებში მეტამორფოზით მიმდინარეობს. *(სურ. 6.15).* იკვებებიან ნაირგვარი საკვებით, მცენარეებითა და ცხოველებით, გვხდება ნაირჭამია ფორმებიც. მონაწილეობენ მცენარეთა ჯვარედინ დამტვერვაში. უმრავლესობა მცენარეებისა და ცხოველების მავნებლები არიან. ზოგს გადააქვს სხვადასხვა დაავადების გამომწვევები (მაგალითად, კოლო ანოფელესი, ბუზი ცეცე და მისთ.).

ქანქალიანები. უხერხემლო ცხოველთა მეტად უძველესი ნარმოშობის ტიპია. გავრცელებულია მხოლოდ ზღვებსა და ოკეანეებში. უმეტესობა ბინადრობს ფსკერზე. ახასიათებთ სხივური სიმეტრია (მეორეული მოვლენაა, ვინაიდან მათი ლარვები ორმხრივსიმეტრიულია), კიროვანი ჩონჩხი და წყალგამტარი არხების განსაკუთრებული — ამბულაკრული სისტემა. სხეული დაფარულია კიროვანი ნემსებით. გააჩნიათ განსხვავებული ფორმის სხეული (მაგალითად, ვარსკვლავის, ბურთის, გულის, ყვავილის, კიტრის და სხვ.). თავისუფლად მცხოვრებ ცხოველებს პირი მუცლის (ორალურ) მხარესაა, ხოლო ანალური ხვრელი — ზურგის (აბორალურ) მხარეს. ამბულაკრული სისტემა მოძრაობის, სუნთქვის, გამოყოფისა და შეხების ორგანოს ფუნქციას ასრულებს. იგი შედგება პირისირგვლივი და მასთან დაკავშირებული ხუთი რადიალური არხისგან, რომლებიც ამბულაკრული ფეხებით ბოლოვდება. ზღვის წყლის შიწოდებას ზედა მხარეს არსებული საცრისებრი ფირფიტა და მასთან დაკავშირებული მოკლე მილი — ქვიანი არხი არეგულირებს. ნერვული სისტემა შედგება პირის ირგვლივი ნერვული რგოლისა და რადიალური ნერვებისგან. გრძნობათა ორგანოები (შეხების, ყნოსვის, გემოს, მხედველობის, წონასწორობის) სუსტადაა დიფერენცირებული. სისხლის მიმოქცევის სისტემა შედგება ორა-

ლური და აბორალური ნრიული და რადიალური სისხლძარღვებისაგან. უმეტესობა მტაცებელია, ზოგი იკვებება მცენარეებითა და დეტრიტით. მრავლდებიან სქესობრივად და უსქესოდ (სხეულის შუაზე გაყოფით და დანაკლისი ნაწილის რეგენერაციით). კანელიანებს მიეკუთვნება: ზღვის ვარსკვლავა, ზღვის ზღარბი, ზღვის შროშანი, პოლოთურია და სხვ.

ქორდიანები. ცხოველთა სამეფოს სხვა ტიპებისაგან ქორდიანები შემდეგი ნიშნებით განსხვავდება: 1. სხეულის მთავარ საყრდენ ღერძს, განვითარების რომელიმე სტადიაში მაინც, წარმოადგენს ქორდა; 2. გააჩნიათ ნერვული მილი, რომელიც ქორდის ზემოთ ძევს; 3. საჭმლის მომნელებელი მილის წინა უბანის — ხახის გვერდით კედლებში ვითარდება სალაყუჩე ნაპრალები, რომლებიც წყლის ცხოველებს ლაყუჩებად გარდაექმნებათ. საჭმლის მომნელებელი მილი ქორდის ქვემოთ არის მოთავსებული; 4. გული საჭმლის მომნელებელი არხის მიმართ ვენტრალურად მდებარეობს.

ქორდიანების ტიპი იყოფა სამ ქვეტიპად: 1. უქალოები (წარმომადგენელია ლანცეტა *(სურ. 11.28)*; 2. გარსიანები; 3. ხერხემლიანები ანუ ქალიანები.

ხერხემლიანები სხეულის აგებულებით, ფიზიოლოგიური მოქმედებით განვითარების მაღალ დონეზეა. ამჟამად ხერხემლიანებს ყოფენ 7 კლასად. **მრგვალპირიანები.** ამ კლასში გაერთიანებულია ხერხემლიან ცხოველთა შორის ყველაზე პრიმიტიული აღნაგობის მქონე ფორმები. თითქმის ყველა ზღვასა და ოკეანეში ბინადრობს, გვხვდება მტკნარი წყლის ფორმებიც. გველისებურად წაგრძელებული მომრგვალო სხეული დაფარულია მკვრივი კანით. დამახასიათებელია კენტი ფარფლები. მრგვალპირიანებს არა აქვთ ნამდვილი ყბები და კბილები. შინაგანი ჩონჩხი ხრტილოვანია. ქორდა მთელი სიცოცხლის მანძილზე აქვთ შენარჩუნებული. ისინი სუნთქავენ ლაყუჩებით. საჭმლის მომნელებელი სისტემა მარტივია. გააჩნია ძაბრისებური პირი და რქოვანი კბილები. ზოგი მტაცებელია, უმეტესობა კი — პარაზიტები. ისინი პირით წყლის ცხოველებს ემაგრებიან (უმეტესად თევზებს) და მათი სისხლით იკვებებიან. გამრავლება მონოციკლურია (ერთჯერადი), ტოფობის შემდეგ მშობლები იხოცებიან. ამ კლასში გაერთიანებულია მიქსინები და სალამურები.

ხრტილოვანი თევზები. ამ კლასში გაერთიანებული თევზები ძირითადად ზღვების ბინადრები არიან. პრიმიტიული აღნაგობის ფორმებია. მათი კანი დაფარულია პლაკოიდური (კანში ჩამჯდარი ფირფიტა, მასზე მოთავსებული დენტინისა და პულპისგან აგებული კბილაკით) ქერცლით. ლაყუჩის ხვრელები ღიაა. მალა ამფიცელურია (მალას სხეული ორმხრივ შეზნექილია). მალებს შორის შემორჩენილია ქორდა. არ გააჩნიათ საცურავი ბუშტი. მრგვალპირიანებისგან განსხვავებით, აქვთ ბასრი კბილებით შეიარაღებული ყბები. იგი საკვების დამჭერი და დამქუცმაცებელი ორგანოა, რომლის წარმოშობას დიდი ადაპტური მნიშვნელობა ჰქონდა. სხეული შედგება თავის, ტანისა და კუდისგან. მათი გული ორსაკანიანია (წინაგული და პარკუჭი) და აქვთ სისხლის მიმოქცევის ერთი დახშული წრე. დებენ დიდი ზომის ქვირითს ან ცოცხალ ლიფსიტებს შობენ (მაგალითად, თევზაჩაქუჩა, ცისფერი ზვიგენი). ამ კლასს მიეკუთვნება ზვიგენები და სკაროსები.

ძვლოვანი თევზები. თანამედროვე თევზების უმეტესობა ამ კლასშია გაერთიანებული. ისინი დედამიწაზე არსებულ ყველა აკვატორიას იკავებენ. სხეული შედგება თავისაგან, რომელიც უშუალოდ დაკავშირებულია ტანთან და აგრეთვე კუდისაგან. ტანზე განლაგებულია წყვილი და კენტი ფარფლები. მოძრაობის ორგანოა კუდი, კენტი და წყვილი ფარფლები. კანი დაფარულია ქერცლით (იშვიათ შემთხვევაში შიშველია). მათთვის დამახასიათებელია მთლიანად ან ნაწილობრივ ძვლოვანი ჩონჩხი. გააჩნიათ კარგად განვითარებული ყბები და ძვლოვანი სახურავით დაფარული ლაყუჩები. აქვთ საცურავი ბუშტი, რომელიც ზოგიერთ ფორმაში ფილტვადაა გადაქცეული, ზოგს მეორეულად დაკარგული აქვს. აქვთ ორსაკანიანი გული და სისხლის მიმოქცევის ერთი დახშული წრე. ისინი ცალსქესიანი ინდივიდები არიან. ახასიათებთ გარეგანი განაყოფიერება და გარეგანი განვითარება. გვხვდება ცოცხალმშობი სახეობები (მაგალითად, გამბუზია).

ამფიბიები. ხმელეთის პირველ ხერხემლიანთა ჯგუფია, რომლებიც შეგუებულნი არიან, როგორც წყალში, ისე ხმელეთზე ცხოვრებას. მთელ მსოფლიოშია გავრცელებული, ყველაზე მეტად ტროპიკებში გვხდებიან. თევზების მსგავსად ქვირითს წყალში ყრიან (ზოგი ცოცხალმშობია). უმეტეს შემთხვევაში განვითარება მეტამორფოზით მიმდინარეობს. *(სურ. 3.12)*. საქართველოში ამფიბიებიდან გვხდება კავკასიური ტრიტონი, კავკასიური სალამანდრა, ვასაკა, გომბეშო, ტბის ბაყაყი და სხვ.

ამფიბიების კანი ნაზი და შიშველია, შეიცავს ნაირგვარ ჯირკვლებს. კუნთოვანი სისტემა ხასიათდება ტანის კუნთების მეტი დიფერენცირებით და კიდურების კუნთების მძლავრი განვითარებით. ჩონჩხი შედგება ქალის, ხერხემლისა და წყვილი კიდურების ჩონჩხისაგან. ნეკნები რედუცირებულია. სისხლის მიმოქცევის სისტემა დახშულია და ორი წრისგან შედგება. გააჩნიათ სამსაკნიანი გული,



სურ. 3.12. ბაყაყის სასიცოცხლო ციკლი. ბაყაყის ინდივიდუალური განვითარება სრული მეტამორფოზით მიმდინარეობს. ა. ქვირითი. ბ. ლარვა — თავკომბალა. გ. ზრდასრული ინდივიდი.

რომელიც შეიცავს ორ წინაგულსა და ერთ პარკუჭს. ყველა ზრდასრული ამფიბია ცხოველური საკვებით იკვებება. საკვების მოპოვებაში ეხმარება გრძელი, ლორწოვანი და მოძრავი ენა. გააჩნიათ მოკლე საჭმლის მომნელებელი არხი. ზრდასრულები ფილტვის ტომსიკებით სუნთქავენ, ხოლო ლარვები — ლაყუჩებით. სუნთქვაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს კანი. ნერვული სისტემა შედგება 5 განყოფილებიანი თავის ტვინისა და ზურგის ტვინისგან, ასევე მათგან გამომავალი ნერვებისგან. წინა ტვინი, რომლის ნახევარსფეროები მთლიანად გაყოფილია, კარგადაა განვითარებული, ნათხემი კი — სუსტად. ამფიბიების უმრავლესობას ახასიათებს გარეგანი განაყოფიერება და გარეგანი განვითარება. ლარვების (თავკომბალა) სისხლის მიმოქცევისა და სუნთქვის სისტემა თევზებისას ჰგავს. მათ, სოფლის მეურნეების მაუნე და დაავადებათა გამომწვევების გადამტან მწერების განადგურებით, გარკვეული სარგებლობა მოაქვთ. ბევრ ქვეყანაში ზოგიერთი სახეობა ადამიანის საკვებია. ბაყაყი ფიზიოლოგიის კლასიკური ობიექტია. ჩვენში ზოგიერთი სახეობა გადაშენების პირას იმყოფება და შეტანილია წითელ წიგნში (სირიული მყვარი, კავკასიური ჯვრიანა, მცირეაზიური ტრიტონი).

ქვეწარმავლები ანუ **რეპტილიები** ნამდვილი ხმელეთის ცხოველების ჯგუფს აერთიანებს, რომლებიც მრავალდებიან და ვითარდებიან ხმელეთზე. კანი დაფარულია რქოვანი ქერცლებით ან ფარებით. ჩონჩხი ძვლოვანია და შედგება: ქალას, ტანისა და კიდურების ჩონჩხისგან (გამონაკლისია უფეხო ფორმები). ზოგიერთ რეპტილიას გააჩნია გარეგანი ჩონჩხი. კარგად აქვთ განვითარებული წინა ტვინი და ნათხემი. წინა ტვინს აქვს რუხი ნივთიერების თხელი ფენა (ქერქი). გააჩნია კარგად განვითარებული ფილტვები, გული სამსაკნიანია, პარკუჭი ნანილობრივ ან მთლიანად (ნიანგები) გადატიხრულია. პარკუჭებს შორის ხდება არტერიული და ვენური სისხლის შერევა. აქვთ სისხლის მიმოქცევის ორი — დიდი და მცირე წრე. გააჩნიათ კლოაკა. უმეტესობა ზოოფაგებია, გვხვდება ფიტოფაგებიც (მაგალითად, კუ). ახასიათებთ შინაგანი განაყოფიერება და გარეგანი განვითარება. ქვეწარმავლების უმეტესობა კვერცხმდებია, ზოგი ცოცხალკვერცმდები ან ცოცხლადმშობია. კვერცხი ნაჭუჭითაა დაფარული, რომელიც გარემო ფაქტორების ზემოქმედებისგან იცავს. რეპტილიების მნიშვნელობა არცთუ ისე დიდია. ზოგის ტყავს (მაგალითად, ნიანგი) იყენებენ საგალანტერიო საქმეში, ზოგის ხორცსა და კვერცხს კი — საკვებად (მაგალითად, კუ, ნიანგი). გველების შხამიდან სხვადასხვა სახის მედიკამენტს ამზადებენ. შხამიან გველებს დიდი ზიანი მოაქვთ ტროპიკულ ქვეყნებში მოსახლეობისათვის, სადაც ყოველწლიურად დაგესვლის შედეგად ასეულობით ადამიანი იღუპება. საქართველოს წითელ წიგნში შეტანილი ქვენარმავლებია: გრძელფეხა სცინკი, დასავლური მახრჩობელა, გრძელი მცურაი, ხმელთაშუა ზღვის კუ და სხვ.

ფრინველები. ამ კლასში გაერთიანებულია ორფეხა, ბუმბულით დაფარული, კვერცხისმდებელი ცხოველები. ფრინველები ხერხემლიანი ცხოველების მაღალგანვითარებული და მეტად სპეციფიკური ჯგუფია. მათი უმეტესობა შეგუებულია ჰაერში ფრენას. წინა კიდურები ფრთებათაა გადაქცეული. გავრცელებული არიან მთელ მსოფლიოში — არქტიკიდან ანტარქტიკამდე. ფრინველები ანატომიური აგებულებით დიდ მსგავსებას ამჟღავნებენ ქვეწარმავლებთან. აქვთ თხელი, უჯირკვლო კანი (უმრავლესობას აქვს კუდუსუნსზედა ანუ ზანდაროზის ჯირკვალი) და კანის რქოვანი დანამატები: ნისკარტი, ბრჭყალები, ბუმბული და სხვ. ბუმბულის შეფერვა დამოკიდებულია პიგმენტებზე (მელანინი, ლიპოქრომი).

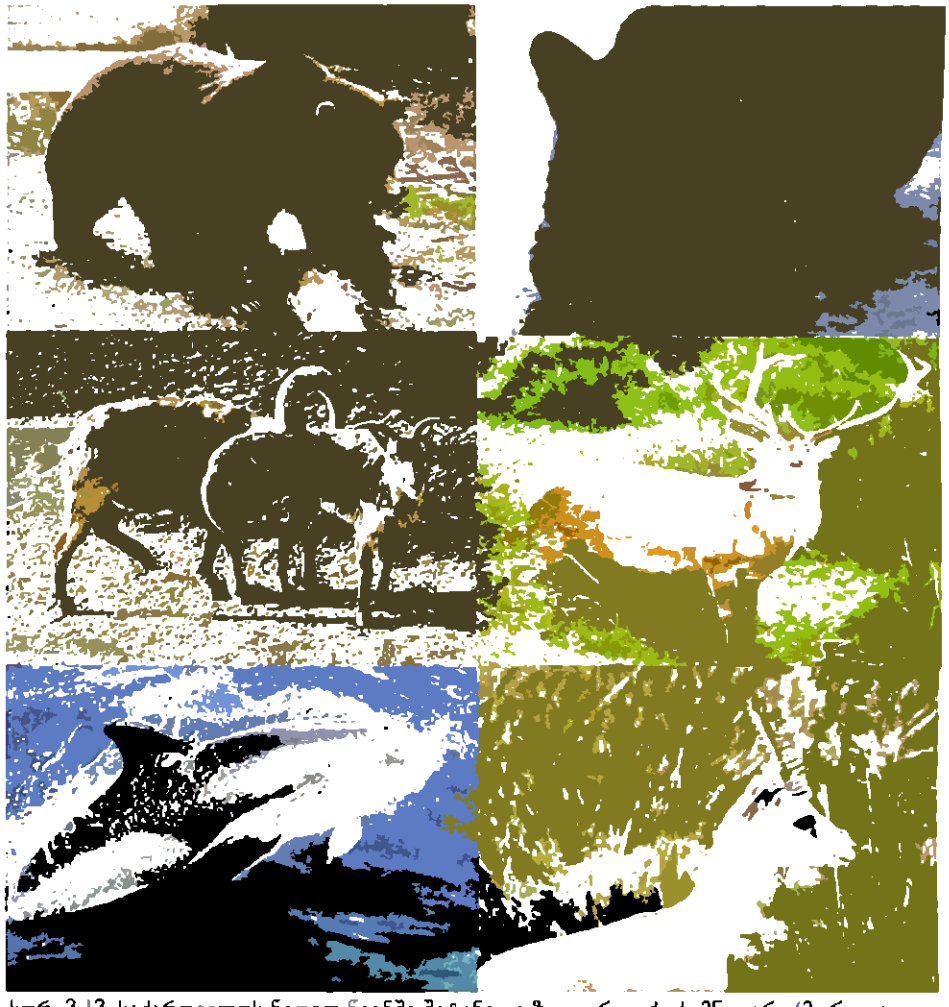
ჩონჩხი პნევმატური (ჰაერით ამოვსებული) ძვლებისგან შედგება, რაც მას სიმსუბუქესა და სიმტკიცეს ანიჭებს. კუნთოვანი სისტემა კარგადაა განვითარებული. სუნთქვის ორგანოები საჰაერო გზების, ფილტვებისა და საჰაერო პარკებისგან შედგება. ფრენისას ახასიათებს ორმაგი სუნთქვა, რომელიც თაეისებურია: შესუნთქვისას საჰაერო გზების გავლით ჰაერი გადადის ფილტვებში, აქედან კი ელასტიურ საჰაერო პარკებში, ამოსუნთქვისას — ჰაერი ფილტვების მეორედ გავლისას გამოდის გარეთ. სისხლის მიმოქცევის სისტემა ქვეწარმავლებთან შედარებით გართულებულია და წარმოდგენილია ოთხსაკნიანი გულითა და ორი დახშული წრით. ვენური და არტერიული სისხლის შერევა არსად არ ხდება. აქვს მხოლოდ აორტის მარჯვენა რკალი. ისინი თბილსისხლიანი ცხოველები არიან. გამომყოფი ორგანოა წყვილი თირკმელი. შარდის ბუშტი არა აქვთ (ფრენისადმი შეგუებაა). შარდსაწვეთი უშუალოდ კლოაკაში იხსნება.

საჭმლის მომნელებელი სისტემა წარმოდგენილია შემდეგი ნაწილებით: პირის ღრუ, საყლაპავი მილი, ჩიჩახვი, ჯირკვლოვანი კუჭი, კუნთოვანი კუჭი, თორმეტგოჯა ნაწლავი, რომელშიც იხსნება ნაღვლისა და პანკრიასის სადინრები, წვრილი ნაწლავი, რომელიც კლოაკას უკავშირდება. ფრინველებს აქვთ შედარებით დიდი თავის ტვინი. კარგადაა განვითარებული ჰემისფეროები (დაფარულია ქერქით) და ნათხემი.

ფრინველების გამრავლება მეტად სპეციფიკურია. უმეტესობაში კარგადაა გამოხატული სქესობრივი დიმორფიზმი. მამალს გააჩნია წყვილი სათესლე, დედალს კენტი — მარცხენა საკვერცხე. კვერცხი დაფარულია კიროვანი ნაჭუჭით. ახასიათებთ კრუნობისა და მართვეებზე მშობლიური ზრუნვის ინსტინქტი.

იშვიათი და ამოწყდომის საფრთხის ნინაშე მდგარი ფრინველები შეტანილია საქართველოს წითელ წიგნში (ყარყატი, თეთრკუდა არწივი, ბატკანძერი, დურაჯი, კასპიური შურთხი, ხონთქრის ქათამი, შავარდენი, მთის არწივი, გნოლი, კავკასიური როჭო, სავათი და სხვ.).

ძუძუმწოვრები ევოლუციური განვითარებით უმაღლეს საფეხურზე მდგომი, თბილსისხლიანი და ცოცხალმშობიარე ცხოველთა ჯგუფია. ისინი გავრცელებული არიან მთელ დედამიწაზე. მათი უმრავლესობა ბინადრობს ხმელეთზე, ნაწილი შეგუებულია ზღვებსა და მტკნარ წყლებში ცხოვრებას. ძუძუმწოვრების კანი მკვრივი და სქელია, რომელიც ბალნითაა დაფარული. კანის რქოვანი წარმონაქმნებია: რქა, ბრჭყალი, ჩლიქი, ფრჩხილი და სხვ. კანში აქვს საოფლე, თებოსა და სხვა ჯირკვლები. მნიშვნელოვანია სარძევე ჯირკვლები, რომელთა სეკრეტით დედა კვებავს თავის ნაშიერს. გააჩნიათ ძლიერ დიფერენცირებული კუნთოვანი სისტემა.



სურ. 3.13. საქართველოს წითელ წიგნში შეტანილი ზოგიერთი ძუძუმწოვარი (მურა დათვი, ლეოპარდი, ჯიხვი, კავკასიური ირემი, დელფინი, ჯეირანი) (ფოტო ნ.კოპალიანის.)

დიაფრაგმით მუცლისა და გულმკერდის სიღრუეები ერთმანეთისაგანაა გამიჯნული. მაღალგანვითარებულ ჩონჩხში გამოყოფენ შემდეგ ნაწილებს: ქალას, ტანისა და კიდურების ჩონჩხს.

უმეტესობას აქვს დიფერენცირებული კბილები (მჭრელები, ეშვები, მცირე და დიდი ძირითადი). გული ოთხსაკნიანია, აქვს მხოლოდ აორტის მარცხენა რკალი. ერითროციტები უბირთვოა. სუნთქავენ ფილტვებით. კარგად არის განვითარებული თავის ტვინი. დიდ ნახევარსფეროებს გააჩნია კარგად განვითარებული ქერქი, ზოგიერთ ცხოველს ღარები და ნაოჭები აღენიშნება. ძალზე კარგად არის განვითარებული გრძნობათა ორგანოები, განსაკუთრებით მხედველობის, სმენისა და ყნოსვის. ცალსქესიანი ცხოველებია, მრავალ მათგანში (სპილო, ირემი, შველი და სხვ.) მკაფიოდ არის გამოხატული სქესობრივი დიმორფიზმი. ნაშიერი უმეტეს შემთხვევაში უსუსური და თვალაუხილავია. მხოლოდ კლოაკიანები დებენ კვერცხს. ძუძუმწოვრების უნიფიცირებული სისტემატიკა არაა შემუშავებული. დაინტერესებულ მკითხველს მათ კლასიფიკაციას შუძლია გაეცნოს ახლად გამოცემულ ზოოლოგიის სახელმძღვანელოებსა და ინტერნეტის შესაბამის საიტზე. ნესისამებრ სასკოლო სახელმძღვანელოებში გამარტივებული სისტემატიკაა მონოდებული.

ძუძუმწოვრებს ყოფენ ორ ქვეკლასად და სამ ინფრაკლასად: 1. კლოაკიანები (მხოლოდ სამი სახეობაა გაერთიანებული: ექიდნა, პროექიდნა და იხვნისკარტა); 2. ჩანთოსნები ანუ უმდაბლესი ნადირნი (გაერთიანებულია 250-მდე სახეობა); 3. პლაცენტიანები ანუ უმაღლესი ნადირნი.

საქართველოში აღრიცხულია 100-მდე სახეობის ძუძუმწოვარი, 21 შეტანილია საქართველოს წითელ წიგნში (მაგალითად, ნიამორი, ჯეირანი, ჯიქი, ნაეი, კავკასიური ფოცხვერი, კავკასიური ირემი, ამიერკავკასიური ზაზუნა და სხვ. იხ. სურ. 3.13)

თავი 4. უჯრედი — ელემენტარული ცოცხალი სისტემა

4.1. უჯრედული თეორიის ჩამოყალიბების მოკლე ისტორია და ძირითადი დებულებები

სახელმძღვანელოს წინამდებარე თავებში დეტალურად იყო განხილული, თუ რა უდიდესი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა ცოცხალი ბუნება. მიუხედავად აღნიშნული მრავალგვარობისა, თითქმის ყველა ცოცხალი არსება უჯრედებისაგან შედგება. ჩვენს პლანეტაზე უჯრედის გარეშე სიცოცხლე არ არსებობს. გამონაკლისია მხოლოდ ვირუსები. ისინი არაუჯრედოვანი აგებულებისაა, თუმცა, სიცოცხლისათვის დამახასიათებელ თვისებებს მხოლოდ ცოცხალ უჯრედში შეღწევის შემდეგ ავლენს.

უჯრედის შესწავლის ისტორია დასაბამს იღებს მიკროსკოპის პირველი და მარტივი მოდელების შექმნის შემდეგ. XVII საუკუნის სამოციან წლებში **რ. ჰუკმა**[1] კორპის თხელი ანათლების მის მიერვე გაუმჯობესებული, მაგრამ ჯერ კიდევ პრიმიტიული მიკროსკოპით დაკვირვებისას შენიშნა, რომ ის შედგებოდა ერთმანეთისაგან ტიხრებით გამიჯნული პატარ-პატარა ცარიელი სივრცეებისაგან, რომელთაც "უჯრედები" უწოდა (ინგლ. Cell, ლათ. Cellula და ბერძნ. kytos — საკანი, უჯრედი). ცოტა მოგვიანებით **ა. ლევენჰუკმა**[2] ტბორიდან აღებულ წყლის წვეთში მიკროორგანიზმები აღმოაჩინა. მან ერითროციტები და სპერმატოზოიდებიც აღწერა.

XVII საუკუნის სამოცდაათიან წლებში იტალიელმა ექიმმა და ნატურალისტმა **მარჩელო მალპიგიმ** (1628-1694) და ინგლისელმა ნატურალისტმა **ნეემია გრიუმ** (1641-1712) მცენარეების სხვადასხვა ორგანოში აღწერეს „ტომსიკები" და „ბუშტუკები", რითაც დაადასტურეს, რომ მცენარეების ორგანოებში უჯრედები ფართოდაა გავრცელებული.

მიუხედავად იმისა, რომ ამ საუკუნეში მცენარეებისა და ცხოველების უჯრედული აგებულების შესახებ უამრავი მასალა დაგროვდა, სათანადოდ ვერ შეფასდა უჯრედის აღმოჩენის ფუნდამენტური მნიშვნელობა. მხოლოდ XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში ჩატარდა მცენარეთა და ცხოველთა უჯრედების მიკროსტრუქტურის შედარების პირველი მცდელობები.

1831 წელს შოტლანდიელმა ბოტანიკოსმა **რობერტ ბროუნმა** აღწერა მცენარეული უჯრედის ბირთვი და გამოთქვა მოსაზრება, რომ ის მცენარეული უჯრედის მუდმივ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს.

XIX საუკუნეში მოძღვრება უჯრედის შესახებ ბიოლოგიის დამოუკიდებელ მიმართულებად ჩამოყალიბდა. უჯრედის შესწავლის საქმეში დიდი დამსახურება მიუძღვის ჩეხ ფიზიოლოგსა და ფსიქოლოგს **იან პურკინიესაც** (1787-1869), რომელმაც დაადგინა, რომ უჯრედის ცოცხალ ნივთიერებას მისი კედელი კი არ ნარმოადგენს, არამედ მისი შიგთავსი და მის აღსანიშნავად დაამკვიდრა ტერმინი **"პროტოპლაზმა"**.

XIX საუკუნის პირველ ნახევარში გერმანელმა ზოოლოგმა **თ. შვანმა**[3] ჩაატარა კლასიკური გამოკვლევები, რომლებმაც საფუძველი ჩაუყარა უჯრედული თეორიის ჩამოყალიბებას. ის შემდეგში მდგომარეობს: უჯრედი არის ცოცხალი ორგანიზმების აგებულებისა და ცხოველქმედების ძირითადი და უმცირესი ერთეული, რომლის გარეშე სიცოცხლე არ არსებობს. უჯრედული თეორიის თანაავტორად გერმანელ მეცნიერ **მ. შლაიდენს**[4] მიიჩნევენ.

უჯრედული თეორიის სრულყოფაში დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა XIX საუკუნის ოთხმოციან წლებში ცხო-

---

1 **რობერტ ჰუკი** (1635-1703) ინგლისელი ბუნებისმეტყველი, სნაელული ენციკლოპედისტი, ფიზიკის ერთ-ერთი ფუძემდებელი და მრავალი აღმოჩენის ავტორი. მან 1665 წელს გამოქვეყნებულ ნაშრომში „მიკროგრაფია" თავისი მიკროსკოპული და ტელესკოპული დაკვირვებანი აღწერა. ამ ნაშრომშივეა გადმოცემული კორპის მიკროსკოპული აგებულება.

2 **ანტონი ვან ლევენჰუკი** (1632-1723) ჰოლანდიელი მაუდით მოვაჭრე, მიკროსკოპის მეცნიერულ კვლევებში გამოყენების ფუძემდებელი. გატაცებული იყო გამადიდებელი ლინზებისა და მიკროსკოპის მსგავსი ხელსანყოების დამზადებით. მან ტბორიდან აღებული ნყლის წვეთში მოძრავი ერთუჯრედიანი არსებები, მათ შორის, ბაქტერიები აღმოაჩინა. ამ უმნიშვნელოვანესი აღმოჩენების გამო ლევენჰუკი, მიუხედავად იმისა, რომ მას სპეციალური განათლება არ ჰქონდა მიღებული და არც ლათინური იცოდა (რაც იმდროინდელ სამეცნიერო წრეებში წერა-კითხვის უცოდინარობის ტოლფასი იყო), ლონდონის სამეფო საზოგადოების ნევრად აირჩიეს.

3 **თეოდორ შვანი** (1810-1882) გერმანელი ციტოლოგი, პისტოლოგი და ფიზიოლოგი. 1839 წელს მის მიერ გამოქვეყნებულ ნაშრომში „მიკროსკოპული გამოკვლევები მცენარეთა და ცხოველთა სტრუქტურისა და ზრდის შესაბამისობის შესახებ" ჩამოყალიბებულია უჯრედული თეორიის ძირითადი არსი. შვანმა შეძლო დაემტკიცებინა, რომ მცენარეთა და ცხოველთა ელემენტარული მიკროსკოპული სტრუქტურების (ანუ უჯრედების) აგებულება და ზრდა მსგავსია.

4 **მათიას იაკობ შლაიდენი** (1804-1881) გერმანელი ბოტანიკოსი და საზოგადო მოღვაწე. მისი ძირითადი შრომები ეხება მცენარეთა აგებულების შესწავლას. მან დიდი ნვლილი შეიტანა უჯრედული თეორიის შექმნაში და სამართლიანად ითვლება ამ თეორიის ერთ-ერთ ფუძემდებლად.

ველური უჯრედის გაყოფის აღმოჩენას. ამ მხრივ განსაკუთრებულია **რ. ვირხოვის**[5] დამსახურება. აღსანიშნავია გერმანელი ჰისტოლოგის **ვალტერ ფლემინგის** (1843-1905) მიერ ცხოველური, ხოლო გერმანიაში მოღვაწე პოლონელი ბოტანიკოსის **ედვარდ სტრასბურგერის** (1844-1912) მიერ მცენარეული უჯრედების მიტოზური გაყოფის თითქმის ერთდროული აღმოჩენა. ამავე პერიოდში აღმოაჩინეს ქრომოსომები. 1866 წელს გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა და ფილოსოფოსმა **ერნსტ ჰეკელმა** დაადგინა, რომ მემკვიდრეობითი ინფორმაციის შენახვასა და თაობიდან თაობაში გადაცემას უჯრედის ბირთვი ახორციელებს.

ამავე საუკუნეში დაადგინეს, რომ უჯრედული თეორია უმარტივესებსაც მოიცავს – დამტკიცდა, რომ უმარტივესები თავისუფლად მცხოვრები უჯრედებია.

დროთა განმავლობაში ცოდნა უჯრედის შესახებ ახალი აღმოჩენებით მდიდრდებოდა. გაირკვა, რომ პროტოპლაზმა უჯრედის ნახევრადთხევადი უსტრუქტურო ცოცხალი შიგთავსი კი არ არის, არამედ შედგება წვრილი ნარმონაქმნებისაგან, რომელთაც **ორგანოიდები** ეწოდა. ორგანოიდი წარმოადგენს გარკვეული აგებულებისა და ფუნქციის უჯრედულ სტრუქტურას. მეცნიერებმა აღმოაჩინეს **მიტოქონდრიები, პლასტიდები, გოლჯის აპარატი, უჯრედის ცენტრი**. დადგინდა, რომ ყოველი სახის ორგანოიდი განსაკუთრებულ, მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელ ფუნქციას/ფუნქციებს ასრულებს. შეიცვალა ტერმინის "პროტოპლაზმა" გაგებაც. თანამედროვე შეხედულებით პროტოპლაზმა მემბრანით შემოსაზღვრული უჯრდის მთლიანი შიგთავსია, რომელიც **ბირთვისა** და **ციტოპლაზმისაგან** შედგება.

უჯრედის შესწავლაში მეტად მნიშვნელოვანი ეტაპი გასული საუკუნის ოცდაათიანი წლებიდან, ელექტრონული მიკროსკოპის გამოგონების შემდეგ დაიწყო. სინათლის მიკროსკოპისაგან განსხვავებით, რომელიც საშუალებას იძლევა საკვლევი ობიექტი მაქსიმუმ 3500-ჯერ გავადიდოთ, ელექტრონული მიკროსკოპით უჯრედისა და მისი კომპონენტების ასეულ ათასჯერ გადიდებაა შესაძლებელი.

ელექტრონული მიკროსკოპის დახმარებით აღმოაჩინეს, რომ ნებისმიერი უჯრედი გარემოსაგან თხელი აპკითაა გამიჯნული, რომელსაც **უჯრედის გარე მემბრანა**, ანუ **პლაზმური მემბრანა** ეწოდა. აღმოჩენილია სინათლის მიკროსკოპში უხილავი ორგანოიდებიც: **ენდოპლაზმური ბადე, რიბოსომები, ლიზოსომები, პეროქსისომები** და სხვ. დადგინდა, აგრეთვე, სინათლის მიკროსკოპში ხილული ორგანოიდების შინაგანი აგებულებაც.

ამ და სხვა მრავალ აღმოჩენაზე დაყრდნობით უჯრედულმა თეორიამ უფრო სრულყოფილი სახე მიიღო. თანამედროვე უჯრედული თეორიის ძირითადი დებულებებია:

1. უჯრედი არის ცოცხალი ორგანიზმების აგებულების, ცხოველქმედების, ზრდისა და განვითარების ერთეული. უჯრედის გარეშე სიცოცხლე არ არსებობს.
2. უჯრედი ერთიანი სისტემაა, რომელიც შედგება ერთმანეთთან კანონზომიერად დაკავშირებული მრავალი ელემენტისაგან.
3. ყველა ორგანიზმის უჯრედები ქიმიური შემადგენლობით, აგებულებითა და ფუნქციებით ერთმანეთის მსგავსია.
4. ახალი უჯრედები მხოლოდ არსებული უჯრედების გაყოფის გზით ნარმოიქმნება.
5. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედები წარმოქმნის ქსოვილებს, ქსოვილები – ორგანოებს, ორგანიზმის სიცოცხლე განპირობებულია მისი შემადგენელი უჯრედების ურთიერთმოქმედებით.
6. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმის ყველა უჯრედს აქვს გენების სრული ნაკრები, მაგრამ უჯრედები ერთმანეთისგან განსხვავდება იმით, რომ სხვადასხვა უჯრედში მოქმედებს გენების განსხვავებული ჯგუფები. ამითაა განპირობებული ერთსა და იმავე ორგანიზმის სხვადასხვა უჯრედის მორფოლოგიური და ფუნქციური მრავალფეროვნება – დიფერენცირება.

უჯრედული თეორიის ძირითად დებულებებთან ერთად ხშირად დამატებით დებულებებსაც აღნიშნავენ. ასე მაგალითად:

- პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების უჯრედები სხვადასხვა სირთულის სისტემებია და ერთმანეთის სრულად ჰომოლოგიურნი არ არიან.
- უჯრედის გაყოფასა და ორგანიზმების გამრაელებას საფუძვლად მემკვიდრეობითი ინფორმაციის მატარებელი მოლეკულების – ნუკლეინის მჟავების გაორმაგება უდევს. გენეტიკური უწყვეტობა ეხება არა მარტო მთლიან უჯრედს, არამედ მის კომპონენტებსაც – მიტოქონდრიებს, ქლოროპლასტებს, გენებსა და ქრომოსომებს.

უჯრედული თეორიის შექმნა და სრულყოფა უმნიშვნელოვანესი მოვლენაა ბიოლოგიაში. ის წარმოადგენს ცოცხალი ბუნების ერთიანობის დამამტკიცებელ საბუთს. უჯრედულმა თეორიამ ბიძგი მისცა ისეთი დისციპლინების განვითარებას, როგორებიცაა: **ციტოლოგია** ანუ **უჯრედის ბიოლოგია, ემბრიოლოგია, ჰისტოლოგია და ფიზიოლოგია.**

---

5 **რუდოლფ ლუდვიგ ვირხოვი** (1821-1902) დიდი გერმანელი მეცნიერი და პოლიტიკური მოღვაწე, ექიმი, პათოლოგანატომი, ჰისტოლოგი, ფიზიოლოგი. ის უჯრედული თეორიის ერთ-ერთი ფუძემდებელია. რ. ვირხოვმა ჯერ კიდევ 1858 წელს ივარაუდა, რომ უჯრედები წინამორბედი დედისეული უჯრედებისაგან წარმოიქმნება. მას ეკუთვნის ფრთიანი ფრაზა - „Omnis cellula ex cellula" (ყოველი ახალი უჯრედი უკვე არსებული უჯრედისგან წარმოიქმნება).

4.2. უჯრედის ქიმიური ორგანიზაცია

ცოცხალი ორგანიზმების უჯრედებში ოთხმოცზე მეტი ქიმიური ელემენტია წარმოდგენილი, ამასთანავე არც ერთი მათგანი არ არის დამახასიათებელი მხოლოდ ცოცხალი სისტემებისთვის, ისინი არაცოცხალ ბუნებაშიც გვხვდება.

ცოცხალ ორგანიზმებში შემავალი ელემენტები შეიძლება 3 ჯგუფად დავყოთ.

პირველ ჯგუფს ე. წ. **მაკროელემენტები** წარმოადგენს. ამ ელემენტებზე მოდის უჯრედის მასის დაახლოებით 99%, განსაკუთრებით აღსანიშნავია 4 ელემენტი – ჟანგბადი (O), ნახშირბადი (C), წყალბადი (H) და აზოტი (N), რომლებიც უჯრედის მასის 95%-ზე მეტს შეადგენს. მაკროელემენტებს მიეკუთვნება ის ელემენტებიც, რომელთა რაოდენობა უჯრედში პროცენტის მეათედი და მეასედი ნაწილია. ასეთებია: კალციუმი (Ca), ფოსფორი (P), მაგნიუმი (Mg), ნატრიუმი (Na), კალიუმი (K), ქლორი (Cl), გოგირდი (S), რკინა (Fe) (*იხ. ცხრილი 4.1).*

მეორე ჯგუფს **მიკროელემენტები** შეადგენს. თითოეული მათგანის უჯრედში კონცენტრაცია პროცენტის მეათიათასედზე ნაკლებია. მათ მიეკუთვნება: თუთია (Zn), სპილენძი (Cu), იოდი (I), ფტორი (F), მანგანუმი (Mn), ბორი (B), მოლიბდენი (Mo), კობალტი (Co) და სხვ. მიკროელემენტები შედის ზოგიერთი ვიტამინის (მაგალითად, კობალტს შეიცავს ვიტამინი B_{12}), ჰორმონის (მაგალითად, ინსულინი შეიცავს თუთიას, ხოლო ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონები – იოდს) და ფერმენტის შემადგენლობაში, ან ფერმენტის აქტივატორის როლს ასრულებს.

მესამე ჯგუფში გაერთიანებულია **ულტრამიკროელემენტები** (სინდიყი — Hg, ოქრო — Au, რადიუმი — Ra და სხვ.), რომელთა კონცენტრაცია უჯრედში 0,000001%-ს არ აღემატება.

ცოცხალ ორგანიზმებში ქიმიური ელემენტები ან იონების (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}, Cl^-, HCO_3^- და ა.შ.) სახითაა წარმოდგენილი, ანდა ქიმიურ ნაერთებს წარმოქმნის. უჯრედებში შემავალ ქიმიურ ნაერთებს ყოფენ მინერალურ და ორგანულ ნაერთებად *(იხ. ცხრილი 4.2).*

ცხრილი 4.1

ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის შემცველობა უჯრედში

ელემენტი	რაოდენობა (%)
ჟანგბადი - O	65 – 75
ნახშირბადი - C	15 – 18
წყალბადი - H	8 – 10
აზოტი - N	1,5 – 3,0
კალციუმი - Ca	0,04 – 2,00
ფოსფორი - P	0,20 – 1,00
კალიუმი - K	0,15 – 0,40
გოგირდი - S	0,15 – 0,20
ქლორი - Cl	0,05 – 0,10
მაგნიუმი - Mg	0,02 – 0,03
ნატრიუმი - Na	0,02 – 0,03
რკინა - Fe	0,010 – 0,015
თუთია - Zn	0,0003
სპილენძი - Cu	0,0002
იოდი - I	0,0001
ფტორი - F	0,0001

ცხრილი 4.2

ქიმიური ნაერთების უჯრედში შემცველობა

ნივთიერება	რაოდენობა (%)
წყალი	70 – 85
მინერალური მარილები	1,0 – 1,5
ცილები	10 – 20
ნახშირწყლები	0,2 – 2,0
ცხიმები	1 – 5
ნუკლეინის მჟავები	1 – 2
დაბალმოლეკულური ორგანული ნივთიერებები	0,1 – 0,5

4.2.1. წყალი

წყალი (H_2O) გამჭვირვალე, უფერო, უსუნო სითხეა. მყარ მდგომარეობაში მას ყინული ან თოვლი ეწოდება. დედამიწის ზედაპირის დაახლოებით 70% წყლით არის დაფარული (ოკეანეები, ზღვები, ტბები, მდინარეები, ყინული პოლუსებზე). წყალი თავისი უნიკალური თვისებებით დედამიწაზე სიცოცხლეს განაპირობებს. ის უჯრედებისა და ქსოვილების აუცილებელი კომპონენტია. ამასთანავე უჯრედების უმეტესობას არსებობა შეუძლია მხოლოდ თხევად გარემოში, რომლის ძირითად კომპონენტს ასევე წყალი წარმოადგენს. მაგალითად, ძუძუმწოვრების ორგანიზმის შინაგანი გარემოს – სისხლის პლაზმის, ლიმფისა და ქსოვილური სითხის 90%-ზე მეტს წყალი შეადგენს. წყლის უდიდეს როლზე მიუთითებს თუნდაც ის ფაქტი, რომ თანამედროვე თეორიების თანახმად, დედამიწაზე სიცოცხლე პირველად ოკეანეში ჩაისახა.

წყლის მოლეკულაში ატომები ისეა ორიენტირებული, რომ ტოლფერდა სამკუთხედის ფორმას მოგვაგონებს. სამკუთხედის ფუძეში წყალბადის ატომებია (უფრო ზუსტად – პროტონებია), წვეროში კი ჟანგბადია. პროტონების უბანში დადებითი მუხტი ჭარბობს, ჟანგბადის უბანში კი – უარყოფითი; ანუ წყლის მოლეკულა დიპოლს წარმოადგენს. ასეთი აღნაგობის გამო წყლის ერთი მოლეკულის ჟანგბადის უარყოფითად დამუხტული ატომი მიიზიდავს მეორე მოლეკულის წყალბადის დადებითად დამუხტულ ატომს ანუ წყლის მოლეკულებს შორის წყალბადური ბმა მყარდება *(სურ. 4.1)*.

აღსანიშნავია, რომ სხვა ნივთიერებებისაგან განსხვავებით, მყარი მდგომარეობიდან თხევადში გადასვლისას წყლის სიმკვრივე იზრდება და 4°C-ზე მაქსიმალურია. ამით არის განპირობებული ის გარემოება, რომ ბუნებრივ წყალსატევებში ზამთარში ტემპერატურის დაქვეითებისას და წყლის თხევადიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლისას ყინული წყალსატევის ფსკერზე კი არ ეშვება, არამედ ზედაპირზე რჩება. სანინააღმდეგო შემთხვევაში წყალში მცხოვრები ბევრი ორგანიზმის არსებობა შეუძლებელი იქნებოდა.

წყალი უნიკალურ გამხსნელს წარმოადგენს. თუ წყლისა და ამა თუ იმ ნივთიერების მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ენერგია აღემატება წყლის მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ენერგიას, მაშინ ეს ნივთიერება წყალში იხსნება. განარჩევენ წყალში კარგად ხსნად ე. წ. **ჰიდროფილურ** (ბერძნ. hydor – წყალი და phileo – მიყვარს) და წყალში უხსნად, ანუ **ჰიდროფობურ** (ბერძნ. hydor – წყალი და phobos – შიში) ნივთიერებებს.

ჰიდროფილურია იონური ნაერთები (იონების შემცველი), პოლარული ჯგუფების მქონე ნივთიერებები (მაგალითად, შაქრები). ხსნარში მოლეკულები და იონები უფრო თავისუფლად მოძრაობს და მათი რეაქტიულობა იზრდება. ამიტომაა, რომ უჯრედში ქიმიური რეაქციების უმეტესობა წყალხსნარებში მიმდინარეობს.

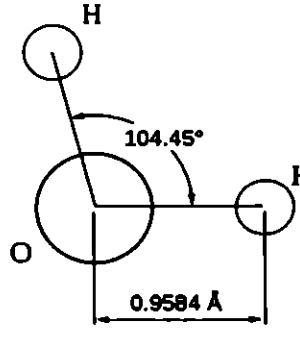
ჰიდროფობურია არაპოლარული ნივთიერებები, მაგალითად, ლიპიდები. ლიპიდების მოლეკულები წყლისაგან განიზიდება და წყლიან გარემოში ერთმანეთისაკენ მიიზიდება. ჰიდროფობური ურთიერთობანი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ბიოლოგიური მემბრანების ფორმირებასა და ცილის მესამეული სტრუქტურის განსაზღვრაში.

წყალი ბევრი რეაქციის მონაწილეცაა. მაგალითად, ცილების, ნახშირწყლებისა და სხვა ნივთიერებების ფერმენტული დაშლის რეაქციებში წყალი უშუალოდ მონაწილეობს. ასეთ რეაქციებს **ჰიდროლიზის** (ბერძნ. hydor – წყალი, lysis – დაშლა) რეაქციები ეწოდება.

წყალი მონაწილეობს ფოტოსინთეზის პროცესში.

წყალი ხელს უწყობს უჯრედების მოცულობისა და დრეკადობის შენარჩუნებას. უზრუნველყოფს მცენარეთა თესლების გაღივებას.

წყალი ბევრი ორგანიზმის საარსებო გარემოს წარმოადგენს. ზოგიერთი მცენარისა და ცხოველის სქესობრივი გამრავლებისას განაყოფიერება მხოლოდ წყლიან გარემოშია შესაძლებელი. წყალი უზრუნველყოფს მცენარეთა თესლების, გამეტებისა და წყალში მცხოვრები, გადაადგილების უნარს მოკლებული ზოგიერთი ცხოველის ლარვული სტადიების გავრცელებას.



სურ. 4.1. წყლის მოლეკულის სქემა

წყალს მაღალი სითბოტევადობა ახასიათებს. ამის გამო წყლიან გარემოში საგრძნობლადაა შემცირებული ტემპერატურის მერყეობა. ამიტომაა, რომ საარსებო გარემოში ტემპერატურის მკეთრი მერყეობა ცოცხალ ორგანიზმებში შედარებით ნაკლებად აისახება, რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს უჯრედში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესების სტაბილურობას.

ცოცხალი ორგანიზმისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტსაც, რომ წყლის აორთქლებისას იხარჯება დიდი რაოდენობით ენერგია. ამიტომაცაა, რომ ტრანსპირაცია ანუ ფოთლების მიერ წყლის აორთქლება არა მარტო მცენარეში ნივთიერებათა აღმავალ ნაკადს განაპირობებს, არამედ იცავს კიდეეაც მცენარეს მზის სხივებით გადახურებისაგან. ანდა, ოფლის გამოყოფა და მისი სხეულის ზედაპირიდან აორთქლება იცავს ძუძუმწოვრებს გადახურებისაგან. იმ ცხოველებში კი, რომლებსაც საოფლე ჯირკვლები ცუდად აქვთ განვითარებული, გახშირებული ქოშინის შედეგად პირის ღრუდან და ენიდან ხდება წყლის აორთქლება და ამ გზით სხეულის ტემპერატურის რეგულაცია.

4.2.2. მინერალური მარილები

ცნობილია, რომ წყალხსნარებში მრავალი ნივთიერება დისოცირდება დადებითად დამუხტულ **კათიონებად** და უარყოფითად დამუხტულ **ანიონებად**. ასეთ ნივთიერებებს **ელექტროლიტები** ეწოდება, მაგალითად, სუფრის მარილი (NaCl) დისოცირდება Na^+ და Cl^- იონებად.

არაორგანული, ანუ მინერალური მარილების დიდი ნაწილი უჯრედებში ანიონებისა და კათიონების სახითაა წარმოდგენილი. კათიონებიდან მნიშვნელოვანია K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}. ანიონებიდან კი $H_2PO_4^-$, Cl^-, HCO_3^-.

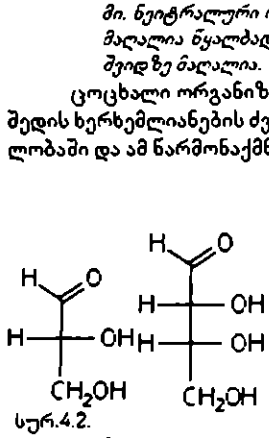
კათიონებისა და ანიონების შემცველობა უჯრედსა და უჯრედის საარსებო გარემოს შორის განსხვავებულია. K^+-ის კონცენტრაცია უჯრედში ძალზე მაღალია, Na^+-სა – დაბალი, უჯრედის გარემომცველ არეში კი პირიქით – Na^+-ის კონცენტრაცია მაღალია, ხოლო K^+-სა დაბალი. მაგალითად, კუნთოვან უჯრედებში კალიუმის იონების შემცველობა 30-ჯერ მეტია, ვიდრე სისხლში, ხოლო ნატრიუმის შემცველობა 10-ჯერ ნაკლებია. იონების კონცენტრაციათა ასეთი განსხვავებულობა შენარჩუნებულია უჯრედის სიცოცხლის განმავლობაში.

მინერალური მარილები განაპირობებს ციტოპლაზმის **ბუფერულ** თვისებებს. **ბუფერულობა** ეწოდება უჯრედის უნარს გარკვეულ დონეზე შეინარჩუნოს წყალბადის იონების კონცენტრაცია (pH).

თუ ხსნარში წყალბად-იონების (H^+) და ჰიდროქსილ-იონების (OH^-) კონცენტრაციები ტოლია, მაშინ ხსნარის რეაქცია ნეიტრალურია, წყალბად-იონების კონცენტრაციის მატებისას იზრდება ხსნარის მჟავიანობა, ჰიდროქსილ-იონების კონცენტრაციის მატებისას კი – ტუტიანობა. ამ მდგომარეობათა აღსანიშნავად გამოიყენება ე. წ. წყალბადური მაჩვენებელი (pH) – წყალბადის იონების კონცენტრაციის უარყოფითი ათობითი ლოგარითმი. ნეიტრალური რეაქციის შემთხვევაში pH=7, მჟავიანობის შემთხვევაში pH შვიდზე ნაკლებია და რაც უფრო მაღალია წყალბად იონების კონცენტრაცია, მით უფრო დაბალია pH. თუ ხსნარის რეაქცია ტუტეა, მაშინ pH შვიდზე მაღალია.

ცოცხალი ორგანიზმები უხსნად მინერალურ მარილებსაც შეიცავს. მაგალითად, კალციუმის ფოსფატი შედის ხერხემლიანების ძვლოვანი ქსოვილის, მოლუსკების ნიჟარების უჯრედშორისი ნივთიერების შემადგენლობაში და ამ ნარმონაქმნების სიმტკიცეს განაპირობებს.

4.2.3. ნახშირწყლები



სურ.4.2. გლიცერინისა და ერითროზას სტრუქტურული ფორმულები

ნახშირწყლები ორგანული ნაერთებია, რომლის მოლეკულის შემადგენლობაში ნახშირბადი, წყალბადი და ჟანგბადი შედის. ამასთანავე ნახშირწყლების მოლეკულაში წყალბადისა და ჟანგბადის თანაფარდობა ისეთივეა, როგორიც წყლის მოლეკულაში (სწორედ აქედან წარმოსდგება მათი სახელწოდება – ნახშირწყალი) ნახშირწყლების რაოდენობა ცხოველური უჯრედის მშრალი წონის 2-5%-ს შეადგენს, მცენარეულ უჯრედებში (განსაკუთრებით ნაყოფებსა და თესლებში) კი 90%-ზე მეტსაც კი აღნეეს.

ნახშირწყლები ორ ჯგუფად – **მონოსაქარიდებად** და **პოლისაქარიდებადაა** დაყოფილი.

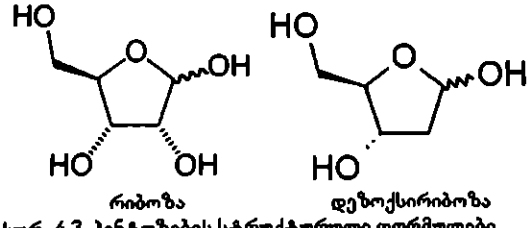
მონოსაქარიდებს მარტივ შაქრებსაც უწოდებენ. ისინი კრისტალური, წყალში ხსნადი, ტკბილი გემოს მქონე ნივთიერებებია. მათი ზოგადი ფორმულაა $Cn(H_2O)n$. მონოსაქარიდებში ნახშირბადის ატომების რაოდენობის მიხედვით განარჩევენ ტრიოზებს, ტეტროზებს, პენტოზებს, პექსოზებს და ჰეპტოზებს.

ტრიოზებიდან ცოცხალ სისტემებში მნიშვნელოვანია **გლიცერინი**, *(სურ. 4.2)* **რძემჟავა** და **პიროყურძნის მჟავა**. ისინი, როგორც შუალედური პროდუქტები გარკვეულ როლს თამაშობს გლიკოლიზისა და ფოტოსინთეზის სიბნელის ფაზის რეაქციებში.

ტეტროზებიდან აღსანიშნავია **ერითროზა** *(სურ. 4.2)*, რომელიც ფოტოსინთეზის ერთ-ერთი შუალედური პროდუქტია.

პენტოზებიდან აღსანიშნავია **რიბოზა** და **დეზოქსირიბოზა** *(სურ. 4.3)*. რიბოზა შედის რიბონუკლეინის მჟავასა (რნმ) და ადენოზინტრიფოსფორმჟავას (ატფ), დეზოქსირიბოზა კი — დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავასა (დნმ) შემადგენლობაში. პენტოზებს მიეკუთვნება **რიბულოზაც**, რომელიც ფოტოსინთეზის პროცესში მონაწილეობს.

ჰექსოზებიდან ფართოდაა გავრცელებული **გლუკოზა, ფრუქტოზა** და **გალაქტოზა** *(სურ. 4.4)*. გლუკოზა გვხვდება როგორც მცენარეულ, ასევე ცხოველურ უჯრედებში. გლუკოზა უჯრედში ენერგიის უნივერსალურ წყაროს წარმოადგენს. ფრუქტოზა დიდი რაოდენობითაა ხილში, თაფლში, შაქრის ჭარხალში. გალაქტოზა შედის რძის შაქრის – ლაქტოზას შემადგენლობაში.

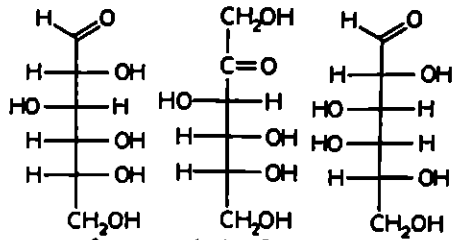


რიბოზა დეზოქსირიბოზა

სურ. 4.3. პენტოზების სტრუქტურული ფორმულები

დისაქარიდები და **პოლისაქარიდები** ორი და მეტი მონოსაქარილის შეერთების შედეგად წარმოქმნილი ნაერთებია. მონოსაქარიდის ორი მოლეკულის შეერთების შედეგად გამოიყოფა წყლის ერთი მოლეკულა და წარმოიქმნება **დისაქარიდი**. დისაქარიდებია: **საქაროზა, ლაქტოზა, მალტოზა**. დისაქარიდების ზოგადი ფორმულაა $C_{12}H_{22}O_{11}$. **საქაროზა** ყველაზე გავრცელებული

დისაქარიდია, შედგება გლუკოზისა და ფრუქტოზის მოლეკულებისაგან. ის წყალში ადვილად იხსნება და ცხოველებისა და ადამიანის მნიშვნელოვან საკვებს წარმოადგენს. **ლაქტოზა,** ანუ **რძის შაქარი** გლუკოზისა და გალაქტოზის თითო მოლეკულას შეიცავს. ის ძუძუმწოვარი ცხოველების ნაშიერების ენერგიის ძირითადი წყაროა. **მალტოზა** გლუკოზის ორი მოლეკულისაგან შედგება. ის პოლისაქარიდების სახამებლისა და გლიკოგენის ძირითადი სტრუქტურული ელემენტია.



სურ. 4.4 პექსოზების სტრუქტურული ფორმულები

პოლისაქარიდები მონოსაქარიდების დიდი რაოდენობის დაკავშირების შედეგად წარმოქმნილი ნაერთებია. მონომერების რაოდენობის ზრდასთან ერთად პოლისაქარიდების წყალში ხსნადობა ქვეითდება; ბევრი მათგანი წყალში საერთოდ არ იხსნება; ქრება ტკბილი გემოც. პოლისაქარიდებია: **სახამებელი, გლიკოგენი, უჯრედისი (ცელულოზა), ქიტინი, მურეინი.** სახამებელი და გლიკოგენი სარეზერვო, ხოლო ცელულოზა, ქიტინი და მურეინი სტრუქტურული ნახშირწყლებია.

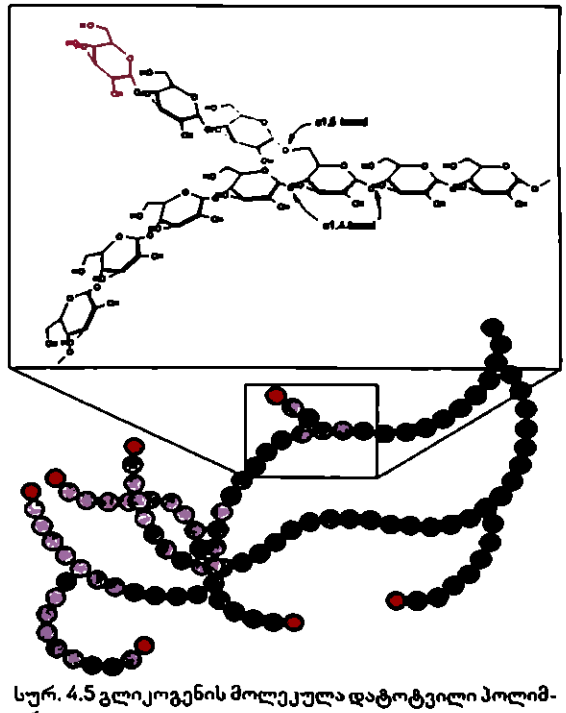
სახამებლისა და გლიკოგენის მოლეკულები დატოტვილი პოლიმერებია *(სურ. 4.5).* სახამებელი მცენარეების სამარაგო პოლისაქარიდია. ის დიდი რაოდენობითაა კარტოფილის ტუბერებში, მცენარეთა ნაყოფებსა და თესლებში.

გლიკოგენს შეიცავს ცხოველების და სოკოების უჯრედები. ის დიდი რაოდენობით გროვდება ღვიძლის, კუნთებისა და გულის უჯრედებში. სისხლში გლუკოზის რაოდენობის შემცირებისას გლიკოგენი მონომერებამდე იშლება და სისხლს გლუკოზით ამარაგებს. გლიკოგენი გლუკოზის დაახლოებით 30000 ნაშთისაგან შედგება.

უჯრედისი (ცელულოზა) მცენარეების კედლის შედგენილობაში შემავალი ძირითადი სტრუქტურული პოლისაქარიდია. ცელულოზას მოლეკულები სახამებლისაგან განსხვავებით დატოტვილი არ არის. ბიოსფეროში არსებული ნახშირბადის დაახლოებით ნახევარი ცელულოზაშია აკუმულირებული.

ქიტინი და **მურეინი** აზოტის შემცველი პოლისაქარიდებია. ის ფეხსახსრიანებისა და ზოგიერთი სხვა უხერხემლო ცხოველის (განსაკუთრებით – ფეხსახსრიანების) გარეგანი ჩონჩხისა და სოკოებისა და ბაქტერიების უჯრედების კედლის ძირითადი კომპონენტია.

ცოცხალ ორგანიზმებში გვხვდება ნახშირწყლებისა და ცილების კომპლექსები – ე. წ. **გლიკოპროტეინები** და ნახშირწყლებისა და ლიპიდების კომპლექსები – **გლიკოლიპიდები.** გლიკოპროტეინები ცილებია, რომლებთანაც კოვალენტური ბმით დაკავშირებულია ნახშირწყლები – ან მონოსაქარიდები, ანდა ოლიგოსაქარიდები. ცხოველთა უჯრედების პლაზმური მემბრანის გარეთა ზედაპირზე არსებული ცილების უმეტესობა გლიკოპროტეინებია. სწორედ ისინი ქმნის ცხოველური უჯრედის გლიკოკალიქსს.


სურ. 4.5 გლიკოგენის მოლეკულა დატოტვილი პოლიმერია.

ნახშირწყლებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. მწვანე მცენარეები და ზოგიერთი მიკროორგანიზმი მზის ენერგიის გამოყენებით ნახშირორჟანგიდან და წყლიდან სახამებელსა და სხვა ნახშირწყლებს ასინთეზებენ. ეს ნივთიერებები წარმოადგენს ენერგიისა და ნახშირბადის ძირითად წყაროს ჰეტეროტროფული ორგანიზმებისათვის. ცხოველების საჭმლის მომნელებელ სისტემაში დი- და პოლისაქარიდები მონოსაქარიდებამდე იშლება. წერილი ნაწლავების ეპითელური უჯრედების მიერ ხდება მონოსაქარიდების შეწოვა და, ამასთანავე გალაქტოზისა და ფრუქტოზის ნაწილის გლუკოზად გარდაქმნა. საჭმლის მომნელებელი სისტემიდან სისხლში მოხვედრილი მონოსაქარიდების ჭარბი რაოდენობა ღვიძლში გლიკოგენად გარდაიქმნება და ღვიძლსა და კუნთებში მარაგის სახით გროვდება. მცენარეებში ნახშირწყლები სახამებლის სახით მარაგდება.

ამრიგად, ნახშირწყლების ძირითადი ფუნქციებია:

- **ენერგეტიკული ფუნქცია.** ნახშირწყლები ორგანიზმების ენერგიის ძირითადი წყაროა.
- **სტრუქტურული ფუნქცია.** ყველა ორგანოსა და ქსოვილების უჯრედები შეიცავს ნახშირწყლებს, ისინი უჯრედების გარსის შემადგენელი ნაწილებია.

- **საკვები ნივთიერებების მარაგის ფუნქცია.** ნახშირწყლები მცენარეულ უჯრედებში სახამებლის სახით, ცხოველებში კი – გლიკოგენის სახით მარაგდება და მოთხოვნილების შესაბამისად იხარჯება.
- **დამცველობითი ფუნქცია.** სხვადასხვა ჯირკვლის მიერ გამოყოფილი ლორწო დიდი რაოდენობით შეიცავს ნახშირწყლებსა და გლიკოპროტეინებს. ლორწო შინაგანი ორგანოების (საყლაპავი მილის, კუჭის, ნაწლავების, ბრონქების) კედლებს მექანიკური დაზიანებისაგან და დაავადების გამომწვევი ბაქტერიებისა და ვირუსებისაგან იცავს.

4.2.4. ლიპიდები

ლიპიდები, ანუ **ცხიმები** და **ცხიმისმაგვარი ნივთიერებები** ჰიდროფობური ორგანული ნაერთებია, რომელთა უჯრედებიდან გამოყოფა ორგანული გამხსნელების – **ეთერის, ბენზოლის, ქლოროფორმის** მეშვეობითაა შესაძლებელი. ცოცხალ ბუნებაში ლიპიდები ფართოდ არის გავრცელებული. ისინი უჯრედებსა და მთლიანად ორგანიზმში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. უჯრედების უმეტესობაში ლიპიდების შემცველობა მშრალი წონის 5-15%-ია; ცხიმებით განსაკუთრებით მდიდარია ზოგიერთი მცენარის – მზესუმზირას, არაქისის, კაკლის, თხილისა და სხვ. ნაყოფები და თესლები. ძუძუმწოვარ ცხოველებში ცხიმი თავმოყრილია კანქვეშ და ბადექონში. ცხოველების ცხიმოვანი უჯრედები სავსეა ცხიმის ნვეთებით, რომელთა რაოდენობა უჯრედის მშრალი წონის თითქმის 90%-ია.

ლიპიდებიდან ყველაზე გავრცელებულია ცხიმები ანუ **ტრიგლიცერიდები,** რომლებიც **სამატომიანი სპირტის – გლიცერინისა** და **მაღალმოლეკულური ცხიმოვანი მჟავების** რთულ ნაერთებს წარმოადგენს *(სურ. 4.6)*. ცხიმოვანი მჟავები ორ – **ნაჯერ** და **უჯერ** ჯგუფად იყოფა. ნაჯერ მჟავებს მიეკუთვნება **პალმიტინისა** ($C_{15}H_{31}COOH$) და **სტეარინის** ($C_{17}H_{35}COOH$) მჟავები, უჯერს კი – **ოლეინის** მჟავა ($C_{17}H_{33}COOH$). ცხიმის თვისებები იმაზეა დამოკიდებული, თუ რომელი ცხიმოვანი მჟავა მონაწილეობს მის შენებაში. მცენარეული ცხიმები ანუ ზეთები მდიდარია უჯერი ცხიმოვანი მჟავებით და ამიტომ ოთახის ტემპერატურაზე ზეთები თხევადია. ცხოველური ცხიმები კი ნაჯერ მჟავებს შეიცავს და ოთახის ტემპერატურაზე მყარია.

ცხიმების ფორმულიდან კარგად ჩანს, რომ ერთი მხრივ შეიცავს წყალში ხსნად სამატომიან სპირტს გლიცერინს, მეორე მხრივ კი, ცხიმოვანი მჟავების ნაშთებს, რომელთა ნახშირწყალბადოვანი ჯაჭვები წყალში უხსნადია. ცხიმის წყლის ზედაპირზე დანვეთებისას წყლისაკენ მიმართულ პოზიციას გლიცერინი იკავებს, წყლის ზედაპირიდან კი ცხიმოვანი მჟავების ჯაჭვებია „ამოშვერილი".

ბიოლოგიურად განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ცხიმისმაგვარი ნიეთიერებები — **ფოსფოლიპიდები.** ისინი, ცხიმებისაგან განსხვავებით **ფოსფორმჟავას ნაშთსაც** შეიცავს. ფოსფოლიპიდები ბიოლოგიური მემბრანების ძირითადი კომპონენტია.

უჯრედის ცხოველქმედებისათვის მნიშვნელოვანია აგრეთვე **გლიკოლიპიდები,** რომლებიც ნახშირწყლებისა და ლიპიდების ნაერთია, და **ლიპოპროტეინები** - ცილებისა და ლიპიდების ნაერთი.

ცხიმისმაგვარი ნივთიერებებიდან აღსანიშნავია **ცვილი,** რომელიც წარმოადგენს გრძელჯაჭვიანი ცხიმოვანი მჟავებისა და გრძელჯაჭვიანი სპირტების რთულ ნაერთს. ცვილის თხელი ფენითაა დაფარული ძუძუმწოვრების ბალანი, ფრინველების ბუმბული, რაც ამ ნარმონაქმნებს ელასტიურობას ანიჭებს და წყლით დასველებისგან იცავს. ცვილისაგან არის აგებული ფუტკრების ფიჭაც. ცხიმისმაგვარ ნივთიერებებს მიეკუთვნება **სტეროიდებიც.** სტეროიდებია: **თირკმელზედა ჯირკვლების ჰორმონები, ქალისა და მამაკაცის სასქესო ჰორმონები,** ცხოველური უჯრედების მემბრანების მნიშვნელოვანი კომპონენტია **ქოლესტერინი.**

ლიპიდების ფუნქციები მრავალფეროვანია:

- ლიპიდები, კერძოდ, ფოსფოლიპიდები და გლიკოლიპიდები მონაწილეობს ყველა ორგანიზმის უჯრედების მემბრანების შენებაში.
- ორგანიზმისათვის საჭირო ენერგიის 25-30%-ს ლიპიდები უზრუნველყოფს. ცხიმების სრული დაშლისას 2-ჯერ მეტი ენერგია გამოიყოფა, ვიდრე ნახშირწყლებისა და ცილების დაშლისას.
- ცხიმები თავისებური „ენერგეტიკულ დეპოს" წარმოადგენს. ცხიმი მარაგად შეიძლება ნვეთების სახით უჯრედში დაგროვდეს, ან კანქვეშა ქსოვილისა და ბადექონის ცხიმოვანი უჯრედების თითქმის მთელი მოცულობა დაიკავოს.
- ცხიმები სხვადასხვა ცხოველის თერმორეგულაციაში მონაწილეობს და ბეერ ორგანოს მექანიკური დარტყმებისაგან იცავს. ცხიმები სითბოს ცუდად ატარებს. არქტიკასა და ანტარქტიკაში მცხოვრებ ძუძუმწოვრებსა და ფრინველებს (თეთრ დათვებს, პინგვინებს), აგრეთვე წყალში მცხოვრებ ძუძუმწოვრებს (ლომვეშაპებს, სელაპებს, ვეშაპებს) კანქვეშა ცხიმოვანი ქსოვილის სქელი ფენა აქვთ, რაც მათ გადაცივებისაგან იცავს. ცხიმის ფენა ნაზ ორგანოებს დარტყმებისაგან იცავს. მაგალითად, თირკმელები გარემოცულია ცხიმოვანი კაპსულით, ხოლო თვალის გარშემო ცხიმოვანი ბალიშია ლოკალიზებული.
- ცხიმები ე. წ. ენდოგენური წყლის მარაგია. 100გ ცხიმის სრული დაჟანგვის შედეგად 107 მლ წყალი გამოიყოფა. ასეთი წყლით საზრდოობს უდაბნოს ბევრი ცხოველი. მაგალითად, აქლემებს კუზში ცხიმის დიდი მარაგი აქვთ.

4.2.5. ცილები

ცილები ანუ **პროტეინები** (ბერძნ. protos – პირველი, მთავარი) **ბიოპოლიმერიებია, რომელთა მონომერებს ამინომჟავები** წარმოადგენს. ცილები უჯრედის ნედლი წონის 10-20 %-ს, მშრალი წონისა კი 50-80%-ს შეადგენს. ტერმინით ,,პროტეინი" ხაზგასმულია ის გარემოება, რომ სასიცოცხლო პროცესებში ცილებს უმნიშვნელოვანესი ადგილი უჭირავს.

ცოცხალი ორგანიზმების უჯრედებში მრავალი ამინომჟავაა აღმოჩენილი, მაგრამ ცილების უმეტესობის შემადგენლობაში მხოლოდ 20 სახის ამინომჟავა მონაწილეობს *(ცხრ. 4.3)* ყოველი ამინომჟავა შეიცავს **ამინოჯგუფს** ($-NH_2$) და **კარბოქსილის ჯგუფს** (-COOH), ამინომჟაეის დანარჩენ ნაწილს **რადიკალი** ეწოდება *(სურ. 4.7)*. ამინომჟავები ერთმანეთისაგან რადიკალების აღნაგობით განსხვავდება *(სურ. 4.8)*.

ოციდან რვა ამინომჟავას – ვალინის, იზოლეიცინის, ლეიცინის, ლიზინის, მეთიონინის, ტრეონინის, ტრიფტოფანის და ფენილალანინის სინთეზი ზრდასრული ჯანმრთელი ადამიანის ორგანიზმში არ ხდება; ამიტომ მათი საკვებთან ერთად მიღება აუცილებელია. მათ შეუცვლელი ამინომჟავები ეწოდება. ბავშვებისათვის შეუცვლელ ამინომჟავებს არგინინი და ჰისტიდინიც მიეკუთვნება.

ცხრილი 4.3
ცილების შემადგენლობაში შემავალი ამინომჟავები

ამინომჟავა	ამინომჟავა
ალანინი (ალა)	ლეიცინი (ლეი)
არგინინი (არგ)	ლიზინი (ლიზ)
ასპარაგინი (ასნ)	მეთიონინი (მეთ)
ასპარაგინის მჟავა (ასპ)	პროლინი (პრო)
გლიცინი (გლი)	სერინი (სერ)
გლუტამინი (გლნ)	ტრეონინი (ტრე)
გლუტამინის მჟავა (გლუ)	ტრიფტოფანი (ტრი)
ვალინი (ვალ)	ფენილალანინი (ფენ)
ტიროზინი (ტირ)	ცისტეინი (ცის)
იზოლეიცინი(ილეი)	ჰისტიდინი (ჰის)

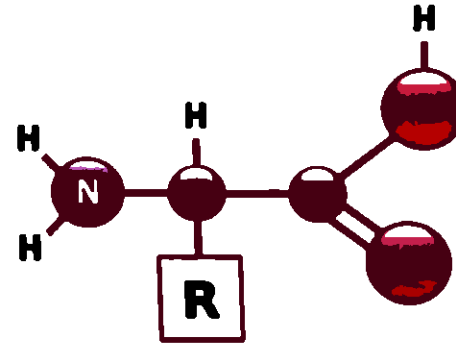
ცილის მიკრომოლეკულაში ამინომჟავები ერთმანეთთან ე. წ. **პეპტიდური ბმებით** არის დაკავშირებული. პეპტიდური ბმა წარმოიქმნება ერთი ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფის მეორე ამინომჟავას ამინოჯგუფთან დაკავშირების შედეგად. ამ დროს წყლის ერთი მოლეკულა გამოიყოფა. ორი ამინომჟავას დაკავშირების შედეგად წარმოიქმნილ ნაერთს **დიპეპტიდი** *(სურ. 4.9)*, ხოლო სამის – **ტრიპეპტიდი,** მრავალი ამინომჟავის დაკავშირების შედეგად წარმოქმნილ ნაერთს კი — **პოლიპეპტიდი.**

პოლიპეპტიდი ცილად იწოდება, თუ მასში ამინომჟავათა ნაშთების რაოდენობა ასზე მეტია. ცილების უმეტესობა 300-500 ამინომჟავას ნაშთს შეიცავს, არსებობს უფრო მსხვილი ცილებიც, რომლებიც 1500-ზე მეტი ამინომჟაეისაგან არის წარმოქმნილი. სხეადასხვა ცილაში სხეადასხვა სახის ამინომჟავების რაოდენობა განსხვავებულია. მაგალითად, ფერმენტ რიბონუკლეაზაში 19 სახის ამინომჟავაა წარმოდგენილი, ინსულინში – 18, ხოლო რძის კაზეინი, კვერცხის ალბუმინი და კუნთების მიოზინი ოცივე სახის ამინომჟავას შეიცავს.

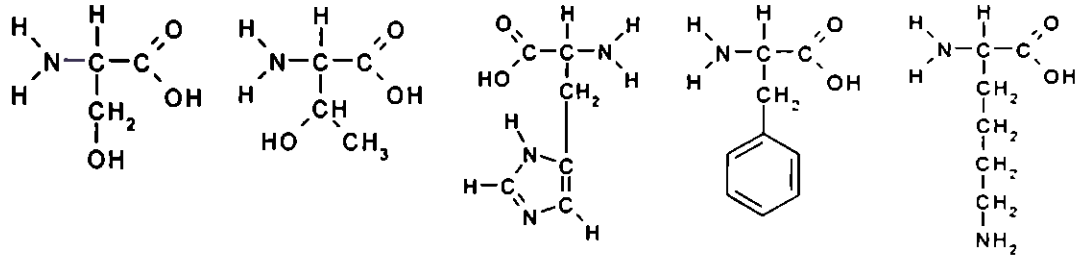
ცილები ერთმანეთისაგან განსხვავდება არა მარტო ამინომჟავური შედგენილობით და ამინომჟავათა საერთო რაოდენობით, არამედ ცილის მოლეკულაში ამინომჟავათა თანამიმდევრობითაც. ამიტომაა, რომ განსხვავებული ცილების რაოდენობა ასტრონომიულ რიცხვებს უტოლდება.

ცნობილია, რომ თითოეული ამინომჟავას ზომა დაახლოებით 0,35 ნმ-ია. აქედან გამომდინარე, მრავალი ამინომჟავას შემცველი ცილა გრძელ ძაფს უნდა წარმოადგენდეს. სინამდვილეში კი ზოგიერთ ცილას 5-7 ნმ დიამეტრის მქონე ბურთულის ფორმა აქვს, ზოგიერთს კი – ბოჭკოსი. ეს მიუთითებს, რომ ცილის მაკრომოლეკულაში პოლიპეპტიდური ჯაჭვები გარკეული სახით არის დახვეული.

დადგენილია, რომ ცილის მაკრომოლეკულას ახასიათებს სტრუქტურული ორგანიზაციის რამდენიმე დონე *(სურ. 4.10)*. ყველაზე მარტივია **პირველადი სტრუქტურა** – პოლიპეპტიდური ჯაჭვი, პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავები ერთმანეთთან პეპტიდური, ანუ მტკიცე კოვა-



სურ. 4.7. ამინომჟავების ზოგადი ფორმულა

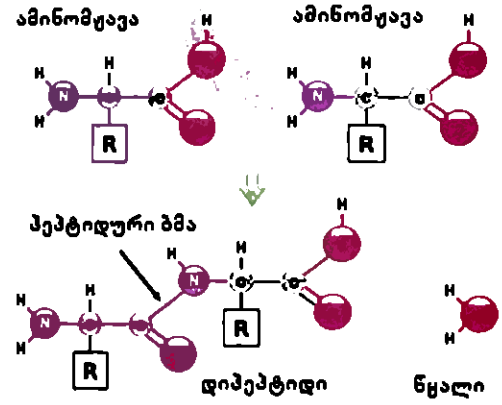


სერინი ტრეონინი პისტიდინი ფენილალანინი ლიზინი

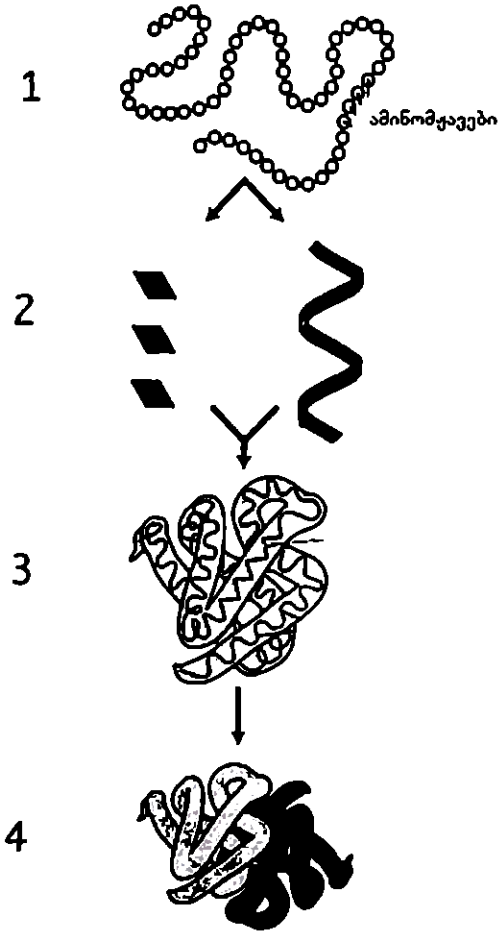
სურ. 4.8. ზოგიერთი ამინომჟავას სტრუქტურული ფორმულა.

ლენტური ბმებით არის დაკავშირებული.

ცილების ორგანიზაციის შემდგომი დონეა – **მეორეული სტრუქტურა**. ამ შემთხვევაში პოლიპეპტიდური ჯაჭვი ზიგზაგის ფორმისაა, ან სპირალურად არის დახვეული. მეორეულ სტრუქტურას განაპირობებს **წყალბადური ბმები**, რომლებიც წარმოქმნილია ზიგზაგის ან სპირალის ერთ დონეზე არსებული ამინომჟავას – COOH და მეზობელ დონეზე არსებულ ამინომჟავას - NH_2 ჯგუფებს შორის. მიუხედავად იმისა, რომ წყალბადური ბმები საკმაოდ სუსტი ბმებია, მათი დიდი რაოდენობა უზრუნველყოფს მეორეული სტრუქტურის სიმტკიცეს.



სურ. 4.9. პეპტიდური ბმის წარმოქმნის სქემა



სურ. 4.10. ცილის პირველადი (1), მეორეული (2), მესამეული (3) და მეოთხეული (4) სტრუქტურების სქემა

შემდგომ კვლავ ხდება პოლიპეპტიდური ჯაჭვის დახვევა და წარმოიქმნება ბურთულის ან ბოჭკოს ფორმის მოლეკულა. ამ კონფიგურაციას **მესამეული სტრუქტურა** ეწოდება. მესამეულ სტრუქტურას განამტკიცებს **ჰიდროფობური ბმები**, რომლებიც წყლიან გარემოში ამინომჟავათა ჰიდროფობურ რადიკალებს შორის წარმოიქმნება. ჰიდროფობური ბმები წყალბადურზე უფრო სუსტი ბმებია. მესამეული სტრუქტურის სიმტკიცეს განაპირობებს ელექტროსტატიკური კავშირები, რომლებიც წარმოიქმნება ამინომჟაეათა ელექტროდადებით და ელექტროუარყოფით რადიკალებს შორის, და კოვალენტური **დისულფიდური** *S-S* ბმები, რომლებიც წარმოიქმნება გოგირდშემცველ ამინომჟავებს შორის.

მესამეული სტრუქტურის მქონე ცილის რამდენიმე მოლეკულის დაკავშირების შედეგად წარმოიქმნება **მეოთხეული სტრუქტურა**. მაგალითად, ერითროციტებში არსებული ცილა – **ჰემოგლობინი** შედგება ოთხი მაკრომოლეკულისაგან, რომლებიც დაკავშირებულია რკინის შემცველ ჰემთან *(სურ. 4.11)*. ჰემოგლობინის მხოლოდ ასეთი სტრუქტურა უზრუნველყოფს ჟანგბადის გადატანას.

სხვადასხვა ფაქტორის (მაგალითად, გაცხელება, მჟავეებით, ტუტეებით, მძიმე მეტალების მარილებით, ორგანული გამხსნელებით ზემოქმედება, მაიონიზებელი რა-

დიაცია) გავლენით ცილების მეოთხეული, მესამეული და მეორეული სტრუქტურების რღვევას **დენატურაცია** ეწოდება. დენატურაციის საპირისპირო პროცესია **რენატურაცია**, როდესაც მადენატურირებელი ფაქტორის მოხსნის შემდეგ ცილა საწყის სტრუქტურას აღიდგენს. აღსანიშნავია, რომ ცილების უმეტესობის დენატურაცია შეუქცევადი პროცესია.

რთული აგებულებისა და მრავალფეროვანი ფუნქციების გამო საკმაოდ გაძნელებულია ცილების ერთიანი და სრულყოფილი კლასიფიკაცია.

სტრუქტურული ორგანიზაციის მიხედვით განარჩევენ **ბოჭკოვან** ანუ **ფიბრილარულ, გლობულარულ** და **შუალედური სტრუქტურის** ცილებს. ფიბრილარული ცილები ერთმანეთთან დაკავშირებული მეორეული სტრუქტურის მქონე რამდენიმე პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან შედგება. ისინი მექანიკურად მდგრადი, უხსნადი ცილებია და უჯრედში სტრუქტურულ ფუნქციას ასრულებს. ასეთებია, მაგალითად, კოლაგენი და კერატინი.

გლობულარულია ძირითადად მესამეული სტრუქტურის მქონე ხსნადი ცილები. ისინი ფერმენტებს, ანტისხეულებს, ჰორმონებს და სხვა მნიშვნელოვანი ფუნქციის მქონე ცილებს წარმოადგენს.

შუალედურია ფიბრილარული, მაგრამ ხსნადი ცილები. მაგალითად, ხსნადი ცილა ფიბრინოგენი სისხლის შედედებისას უხსნად ფიბრინად გარდაიქმნება.

შედგენილობის მიხედვით განარჩევენ მარტივსა და რთულ ცილებს. მარტივი ცილები მხოლოდ ამინომჟავებისაგან, რთული კი გლობულარული პოლიპეპტიდური ჯაჭვებისაგან და არაცილოვანი მასალისაგან, ე. წ. **პროსთეტიკური** ჯგუფისაგან შედგება. რთული ცილებია ფოსფოპროტეინები (რძის კაზეინი, კვერცხის ყვითრის ვიტელინი), გლიკოპროტეინები (მემბრანებისა და ნერწყვის კომპონენტებია), ნუკლეოპროტეინები (ქრომოსომები და რიბოსომები), ქრომოპროტეინები (ჰემოგლობინი), ლიპოპროტეინები (მემბრანების კომპონენტებია) და სხვ.

ცილები მრავალფეროვან ფუნქციებს ასრულებს:

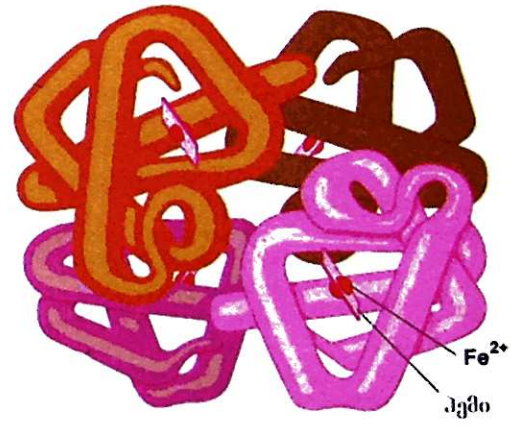
ა) კატალიზური ფუნქცია. უჯრედებში მიმდინარე მრავალრიცხოვანი ქიმიური რეაქციების სწრაფად განხორციელებას ბიოკატალიზატორები — **ფერმენტები** ანუ **ენზიმები** უზრუნველყოფს. თითქმის ყველა ფერმენტი ცილაა (მაგრამ ყველა ცილა ფერმენტი არ არის). ფერმენტების უმეტესობის დასახელება ბოლოვდება სუფიქსით – აზა. მაგალითად, ლიპაზა ცხიმების დაშლაში მონაწილე ფერმენტია, ამილაზა – სახამებლისა და გლიკოგენის დაშლაში მონაწილეობს და სხვ. დღეისათვის რამდენიმე ათასი ფერმენტია ცნობილი. ნებისმიერი ნივთიერების სინთეზის ან დაშლის პროცესი რამდენიმე თანამიმდევრული რეაქციისაგან შედგება, ყოველ რეაქციაში გარკვეული ფერმენტი მონაწილეობს. ამ ფერმენტების ჯგუფები თავისებურ ბიოქიმიურ კონვეირს წარმოქმნის. იმ მოლეკულებს, რომლებზეც ფერმენტი მოქმედებს **სუბსტრატი** ეწოდება. მიუხედავად იმისა, რომ ფერმენტი ასობით ამინომჟავას შეიცავს, სუბსტრატს ამინომჟავათა მხოლოდ მცირე ნაწილი იკავშირებს. ფერმენტის ამ ნაწილს **აქტიური ცენტრი** ეწოდება.

ბ) სტრუქტურული ფუნქცია. უჯრედის ჩონჩხს სტრუქტურული ცილები წარმოქმნის. ისინი უჯრედებისა და ორგანოიდების ფორმას განსაზღვრავს. სტრუქტურულ როლს ასრულებს ცილები **კერატინი და კოლაგენი.** კოლაგენი შემაერთებელი ქსოვილის (მყესების, ხრტილის და ა.შ.) უჯრედშორისი ნივთიერების ძირითადი კომპონენტია, ხოლო მეტად მდგრადი ცილა კერატინისაგან შედგება ძუძუმწოვრების თმები, ფრჩხილები, ფრინველების ბუმბული, ზოგიერთი მოლუსკის ნიჟარა.

გ) მოძრაობითი (მოტორული) ფუნქცია. ცილების გარკვეული კლასი უზრუნველყოფს: ორგანიზმის მოძრაობას (მაგალითად, **აქტინი** და **მიოზინი** კუნთების შეკუმშვას), გარემოსა და ორგანიზმში უჯრედების გადაადგილებას (მაგალითად, უმარტივესებისა და ლეიკოციტების ამებოიდური მოძრაობას და ა.შ.), ნამწამებისა და შოლტების მოძრაობას, უჯრედში ორგანოიდებისა და მოლეკულების გადაადგილებას განაპირობებს.

დ) სატრანსპორტო ფუნქცია. ცილები ორგანიზმში სხვადასხვა ნივთიერების გადატანაში მონაწილეობს. სატრანსპორტო ცილების კარგი მაგალითია **ჰემოგლობინი,** რომელსაც სისხლის წითელი უჯრედები – **ერითროციტები** შეიცავს. სისხლის ფილტვებში გავლისას ჰემოგლობინი ჩასუნთქულ ჰაერში არსებულ ჟანგბადს იკავშირებს და სხვადასხვა ქსოვილისა და ორგანოებისაკენ გადააქვს, ხოლო ქსოვილებში ნახშირორჟანგით იტვირთება და ფილტვებისაკენ გადააქვს. ღვიძლიდან სხვა ორგანოებში ლიპიდების გადატანას ახორციელებს პლაზმური ცილები – ლიპოპროტეინები.

უჯრედების პლაზმურ მემბრანაში, ციტოპლაზმასა და ბირთვში სხვადასხვა სახის სატრანსპორტო ცილებია, რომლებსაც გარკვეული ნივთიერებების (მაგალითად, გლუკოზის, ამინომჟავების, ჰორმონების) გამოცნობა, დაკავშირება და დანიშნულების ადგილზე გადატანა შეუძლია.



სურ. 4.11. ჰემოგლობინის 4 სუბერთეულისაგან შემდგარი მაკრომოლეკულის მოდელი

ე) სამარაგო (სარეზერვო) ფუნქცია. გარკვეული ცილები უჯრედში მარაგის სახით გროვდება და საჭიროების შემთხვევაში ენერგიის წყაროდ გამოიყენება. სამარაგო როლს თამაშობს ფრინველების კვერცხის ალბუმინი, რძეში არსებული ცილა კაზეინი. უჯრედში მარაგად დაგროვილი ზოგიერთი ცილა კი გამოიყენება როგორც ამინომჟავების წყარო, რომლებიც თავის მხრივ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების სინთეზისათვისაა საჭირო.

ვ) დამცველობითი ფუნქცია მოიცავს ფიზიკურ, ქიმიურ, იმუნურ დაცვას. ფიზიკურ დაცვას, სტრუქტურულ ფუნქციასთან ერთად, კოლაგენი და კერატინი განაპირობებს. დამცველობით ცილებს ფიბრინოგენები და თრომბინებიც მიეკუთვნება, ისინი სისხლის შედედების პროცესში მონაწილეობს.

ქიმიური დაცვა ცილოვანი მოლეკულებით ტოქსინების (შხამიანი ნივთიერებების) შებოჭვასა და გაუნებელყოფაში მდგომარეობს, ამ მხრივ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ღვიძლის ფერმენტები, რომლებიც შხამების დაშლაში მონაწილეობს.

იმუნური დაცვას სისხლში და სხვა ბიოლოგიურ სითხეებში არსებული ცილები ახორციელებს. მათ განეკუთვნება **ანტისხეულები – იმუნოგლობულინები.** ისინი სპეციალიზებული ცილებია, რომლებიც ლიმფოციტებში სინთეზდება, ორგანიზმისთვის უცხო ნივთიერებებს – **ანტიგენებს** უკავშირდება და ამით მათ განეიტრალებას ინვევს. ასე ხდება ბაქტერიების, ვირუსებისა და უცხო ცილების ნეიტრალიზაცია. ადამიანისა და ცხოველების უჯრედებში სინთეზირდება სპეციალური ვირუსების საწინააღმდეგო ცილები - **ინტერფერონები.** ინტერფერონი მხოლოდ ვირუსის დნმ-ის უჯრედში მოხვედრის შემდეგ წარმოიქმნება. ინტერფერონი უჯრედში ვირუსების ნუკლეინის მჟავების დამშლელ და ვირუსის ცილების სინთეზის მაბლოკირებელ ფერმენტებს ააქტიურებს.

ზ) მარეგულირებელი ფუნქცია. ცხოველებისა და მცენარეების სპეციალური უჯრედები ფიზიოლოგიური პროცესების მარეგულირებელ ნივთიერებებს – **ჰორმონებს** გამოიმუშავებს. ჰორმონები არეგულირებს სისხლში სხვადასხვა ნივთიერების კონცენტრაციას, უჯრედების გამრავლებას, ზრდას და მრავალ სხვა პროცესს. ჰორმონების დიდი ნაწილი ცილოვანი აგებულების ნივთიერებებია. ასეთებია: **ზრდის ჰორმონი, ადრენოკორტიკოპული ჰორმონი, თირეოტროპული ჰორმონი, ინსულინი და სხვ.**

თ) სასიგნალო ფუნქცია. ბევრი ცილა სასიგნალო ნივთიერების როლს ასრულებს. ისინი უჯრედებს, ქსოვილებსა და ორგანიზმებს შორის სიგნალების გადაცემას ახორციელებს. უჯრედებს შორის სასიგნალო ცილებს მიეკუთვნება **ციტოკინები.** სასიგნალო ფუნქციას **ჰორმონებიც** ასრულებს, ამიტომ ხშირად სასიგნალო ფუნქციას მარეგულირებელ ფუნქციასთან აერთიანებენ.

ი) რეცეპტორული ფუნქცია. ცილოვანი აგებულების რეცეპტორები ლოკალიზებულია როგორც უჯრედის ციტოპლაზმაში, ასევე ჩაშენებულია პლაზმურ მემბრანაში. რეცეპტორული მოლეკულა აღიქვამს სხვადასხვა სიგნალს – ქიმიურ ნივთიერებას, სინათლეს, მექანიკურ ზემოქმედებას, ტემპერატურის ცვლილებას და ა.შ., რაც უჯრედის, ან ორგანიზმის შესაბამის რეაქციას ინვევს. რეცეპტორული ცილების ეს უნარი ცოცხალი ორგანიზმების ერთ-ერთი ძირითადი თვისების – **გაღიზიანებადობის** საფუძველია.

კ) ენერგეტიკული ფუნქცია. ცილების სრული დაშლის შედეგად ენერგია გამოიყოფა, რომლის ნაწილი უჯრედში მიმდინარე ცხოველმოქმედების პროცესებს ხმარდება, ნაწილი კი გარემოში სითბოს სახით გამოსხივდება.

4.2.6. ნუკლეინის მჟავები

ნუკლეინის მჟავები მაღალმოლეკულური ორგანული ნაერთებია, რომლებიც მემკვიდრული (გენეტიკური) ინფორმაციის შენახვასა და თაობიდან თაობაში გადაცემას უზრუნველყოფს. ნუკლეინის მჟავები 1869 წელს აღმოაჩინა შვეიცარიელმა ბიოქიმიკოსმა **ფრიდრიხ მიშერმა** (1844-1895). მას მიაჩნდა, რომ ამ ნივთიერებებს მხოლოდ უჯრედის ბირთვი შეიცავს. ამ მიზეზის გამო მათ ნუკლეინის (ლათ. nucleus – ბირთვი) მჟავები ეწოდა.

ბუნებაში არსებობს ორი ტიპის ნუკლეინის მჟავა, რომლებიც ერთმანეთისაგან აგებულებითა და ფუნქციებით განსხვავდება. ერთი მათგანი შეიცავს პენტოზას **დეზოქსირიბოზას** და **დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ)** ეწოდება, მეორე კი – **რიბოზას** და **რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ)** ეწოდება.

დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ) უზარმაზარი მოლეკულური მასის ბიოპოლიმერია, რომელიც შედგება შედარებით მარტივი, მაგრამ მაინც საკმაოდ რთული სტრუქტურის მქონე მონომერებისაგან, რომლებსაც **ნუკლეოტიდები** ეწოდება. ნუკლეოტიდი შედგება **აზოტოვანი ფუძის, დეზოქსირობოზისა** და **ფოსფორმჟავას ნაშთისაგან. დნმ**-ს მაკრომოლეკულაში წარმოდგენილი აზოტოვანი ფუძეები **პურინისა** და **პირიმიდინის** წარმოებულია. პურინის ფუძეებიდან **დნმ**-ში წარმოდგენილია **ადენინი** და **გუანინი,** პირიმიდინის ფუძეებიდან კი – **ციტოზინი** და **თიმინი** *(სურ. 4.12).*

დნმ-ს მოლეკულაში წარმოდგენილია ოთხი სახის ნუკლეოტიდი (*სურ.* 4.13). ისინი ერთმანეთისაგან აზოტოვანი ფუძეებით განსხვავდება. ერთნი ადენინს შეიცავს, მეორენი – გუანინს, მესამენი – ციტოზინს და მეოთხენი – თიმინს.

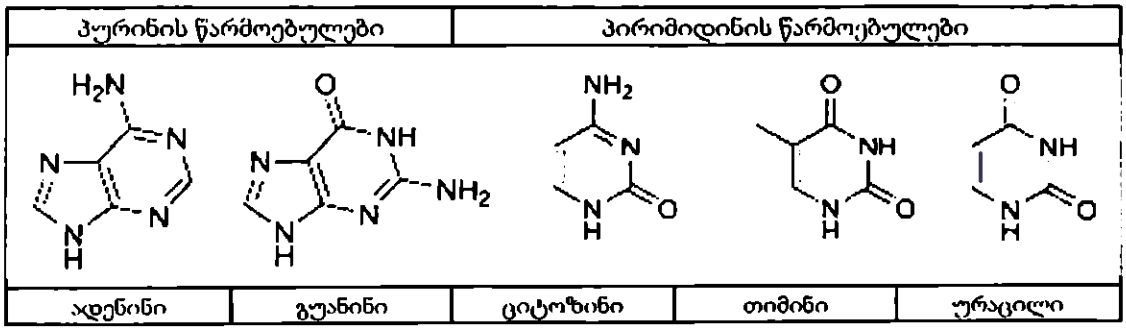
ამერიკელმა ბიოქიმიკოსმა **ერვინ ჩარგაფმა** (1905-2002) დაადგინა კანონზომიერება, რომ დნმ-ს ყოველ მოლეკულაში ადენინის რაოდენობა თიმინის ტოლია, გუანინისა კი – ციტოზინის ტოლია.

გასული საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში ამერიკელმა ბიოქიმიკოსმა **ჯეიმს უოტსონმა** (დაიბ. 1928) და ინგლისელმა ბიოქიმიკოსმა **ფრენსის კრიკმა** (1916-2004) გაშიფრეს დნმ-ს სტრუქტურა და დაადგინეს, რომ

დნმ-ს მოლეკულა შედგება ერთმანეთის გარშემო სპირალურად დახვეული ორი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვისაგან (*სურ.* 4.14). ამასთანავე ყოველ ჯაჭვში პენტოზა (დეზოქსირიბოზა) და ფოსფორმჟავას ნაშთი ჯაჭვის პერიფერიაზეა ლოკალიზებული, აზოტოვანი ფუძეები კი – შუაში. აზოტოვანი ფუძეები ისეა განლაგებული, რომ ერთ ჯაჭვში არსებული ადენინის პირდაპირ ყოველთვის არის მეორე ჯაჭვის თიმინი და პირიქით, ერთ ჯაჭვში თიმინის პირდაპირ ყოელთვის არის ადენინი. იგივე ითქმის გუანინისა და ციტოზინის შესახებ: ერთ ჯაჭვში არსებული გუანინის პირდაპირ ციტოზინია ლოკალიზებული და პირიქით. მოპირდაპირე აზოტოვან ფუძეებს შორის წყალბადური ბმებია წარმოქმნილი. ადენინი და თიმინი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ორი წყალბადური ბმით, გუანინი და ციტოზინი კი – სამი ბმით. ამრიგად, ადენინი თიმინის **კომპლემენტურია (დამატებაა)**, გუანინი კი — ციტოზინის.

დნმ-ს ორმაგი სპირალის დიამეტრი 1,7 ნმ-ია, ნუკლეიტიდებს შორის მანძილი კი 0,34 ნმ. პოლინუკლეოტიდურ ჯაჭვში ნუკლეოტიდები ერთმანეთთან დაკავშირებულია კოვალენტური ბმებით, რომელიც წარმოქმნილია ერთი ნუკლეოტიდის დეზოქსირიბოზასა და მომდევნო ნუკლეოტიდის ფოსფორმჟავას ნაშთს შორის. ამასთანავე პოლინუკლეოტიდურ ჯაჭვში ნუკლეოტიდების თანამიმდევრობა ნებისმიერი შეიძლება იყოს. მაგრამ, თუ ვიცით აზოტოვანი ფუძეების თანამიმდევრობა დნმ-ს ერთ ჯაჭვში, მაშინ კომპლემენტარობის პრინციპის შესაბამისად ცნობილი ხდება აზოტოვანი ფუძეების თანამიმდევრობა მეორე ჯაჭვშიც. მაგალითად, თუ ერთ ჯაჭვში ნუკლეოტიდების თანამიმდევრობაა ა-ა-გ-ც-ც-თ, მაშინ მეორე ჯაჭვში ნუკლეოტიდების თანამიმდევრობა იქნება თ-თ-ც-გ-გ-ა.

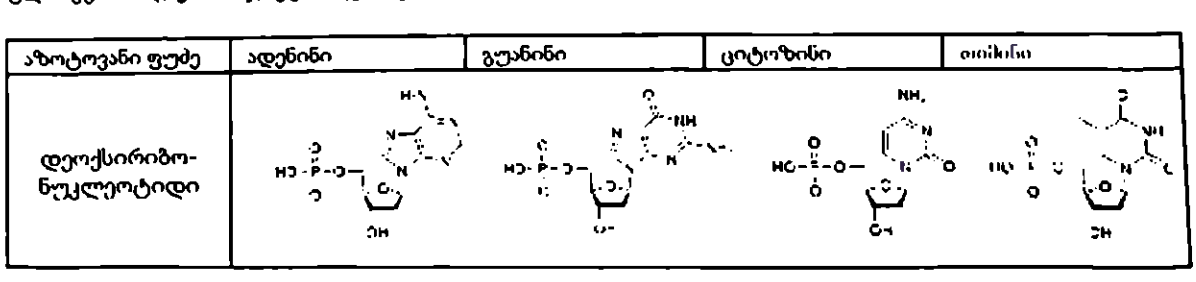
დნმ-ს გაორმაგება (რეპლიკაცია). თაობიდან თაობაში გენეტიკური მასალის გადაცემა უზრუნველყოფილია დნმ-ს გაორმაგების პროცესით, რომლის შედეგად დნმ-ს ერთი დედისეული მოლეკულისაგან ორი შვილეული მოლეკულა წარმოიქმნება, რომლებიც არ განსხვავდება არც დედისეული მოლეკულისაგან, არც ერთმანეთისაგან. დნმ-ს რეპლიკაციის პროცესი ფერმენტების მონაწილეობით მიმდინარეობს. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია **დნმ–პოლიმერაზები**, ისინი დნმ-ს ერთი ბოლოდან მეორე ბოლოსაკენ გადაადგილდება და ხლეჩს აზოტოვან ფუძეებს შორის არსებულ წყალბადურ ბმებს. ამავდროულად თითოეულ ჯაჭვთან ნუკლეო-



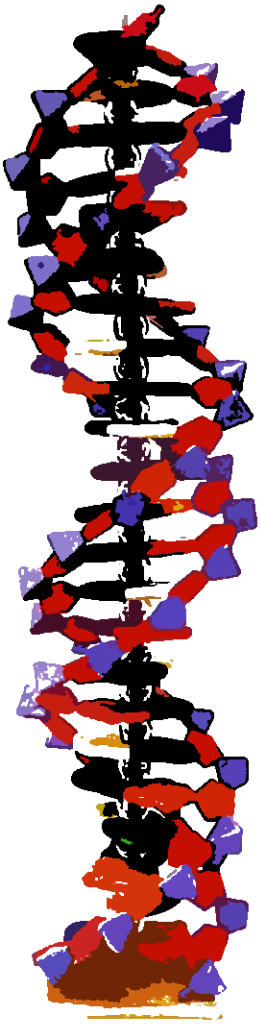
სურ. 4.12. ნუკლეინის მჟავების შემადგენლობაში შემავალი აზოტოვანი ფუძეები

ოპლაზმაში არსებული თავისუფალი ნუკლეოტიდებისაგან ხდება ახალი ჯაჭვის აწყობა. ეს პროცესი კომპლემენტურობის შესაბამისად მიმდინარეობს. ამასთანავე ახლად სინთეზირებული ჯაჭვის ნუკლეოტიდებს შორის მყარდება კოვალენტური ბმა, ხოლო ძველი და ახლად სინთეზირებული ჯაჭვების აზოტოვანი ფუძეები ერთმანეთს წყალბადური ბმებით უკავშირდება. დნმ-ს რეპლიკაციის პროცესში დნმ-პოლიმერზებთან ერთად ბევრი სხვა ფერმენტიც მონაწილეობს. მაგალითად, ფერმენტი დნმ-ლიგაზა დნმ-ს ორ ჯაჭვს შორის ბმის წარმოქმნის კატალიზატორია.

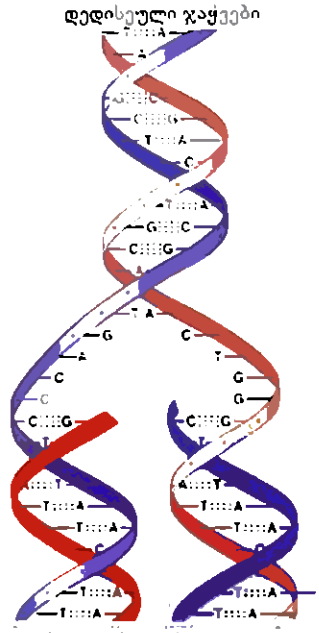
დნმ-ს მოლეკულის ჯაჭვებს განსაზღვრული ორიენტაცია აქვს. ჯაჭვის ერთ ბოლოში ჰიდროქსილის ჯგუფია (-OH), რომელიც დეზოქსირიბოზას მესამე (3') ნახშირბადთან არის დაკაეშირებული, მეორე ბოლოში კი დეზოქსირიბოზას მეხუთე (5') ნახშირბადთან დაკავშირებული ფოსფორმჟავას ნაშთია. დნმ-ს მოლეკულის კომპლემენტური ჯაჭვები ურთიერთსანინააღმდეგო მიმართულებით – **ანტიპარალელურად** არის განლაგებული. კერძოდ, ერთი ჯაჭვის დეზოქსირიბოზას მესამე ნახშირბადთან დაკავშირებული ჰიდროქსილის ჯგუ-



სურ. 4.13. დნმ-ს შემადგენელი ნუკლეოტიდები



სურ. 4.14. დნმ-ს ორმაგი სპირალის მონაკვეთის მოდელი



სურ. 4.15. დნმ-ს რეპლიკაციის სქემა. ნაჩვენებია მხოლოდ ერთი რეპლიკონი

ფის მოპირდაპირედ მეორე ჯაჭვის დეზოქსირიბოზას შეხუთე ნახშირბადთან დაკავშირებული ფოსფორმჟავას ნაშთია.

რეპლიკაციის პროცესში დნმ-პოლიმერაზას გადაადგილება ჯაჭვის მხოლოდ 3' ბოლოდან 5' ბოლოსკენ მიმართულებით შეუძლია. ამიტომ ახალი ჯაჭვების სინთეზი **ანტიპარალელურად** მიმდინარეობს.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, რეპლიკაციისას დნმ-ს ახალი ჯაჭვების სინთეზისათვის აუცილებელია დედისეულ მოლეკულაში ორმაგი სპირალის დესპირალიზაცია. ეს პროცესი დნმ-ს რამდენიმე უბანში ერთდროულად იწყება. ასეთ უბანს **რეპლიკონი** ეწოდება. ყოველ რეპლიკონში ე.წ. **სარეპლიკაციო ორკაპია ("ჩანგალია").** ეს დნმ-ს მოლეკულის ის ნაწილია, რომელიც უკვე დესპირალიზებულია. სარეპლიკაციო 'ჩანგალში" დედისეული მოლეკულის ყოველი ჯაჭვი ახალი კომპლემენტური ჯაჭვის სინთეზისათვის მატრიცის როლს ასრულებს.

ამრიგად, რეპლიკაციის შედეგად წარმოიქმნება დნმ-ს ორი მოლეკულა, რომლებიც ერთმანეთის ასლებია, ამასთანავე ორივე მოლეკულაში ერთი ჯაჭვი საწყისი მოლეკულისაა, მეორე კი ახლად სინთეზირებულია *(სურ. 4.15)*.

რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ) პოლიმერია და მის მონომერებს, დნმ-ს მსგავსად, ნუკლეოტიდები წარმოადგენს. რნმ-შიც ოთხი სახის ნუკლეოტიდია წარმოდგენილი. ოთხივე შედგება აზოტოვანი ფუძის, პენტოზისა და ფოსფორმჟავას ნაშთისაგან, სამი აზოტოვანი ფუძე ისეთივეა, როგორიც დნმ-ში. ესენია ადენინი, გუანინი და ციტოზინი, ხოლო მეოთხე აზოტოვანი ფუძეა **ურაცილი.** რნმ-ს ნუკლეოტიდები იმითაც განსხვაედება დნმ-ს ნუკლეოტიდებისაგან, რომ დეზოქსირიბოზას ნაცვლად შეიცავს რიბოზას *(სურ. 4.16)*.

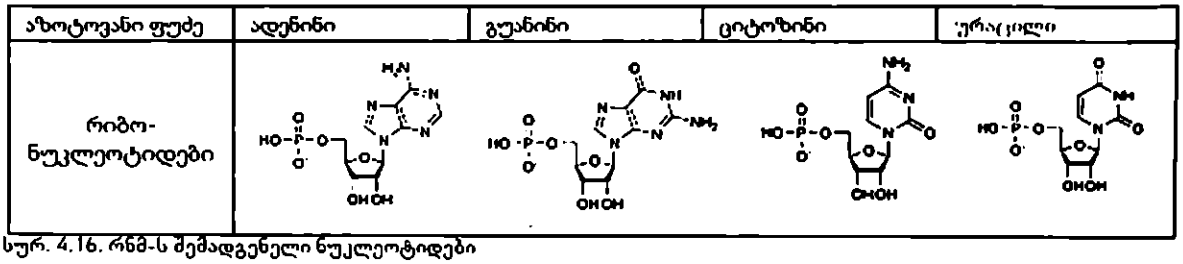
რნმ ერთი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვისაგან შედგება, რომელშიც ნუკლეოტიდები ერთმანეთთან ისევეა დაკავშირებული, როგორც დნმ-ს ერთ ჯაჭვში, ანუ ერთი ნუკლეოტიდის ნახშირწყალსა (რიბოზას) და მეზობელი ნუკლეოტიდის ფოსფორმჟავას ნაშთს შორის დამყარებულია კოვალენტური ბმა *(სურ. 4.17)*.

ამრიგად, დნმ-სა და რნმ-ს შორის სამი ძირითადი განსხვავებაა:

1. დნმ შეიცავს პენტოზას – დეზოქსირიბოზას, რნმ კი – რიბოზას.
2. დნმ-ში ადენინის კომპლემენტარულია თიმინი, რნმ-ში კი – ურაცილი, ანუ რნმ-ში თიმინის ნაცვლად წარმოდგენილია ურაცილი.
3. დნმ-ს მოლეკულა ერთმანეთის გარშემო სპირალურად დახვეული ორი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვისაგან შედგება, რნმ-ს მოლეკულა კი ერთი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვისაგან შედგება და დნმ-ს მოლეკულაზე ბევრად მოკლეა.

ფუნქციების მიხედვით განასხვავებენ რნმ-ს რამდენიმე სახეს. ესენია:

სატრანსპორტო რნმ (ტ-რნმ). მისი მოლეკულები მხოლოდ 80-100 ნუკლეოტიდისაგან შედგება. ტ-რნმ-ს ძირითადად უჯრედების ციტოპლაზმა შეიცავს. მისი დანიშნულებაა ამინომჟავების ცილის სინთეზის ადგილისაკენ – რიბოსომებისაკენ გადატანა, ყოველი სახის ამინომჟავას საკუთარი ტ-რნმ შეესაბამება. ტ-რნმ ერთი პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან შედგება, მაგრამ პოლიპეპტიდური ჯაჭვის ცალკეულ უბნებს შორის კომ-



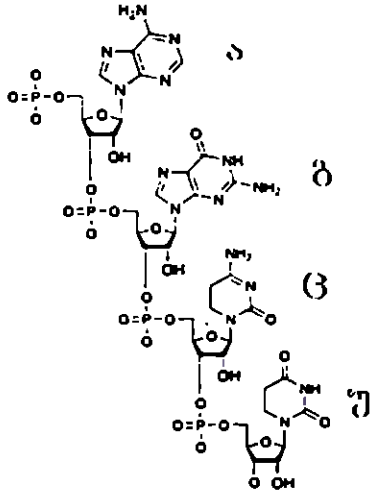
სურ. 4.16. რნმ-ს შემადგენელი ნუკლეოტიდები

პლემენტარობის პრინციპის შესაბამისად წყალბადური ბმები მყარდება და მოლეკულას სამყურას ფოთლის ფორმა აქვს.

რიბოსომული რნმ-ის (რ-რნმ) მოლეკულა რამდენიმე ათას ნუკლეოტიდს შეიცავს და რიბოსომების მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს, უჯრედში რნმ-ს საერთო რაოდენობის დაახლოებით 90% რიბოსომულ რნმ-ზე მოდის.

საინფორმაციო (ი-რნმ) ანუ **მატრიცულ (მ-რნმ) რნმ-ს** შეიცავს როგორც ბირთვი, ასევე ციტოპლაზმა. მისი ფუნქციაა დნმ-დან ცილის სინთეზის ადგილისაკენ ინფორმაციის გადატანა.

სხვადასხვა სახის რნმ-ს ფუნქციები უფრო დაწერილებით ცილის ბიოსინთეზის პროცესის განხილვისას არის აღწერილი.



სურ. 4.17. რნმ-ს ჯაჭვის მონაკვეთი

4.2.7. ადენოზინტრიფოსფორმჟავა

ადენოზინტრიფოსფორმჟავა (ატფ) ენერგიით მდიდარი ნუკლეოტიდია. ის შედგება აზოტოვანი ფუძის ადენინისაგან, ნახშირწყლის – რიბოზისა და ფოსფორმჟავას სამი ნაშთისაგან *(სურ. 4.18)*.

ატფ მიეკუთვნება ე.წ. **მაკროერგულ ნაერთებს,** ანუ ნივთიერებებს, რომლებიც შეიცავენ ისეთ ბმებს, რომელთა ჰიდროლიზის შედეგად ენერგიის მნიშვნელოვანი რაოდენობა თავისუფლდება. ატფ-ს ჰიდროლიზის შედეგად ფოსფორმჟავას ერთი მოლეკულის მოხლეჩას თან ახლავს **ადენოზინდიფოსფორმჟავას (ადფ)** წარმოქმნა და ენერგიის დიდი რაოდენობით გამოყოფა. ჰიდროლიზის შედეგად ადფ **ადენოზინმონოფოსფორმჟავად (ამფ)** და ფოსფორმჟავად იშლება და ამ დროსაც დიდი რაოდენობით ენერგია გამოიყოფა.

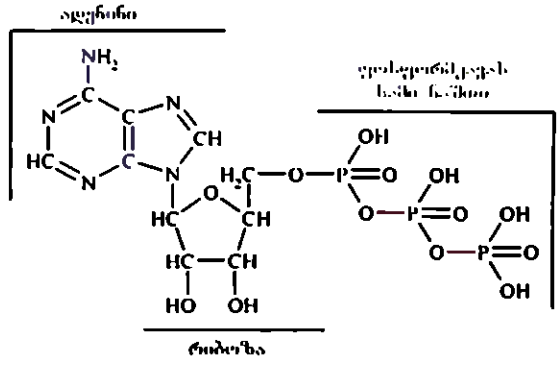
$$\text{ატფ} + H_2O \longrightarrow \text{ადფ} + H_3PO_4 + \text{ენერგია}$$
$$\text{ადფ}\ H_2O \longrightarrow \text{ამფ} + H_3PO_4 + \text{ენერგია}$$

გამოთავისუფლებული ენერგია უჯრედებში ცხოველქმედების პროცესების განხორციელებას ხმარდება, ენერგიის ნაწილი კი სითბოს სახით გამოსხივდება.

ცოცხალ ორგანიზმებში ატფ ადფ-დან და ფოსფორის მჟავადან სინთეზირდება და ამისათვის გამოიყენება ნივთიერებათა დაჟანგვის შედეგად გამოყოფილი ენერგია. (ეს საკითხი უფრო დეტალურად არის განხილული მომდევნო პარაგრაფებში).

$$\text{ადფ} + H_3PO_4 + \text{ენერგია} \longrightarrow \text{ატფ} + H_2O$$

ცოცხალ ორგანიზმებში ატფ ყველაზე ხშირად განახლებადი ნაერთია. უჯრედებში გამუდმებით მიმდინარეობს ატფ-ს ჰიდროლიზი და ადფ-სა და ფოსფატიდან მისი ხელახალი სინთეზი. ადამიანის ორგანიზმში ატფ-ს ერთი მოლეკულის "სიცოცხლის" ხანგრძლივობა დაახლოებით ერთი წუთია. დღე-ღამის განმავლობაში ატფ-ს ერთი მოლეკულა ჰიდროლიზისა და რესინთეზის საშუალოდ 2000 – 3000 ციკლს გადის.



სურ. 4.18. ადენოზინტრიფოსფორმჟავას ფორმულა.

4.3. უჯრედის მორფოლოგიური ორგანიზაცია

4.3.1. პროკარიოტული და ეუკარიოტული უჯრედები

დედამიწაზე არსებული უჯრედოვანი აგებულების ორგანიზმები ზოგიერთი სისტემატიკოსის მიერ დაყოფილია სამ ზესამეფოდ: **არქებაქტერიებად, ეუბაქტერიებად** და **ეუკარიოტებად**. არქებაქტერიების ზესამეფოს სიმარტივისათვის არქეები ეწოდება, ეუბაქტერიების ზესამეფოს კი – ბაქტერიები. ბაქტერიებს მიეკუთვნება **ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებიც (ციანობაქტერიები).(დამატებით იხ 3.3).**

არქებაქტერიები (არქეები) და **ეუბაქტერიები (ბაქტერიები)** პროკარიოტული (ბირთვამდელი) ორგანიზმებია.

პროკარიოტული (ლათ. pro - ადრე და ბერძნ. karyon – ბირთვი), ანუ ბირთვამდელი ორგანიზმების უჯრედები მოკლებულია ჩამოყალიბებულ ბირთვსა და მემბრანული შენების ორგანოიდებს (გამონაკლისია, მაგალითად, ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ციანობაქტერიები), პროკარიოტებში ძირითად გენეტიკურ მასალას წრიული დნმ ე. წ. **ნუკლეოიდი** შეიცავს.

ეუკარიოტები (ბერძნ. eu – მთლიანი, კარგი, karyon – ბირთვი) ორგანიზმებია, რომლებიც ჩამოყალიბებული ბირთვის მქონე, ანუ **ეუკარიოტული** უჯრედებისაგან შედგება. ეუკარიოტულ უჯრედებში ბირთვი ციტოპლაზმისაგან ბირთვის გარსით არის გამიჯნული, გენეტიკური მასალას დნმ-ს რამდენიმე მოლეკულა შეიცავს. ორგანიზმთა უმეტესობაში დნმ ცილებთან – ჰისტონებთან ქმნის კომპლექსს, რომელსაც **ქრომატინი** ეწოდება. ეუკარიოტულ უჯრედებში კარგად არის განვითარებული შიდამემბრანული სისტემა, რომლის მეშვეობით წარმოქმნილია ორგანოიდები – ენდოპლაზმური ბადე, გოლჯის კომპლექსი, ლიზოსომები და ა.შ.

ეუკარიოტებს მიეკუთვნება: **ცხოველები, სოკოები, მცენარეები** და **პროტოქტისტები.**

ბევრი მეცნიერი ეუკარიოტული უჯრედების ორგანოიდებს – **მიტოქონდრიებსა** და **პლასტიდებს** პროკარიოტული უჯრედების შთამომავლებად მიიჩნევს *(იხ. თავი 2 გვ.12; პარაგრაფი 4.3.11).*

4.3.2. უჯრედული მემბრანები

ნებისმიერ უჯრედს გარს აკრავს თხელი აპკი ანუ მემბრანა; გარდა ამისა, ყველა ეუკარიოტულ უჯრედს და პროკარიოტული უჯრედების ნაწილს ახასიათებს შიდაუჯრედული მემბრანების რთული სისტემა. უჯრედული მემბრანები რთულად ორგანიზებული სტრუქტურებია, რომლებიც მრავალფეროვან ფუნქციებს ასრულებს.

უჯრედის გარე მემბრანა, ანუ **პლაზმური მემბრანა,** ანუ **პლაზმალემა** უჯრედს გარემოსაგან მიჯნავს, იგი იცავს უჯრედს და მისი შიგთავსის შედარებით მუდმივობას განაპირობებს.

შიდაუჯრედული მემბრანები მონაწილეობს უჯრედების სხვადასხვა ორგანოიდის შენებაში. მათი მეშვეობით უჯრედი დაყოფილია ცალკეულ საკნებად ანუ **კომპარტმენტებად** და თითოეულ კომპარტმენტში სპეციფიური პროცესები მიმდინარეობს. მაგალითად, ქლოროპლასტების გრანების მემბრანებზე მიმდინარეობს ფოტოსინთეზის სინათლის ფაზის რეაქციები; მიტოქონდრიების მემბრანებზე კი – ჟანგვითი ფოსფორილირების პროცესები და ა.შ.

აგებულებისა და შედგენილობის მიხედვით სხვადასხვა ტიპის უჯრედებისა და უჯრედის სხვადასხვა ორგანოიდის მემბრანებს ბევრი რამ აქვთ საერთო. კერძოდ, მემბრანების უმეტესობის სისქე 5-10 ნმ-ია; მათ შენებაში მონაწილეობს ძირითადად ლიპიდები და ცილები; მემბრანები წარმოადგენს შერჩევითად განვლად ბარიერებს; მემბრანების ფრაგმენტებს გააჩნია გაერთიანებისა და ბუშტუკების წარმოქმნის უნარი.

საერთო ნიშან-თვისებების მიუხედავად, უჯრედული მემბრანები საგრძნობლადაც განსხვავდება ერთმანეთისაგან. მემბრანის სპეციფიურობას, უპირველეს ყოვლისა, განაპირობებს მის შემადგენლობაში შემავალი ცილები და ლიპიდები; ეს ნივთიერებები კი, როგორც ცნობილია, უაღრესად ჰეტეროგენულია. გარდა ამისა, ზოგიერთი მემბრანის შენებაში ოლიგოსაქარიდებიც მონაწილეობს.

4.3.4. პლაზმური მემბრანის აგებულება და ქიმიური შედგენილობა

ელექტრონული მიკროსკოპის გამოყენებამდე ვერ იქნა მოპოვებული დამაჯერებელი ფაქტები იმის შესახებ, რომ ნებისმიერი უჯრედი პლაზმური მემბრანითაა შემოსაზღვრული. ამის ძირითადი მიზეზი ისაა, რომ სინათლის მიკროსკოპის გარჩევის ზღვარი დაახლოებით 0,25 მკმ-ია, პლაზმური მემბრანის სისქე კი 10 ნმ-ს იშვიათად აღემატება, უმეტეს შემთხვევებში კი 10 ნმ-ზე ნაკლებია. ამიტომაც სინათლის მიკროსკოპში ცხოველური უჯრედების პლაზმური მემბრანა არ ჩანს.

XIX და XX საუკუნეთა მიჯნაზე ცნობილი იყო, რომ სხვადასხვა ხსნარში მოთავსებისას, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ხსნარის ოსმოლარობა, უჯრედები ან იჯირჯვება ანდა იჭმუხნება; ეს კი იმას ნიშნავს, რომ უჯრედები შემოსაზღვრულია მემბრანით, რომელსაც შერჩევითი გამტარებლობის უნარი გააჩნია. ზოგი ნივთიერება თითქმის დაუბრკოლებლად გადის პლაზმურ მემბრანაში, ზოგის დიფუზია ძალზე ნელა მიმდინარეობს, ზოგ ნივთიერებას კი მემბრანის გადალახვა არ შეუძლია. მეცნიერებმა დაადგინეს, აგრეთვე, რომ ორგანული გამხსნელები (ეთერი, ქლოროფორმი, სპირტი და ა.შ.) უჯრედში უფრო სწრაფად შედის, ვიდრე წყალი. ეს იმაზე მიუთითებდა, რომ უჯრედის გარე მემბრანა უნდა შეიცავდეს ლიპიდების ფენას. შემდგომ ისიც იყარაუდეს, რომ მემბრანის შენებაში ცილებიც უნდა მონაწილეობდეს.

დღეისათვის აღიარებულია უჯრედული მემბრანების, მათ შორის, პლაზმური მემბრანის შენების ე. წ. **„თხევად – მოზაიკური"** მოდელი. ამ მოდელის თანახმად, მემბრანის ძირითად უწყვეტ ნაწილს შეადგენს ლიპიდების ორმაგი შრე. მემბრანების შენებაში მონაწილე ლიპიდები ორი ნაწილისაგან შედგება – პოლარული „თავისა" და არაპოლარული „კუდისაგან", რომელიც ცხიმოვანი მჟავების ჯაჭვებითაა წარმოდგენილი. მემბრანები ძირითადად ფოსფოლიპიდებისაგან არის აგებული. ორმაგ შრეში ლიპიდების მოლეკულების „კუდები" ერთმანეთისაკენ არის მიმართული, ხოლო პოლარული თაეები კი გარე მხარეზეა, და ჰიდროფილურ ზედაპირს წარმოქმნის. ლიპიდების ზედაპირზე ცილებია ლოკალიზებული. ზოგიერთი მათგანი „თავისუფლად დაცურავს ლიპიდების ტბაში", ზოგიერთი ცილა ნაწილობრივაა ჩაძირული ლიპიდების შრეში, ზოგიერთი კი მთლიანად განჭოლავს ლიპიდების ორმაგ შრეს ***(სურ. 4.19).***

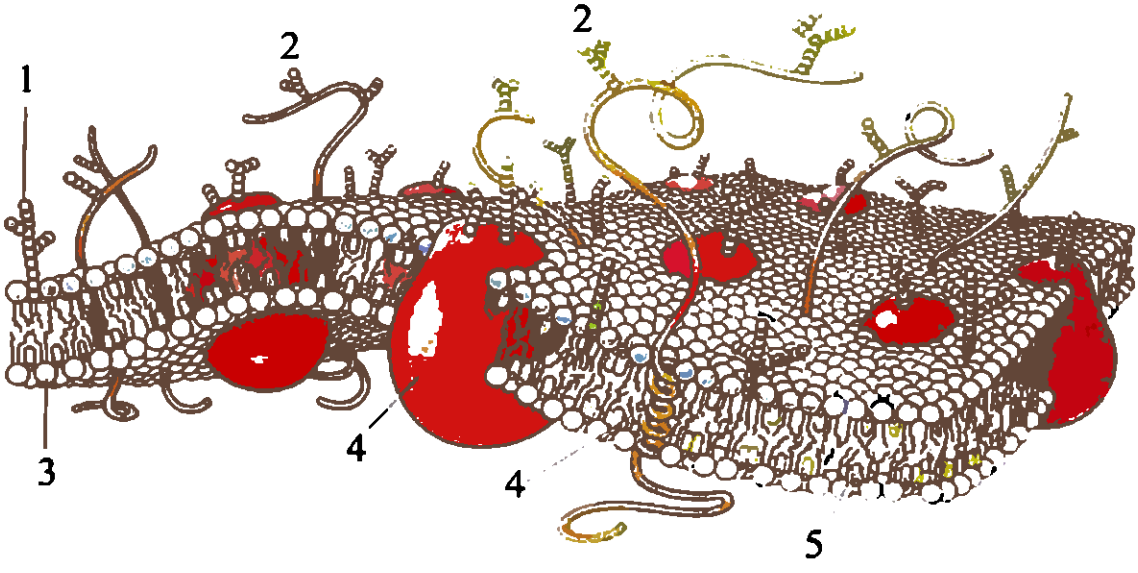
ლიპიდების შრეში ჩაძირული ცილების უმეტესობა ფერმენტებია. ისინი ისეთი თანამიმდევრობითაა განლაგებული, რომელიც უზრუნველყოფს ქიმიურ რეაქციათა ჯაჭვის საბოლოო პროდუქტის ფორმირებას, ანუ თითქოსდა არსებობს ფერმენტების კონვეიერი. ამასთანავე ლიპიდების ზედაპირზე ლოკალიზებული („მოცურავე") ცილები ხელს უშლის ფერმენტების თანამიმდევრული განლაგების შეცვლას.

ცილები, რომლებიც განჭოლავს ლიპიდების ბიმოლეკულურ შრეს წრიულად არის დაჯგუფებული და წარმოქმნის ფორებს, რომელთა მეშვეობითაც ზოგიერთი ნივთიერება მემბრანის ერთი მხარიდან მეორე მხარეზე გადადის.

ბაქტერიების, სოკოებისა და მცენარეების უჯრედების პლაზმური მემბრანა დაფარულია პოლისაქარიდებისაგან აგებული მკვრივი გარსით, რომელსაც უჯრედის კედელი ეწოდება. არქეების უჯრედის კედელი ძირითადად ფსევდომურეინისაგან შედგება, ბაქტერიებისა – მურეინისაგან, სოკოებისა – ქიტინისაგან, მცენარეებისა კი –ცელულოზასაგან. ცხოველურ უჯრედებს კედელი არა აქეს. მათი პლაზმური მემბრანის გარე ზედაპირზე პოლისაქარიდებისა და ცილების მიერ წარმოქმნილი მხოლოდ თხელი ფენა – გლიკოკალიქსია.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, პლაზმური მემბრანის უმნიშვნელოვანეს თვისებას შერჩევითი განელადობა წარმოადგენს. ამას დიდი მნიშვნელობა აქეს უჯრედის შიგთაესის შედგენილობის მუდმივობის შენარჩუნებაში. მემბრანაში ნივთიერებათა ტრანსპორტი სხვადასხვა გზით ხორციელდება. განარჩევენ ტრანსმემბრანული ტრანსპორტის **აქტიურ** და **პასიურ** ფორმებს. მემბრანის გაელით ნივთიერების მაღალი კონცენტრაციის უბნიდან დაბალი კონცენტრაციის უბანში გადატანა ანუ **დიფუზია** პასიური ტრანსპორტია და ენერგიის ხარჯეას არ საჭიროებს. მემბრანაში ადვილად დიფუნდირებს ცხიმებში ხსნადი ნივთიერებები. პასიური ტრანსპორტით უჯრედში ადვილად გადადის დაბალმოლეკულური ორგანული ნაერთები, წყალი და მინერალური ნივთიერებები. ამ ნივთიერებათა მემბრანაში გადატანა აქტიური ტრანსპორტითაც შეიძლება განხორციელდეს. აქტიური ტრანსპორტი ნიეთიერების **კონცენტრაციის გრადიენტს** საწინააღმდეგო მიმართულებით (ანუ დაბალი კონცენტრაციიდან მაღალი კონცენტრაციისაკენ) ხორციელდება და ამ პროცესში ე.წ. **გადამტანი ცილები** მონაწილეობს.

ნეიტრალური მოლეკულებისაგან განსხვავებით იონების პლაზმურ მემბრანაში გავლა მემბრანის **ელექტრულ პოტენციალზეც** არის დამოკიდებული. მემბრანაში იონების გადასატანად საჭიროა სპეციალური გა-



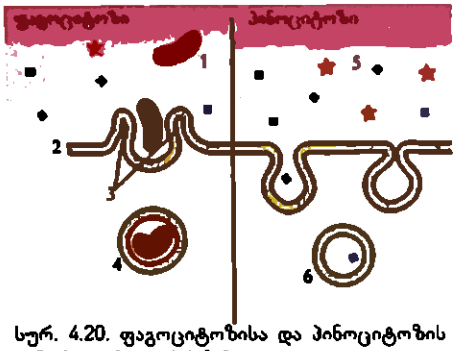
სურ. 4.19. პლაზმური მემბრანის მოდელი
1 – გლიკოლიპიდი, 2 — ოლიგოსაქარიდის ჯაჭვები,
3 – ფოსფოლიპიდი, 4 – ცილები, 5 — ქოლესტერინი

დამტანები, ანდა იონური არხები. უჯრედში იონების კონცენტრაციის მუდმივობის შენარჩუნებას **იონური ტუმბოები** უზრუნველყოფს.

იონური ტუმბოებიდან აღსანიშნავია Na^+/K^+**-ტუმბო.** მისი მეშვეობით უჯრედში კალიუმის იონების სიჭარბეა შენარჩუნებული, უჯრედგარე სივრცეში კი – ნატრიუმის იონებისა. პლაზმალემაში Na^+ -სა და K^+ -ის არხებიც არსებობს.

ბიოპოლიმერების მსხვილი მოლეკულებისა და მკვრივი ნაწილაკების პლაზმურ მემბრანაში ტრანსპორტი პრაქტიკულად შეუძლებელია, თუმცა ისინი უჯრედში **ენდოციტოზის** გზით ხვდება. ენდოციტოზი უჯრედის მიერ მემბრანით შემოსაზღვრული ვეზიკულების (ბუშტუკების) წარმოქმნით გარემოდან სხვადასხვა ნივთიერებისა და მკვრივი ნაწილაკების მიტაცების პროცესს წარმოადგენს. ენდოციტოზის სახესხვაობებია – **ფაგოციტოზი და პინოციტოზი** *(სურ. 4.20)*.

ფაგოციტოზი (ბერძნ. phagos – ეშთანთქავ და kytos – უჯრედი) უჯრედის მიერ მყარი ნაწილაკების (ეუკარიოტების უჯრედების, ბაქტერიების, ვირუსების, მკვდარი უჯრედების ფრაგმენტების და ა.შ.) შთანთქმის პროცესია. ფაგოციტოზი ი. მეჩნიკოვმა[6] აღმოაჩინა და აღწერა.



სურ. 4.20. ფაგოციტოზისა და პინოციტოზის გამარტივებული სქემები
1 – ბაქტერია, 2 – ფაგოციტის პლაზმური მემბრანა, 3 – ცრუფეხები, 4 – ფაგოსომა, 5 – უჯრედგარე სითხე, 6 – პინოციტოზის შედეგად წარმოქმნილი ბუშტუკი – ენდოსომა.

ფაგოციტოზი განსაკუთრებით მნიშვნელოვან როლს უმარტივესებისა და უმდაბლესი უხერხემლო ცხოველების (მაგალითად, პიდროიდული პოლიპების) საკვების მოპოვებისა და უჯრედშიდა მონელების პროცესებში თამაშობს.

განვითარების მაღალ საფეხურზე მდგომი ცხოველებისათვის (მათ შორის – ადამიანისთვისაც) ფაგოციტოზს დამცველობითი ფუნქცია აკისრია. სისხლისა და სხვა ქსოვილების სპეციალური უჯრედები – ფაგოციტები აქტიურად შთანთქავს და ინელებს ინფექციური დაავადებების გამომწვევ მიკროორგანიზმებსა და ორგანიზმში არსებულ მკვდარ უჯრედებს. ფაგოციტებს მიეკუთვნება სისხლის **ნეიტროფილები, მონოციტები** და **ქსოვილური მაკროფაგები.**

პინოციტოზი (ბერძნ. pino – ვსვამ და kytos – უჯრედი) უჯრედის მიერ სითხისა და მასში შემავალი ნივთიერების, აგრეთვე მაკრომოლეკულების შთანთქმის პროცესია.

პინოციტოზის დროს უჯრედის პლაზმურ მემბრანაზე წარმოიქმნება ნვრილი ნანაზარდები, რომლებიც გარს ერტყმის სითხის წვეთს. პლაზმური მემბრანის ეს უბანი ჩაიზნიქება და უჯრედის ციტოპლაზმაში ბუშტუკის სახით გამოიყოფა *(სურ. 4.20)*. პინოციტოზის შედეგად წარმოქმნილი ბუშტუკებს შეუძლია უჯრედში გადაადგილება, ერთმანეთთან და შიდაუჯრედულ მემბრანულ სტრუქტურებთან, მაგალითად, ლიზოსომებთან შერწყმა.

პინოციტოზი განსაკუთრებით აქტიურად მიმდინარეობს ამებებში (ფესვფეხიანებში), ნაწლავის ეპითელურ უჯრედებში, სისხლძარღვების კედლის უჯრედებში — **ენდოთელიოციტებში.**

უჯრედებიდან ნივთიერებათა გამოყოფა – **ეგზოციტოზი** ენდოციტოზის საპირისპირო პროცესია. მაღალმოლეკულური ნივთიერებები მემბრანით შემოსაზღვრულ ბუშტუკებში გროვდება, ბუშტუკი უჯრედის პლაზმური მემბრანისაკენ გადაადგილდება. ბუშტუკის მემბრანა ერწყმის პლაზმალემას და წარმოიქმნება ხვრელი, ამ ხვრელის გავლით ბუშტუკში არსებული ნივთიერება უჯრედგარე სივრცეში გადადის, რის შემდეგაც ბუშტუკი აღიდგენს მთლიანობას და კვლავ ივსება უჯრედიდან გამოსაყოფი ნივთიერებებით.

ეგზოციტოზის სახეებია **სეკრეცია** და **ექსკრეცია.** ექსკრეცია წარმოადგენს უჯრედიდან მისთვის უვარგისი ნივთიერებების: მეტაბოლიზმის საბოლოო პროდუქტების, ტოქსინების, ქსენობიოტიკების გამოყოფის პროცესს *(იხ. სურ. 4.25)*.

სეკრეცია წარმოადგენს უჯრედებიდან ქიმიური ნივთიერებების – სეკრეტების გამოყოფის პროცესს.

---

6 ილია მეჩნიკოვი (1845-1916) რუსეთსა და საფრანგეთში მოღვაწე გამოჩენილი ბიოლოგი (ზოოლოგი, ემბრიოლოგი, იმუნოლოგი, ფიზიოლოგი და პათოლოგი). 1882 წელს, ოდესის ნოვოროსიისკის უნივერსიტეტში მოღვაწეობის პერიოდში, აღმოაჩინა და აღწერა ფაგოციტოზისა და უჯრედშიგა მონელების მოელენა. მას დაფნიების (კიბოსნაირი ცხოველებია) ორგანიზმში შეყავდა სოკოს სპორები და შეამჩნია, რომ სპორებს შთანთქავდნენ განსაკუთრებული, მოძრაობის უნარის მქონე უჯრედები, რომელთაც შემდგომ ფაგოციტები უწოდა. 1887 წელს გადასახლდა პარიზში და მუშაობა დაიწყო ლ. პასტერის ინსტიტუტში, სადაც შეიმუშავა ანთების შედარებითი პათოლოგიისა და იმუნიტეტის ფაგოციტური თეორია. ბაქტერიოლოგიის დარგში მის მრავალრიცხოვან შრომებში განხილულია ინფექციური დაავადებების (ქოლერის, მუცლის ტიფის, ტუბერკულოზის) ეპიდემიოლოგიის საკითხები. ი. მეჩნიკოვის შრომებში მნიშვნელოვანი ადგილი აქვს დათმობილი დაბერების საკითხებს. მას მიაჩნდა, რომ ადამიანის დაბერება და სიკვდილი საერთოდ ნაადრევად ხდება. ამის მიზეზია ორგანიზმის მიკრობებითა და სხვა შხამებით მოწამვლა. ი. მეჩნიკოვს, ფიზიოლოგიისა და მედიცინის დარგში დიდი დამსახურებისათვის 1908 წელს ნობელის პრემია მიენიჭა.

ექსკრეციისაგან განსხვავებით, სეკრეციის დროს გამოყოფილი სეკრეტები ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებია. ასეთებია, მაგალითად, საჭმლის მომნელებელი ფერმენტები, ჰორმონები და სხვ. სეკრეტებს სხვადასხვა ჯირკვლის უჯედები გამოყოფს.

უჯრედთაშორისი კონტაქტები. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ქსოვილებისა და ორგანოების უჯრედებს შორის არსებობს სპეციალური სტრუქტურები, რომელთაც უჯრედთაშორისი კონტაქტები ეწოდება. მათი აგებულება და ფუნქციები აღწერილია სხვადასხვა ტიპის ქსოვილების განხილვისას.

4.3.4. ციტოპლაზმა

ციტოპლაზმა ეწოდება უჯრედის ნანილს, რომელიც უჯრედგარე სიერცისაგან გამიჯნულია პლაზმური მემბრანით, ბირთვისაგან კი – ბირთვის გარსით. ციტოპლაზმა შედგება თხევადი ნანილისაგან **ჰიალოპლაზმისაგან,** მასში ლოკალიზებული უჯრედის აუცილებელი კომპონენტებისაგან ანუ ორგანოიდებისაგან და არამუდმიეი სტრუქტურებისაგან – **ჩანართებისაგან.** ციტოპლაზმის მოცულობის 90%-ზე მეტი წყალია.

ცოცხალ უჯრედში ციტოპლაზმა გამუდმებით მოძრაობს და თან გადააქვს სხვადასხვა ნივთიერებანი და ორგანოიდებიც. ამ მოძრაობას **ციკლოზი** ეწოდება. ციტოპლაზმის უმნიშვნელოვანესი როლი უჯრედის ყველა კომპონენტის გაერთიანებასა და მათი ქიმიური ურთიერთმოქმედების უზრუნველყოფაში მდგომარეობს.

უჯრედში არსებულ სითხეს **ჰიალოპლაზმა,** ანუ **ციტოპლაზმის მატრიქსი,** ანუ **ციტოზოლი** ეწოდება. ეუკარიოტულ უჯრედებში ჰიალოპლაზმა ორგანოიდების შიგთავსისაგან (მაგალითად, მიტოქონდრიებისა და ქლოროპლასტების მატრიქსისაგან) მემბრანებით არის გამიჯნული. ჰიალოპლაზმა წარმოადგენს წყალში გახსნილ ნივთიერებათა ნარევს.

იონების კონცენტრაცია ჰიალოპლაზმასა და უჯრედგარე სივრცეში ერთმანეთისაგან განსხვავდება *(ცხრ. 4.4)*, ეს განსხვაეება მეტად მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ოსმორეგულაციასა და სიგნალების გადაცემაში.

ცხრილი 4.4.
იონების კონცენტრაცია ძუძუმწოერების ჰიალოპლაზმასა და სისხლში

იონი	კონცენტრაცია ციტოზოლში (მმოლი)	კონცენტრაცია სისხლის პლაზმაში (მმოლი)
კალიუმი (K^+)	139	4
ნატრიუმი (Na^+)	12	145
ქლორიდი (Cl^-)	4	116
ბიკარბონატი (HCO_3^-)	12	29
მაგნიუმი (Mg^{++})	0,8	1,5
კალციუმი (Ca^{++})	< 0,0002	1,8

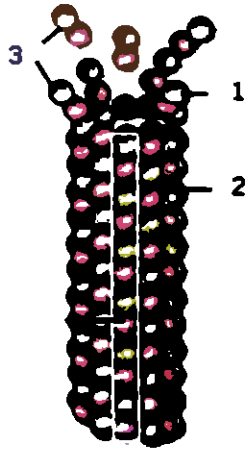
ციტოჩონჩხი უჯრედის ჩონჩხია, რომელიც ცოცხალი უჯრედის ციტოპლაზმაშია ლოკალიზებული. ციტოჩონჩხი აქვს როგორც ეუკარიოტულ, ასევე პროკარიოტულ უჯრედებს. ციტოჩონჩხი დინამიური, მუდმიეად ცვალებადი სტრუქტურაა, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა უჯრედის ფორმის შენარჩუნება და გარეგანი ზემოქმედებისადმი ადაპტაცია, გარდა ამისა ის უზრუნველყოფს მთლიანი უჯრედის მოძრაობას და გაყოფას,

ციტოჩონჩხი წარმოქმნილია ცილოვანი ნივთიერებებისაგან აგებული **მიკროფილამენტებისაგან, შუალედური ფილამენტებისა და მიკრომილაკებისაგან.**

უწვრილესი ძაფების — მიკროფილამენტების დიამეტრი დაახლოებით 7 ნმ-ია, მიკროფილამენტები შედგება ცილა **აქტინის** სპირალურად დახვეული ორი ძეწკეისაგან. მიკროფილამენტები მონაწილეობს უჯრედის ფორმის ცელილებაში, უჯრედის სუბსტრატთან მიმაგრებაში, ამებოიდურ (ფსევდოპოდიებით) მოძრაობაში, მცენარეული უჯრედებში **ციკლოზის** პროცესში.

შუალედური ფილამენტები ცილოვანი ძაფისებრი სტრუქტურებია. მათი დიამეტრი 9-11 ნმ-ია. ამ ფილამენტებს შეიცავს ეუკარიოტული უჯრედის როგორც ციტოპლაზმა, ასევე ბირთვიც. შუალედური ფილამენტები უზრუნველყოფს უჯრედებისა და მათი მორჩების მექანიკურ სიმტკიცეს, მონაწილეობს უჯრედშორისი კონტაქტების – დესმოსომების ფორმირებაში.

მიკრომილაკები ღრუიანი ცილინდრის ფორმის სტრუქტურებია და აგებულია ცილების **ალფა და ბეტა ტუბულინის** დიმერებისაგან *(სურ. 4.21)*. მიკრომილაკების გარე დიამეტრი დაახლოებით 25 ნმ-ია, შიდა კი — 15 ნმ. ისინი დინამიური სტრუქტურებია და უჯრედში მუდმივად მიმდინარეობს ტუბულიდან მათი აწყობისა და დაშლის, ანუ პოლიმერიზაციისა და დეპოლიმერიზაციის პროცესები.



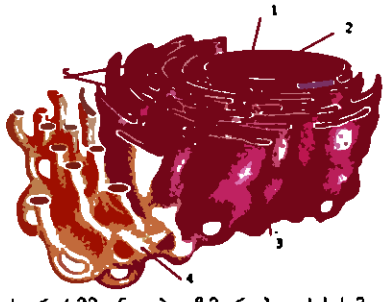
სურ. 4.21 მიკრომილაკის მონაკეეთის სქემა
1 – ალფა ტუბულინი,
2 – ბეტა ტუბულინი,
3 – დიმერი.

მიკრომილაკების ძირითადი დანიშნულებაა ბუშტუკებისა და მიტოქონდრების უჯრედში გადაადგილება. ამ პროცესში მიკრომილაკები „ლიანდაგის" როლს თამაშობს. გადამტანები კი სპეციფიური ე. წ. **მოტორული ცილებია.**

მიკრომილაკები მონაწილეობს წამწამებისა და შოლტების ცენტრალური ნაწილის – **აქსონემის** შენებაში. მიკრომილაკისაგან შედგება აგრეთვე უჯრედის ცენტროილები, მიტოზისა და მეიოზის პროცესში მიკრომილაკებისაგან გაყოფის თითისტარა ნარმოიქმნება.

4.3.5. ენდოპლაზმური ბადე

ენდოპლაზმური ბადე, ანუ **ენდოპლაზმური რეტიკულუმი** (ლათ. reticulum – ბადე) ეუკარიოტული უჯრედის ორგანოიდია. ის წარმოადგენს მემბრანით შემოსაზღვრული სივრცეების, ბუშტუკებისა და არხების რთულ სისტემას (*სურ. 4.22*). ენდოპლაზმური ბადე აღმოჩენილი იქნა 1945 წელს ელექტრონულ მიკროსკოპში უჯრედის აგებულების შესწავლისას. უჯრედის ყველა მემბრანის ფართობის 50%-ზე მეტი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანებს უკავია.



სურ. 4.22. ენდოპლაზმური ბადის სქემა
1 – ბირთვის გარსი, 2 – ბირთვი, 3 – მარცვლოვანი და 4 – გლუვი ენდოპლაზმური ბადე, 5 - რიბოსომები.

ენდოპლაზმური ბადის მემბრანები მორფოლოგიურად უჯრედის ბირთვის გარსის მემბრანების იდენტურია და მისი სიღრუეები დაკავშირებულია ბირთვის გარსის მემბრანთაშორის სივრცესთან.

განარჩევენ ენდოპლაზმური ბადის ორ სახეს: **მარცვლოვანს** ანუ **გრანულარულს** და **გლუვს**, ანუ **აგრანულარულს**.მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანების გარე ზედაპირზე განლაგებულია რიბოსომების დიდი რაოდენობა.

გლუვი ანუ აგრანულარული ენდოპლაზმური ბადე მეტაბოლიზმის პროცესებში იღებს მონაწილეობას. მას მნიშვნელოვანი როლი აკისრია ნახშირწყლების დამარაგებასა და გარდაქმნაში, ტოქსინების ნეიტრალიზაციასა და კალციუმის იონების მარაგად დაგროვებაში. გლუვი ენდოპლაზმური ბადის ფერმენტები მონაწილეობს სხვადასხვა სახის ლიპიდების, ფოსპოლიპიდების, ცხიმოვანი მჟაუნისა და სტეროიდების სინთეზში. გლუვ ენდოპლაზმურ ბადეში ხდება ცხოველების სასქესო ჰორმონების და თირკმელზედა ჯირკვლის სტეროიდული ჰორმონების ნარმოქმნა. ამიტომაა, რომ თირკმელზედა ჯირკვლის, ღვიძლის, სათესლეებისა და საკვერცხეების უჯრედებში გლუვი ენდოპლაზმური ბადე უფრო ფართოდაა წარმოდგენილი, ვიდრე მარცვლოვანი.

მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის ძირითადი ფუნქციებია მის მემბრანებთან დაკავშირებული რიბოსომების მიერ ცილების სინთეზი. სინთეზირებული პოლიპეპტიდური ჯაჭვი გადაიტანება ენდოპლაზმური ბადის სიღრუებში, აქვე გადმოიტანება ციტოზოლში არსებული თავისუფალი რიბოსომების მიერ სინთეზირებული პოლიპეპტიდური ჯაჭვებიც. მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის სიღრუებში მოხვედრილი პოლიპეპტიდური ჯაჭვები გარკვეული წესით იხვევა და იძენს აუცილებელ სამგანზომილებიან სტრუქტურას, რის შემდეგაც ცილის მოლეკულები ისევ ციტოზოლში გადაისროლება.

4.3.6. რიბოსომა

რიბოსომა წარმოადგენს ცოცხალი უჯრედის უმნიშვნელოვანეს არამემბრანულ ორგანოიდს. რიბოსომები პირველად აღწერა ჯორჯ პალადემ გასული საუკუნის 50-იან წლებში. მას უჯრედის სტრუქტურისა და ფუნქციური ორგანიზაციის შესწავლის საქმეში დიდი დამსახურებისათვის 1974 წელს ნობელის პრემია მიენიჭა.

რიბოსომა სფერული ან ოდნავ ელიფსოიდური ფორმის ნაწილაკია, რომლის დიამეტრი 150-250 ნმ-ია. იგი შედგება ორი – დიდი და მცირე სუბერთეულებისაგან *(სურ. 4.23)*. რიბოსომები ამინომჟავებიდან ცილის მოლეკულის აწყობაში უშუალოდ მონაწილეობს. რიბოსომები გვხვდება როგორც ეუკარიოტულ, ასევე პროკარიოტულ უჯრედებში.



სურ. 4.23. რიბოსომის სქემატური გამოსახულება
1 – დიდი და 2 – მცირე სუბერთეულები

დადგენილია, რომ არსებობს რიბოსომების ორი ძირითადი კლასი. პირველ კლასს შეადგენს ეუკარიოტული უჯრედების რიბოსომები, რომელთა ცენტრიფუგაში დალექვის სიჩქარეა 80S (S – დალექვის კოეფიციენტია). ხშირად ი-რნმ-ს ერთ მოლეკულასთან დაკავშირებულია რამდენიმე რიბოსომა. ასეთ სტრუქტურას **პოლირიბოსომა**, ანუ **პოლისომა** ეწოდება.

მეორე კლასს შეადგენს 70S რიბოსომები, რომლებიც პროკარიოტულ უჯრედებში, ეუკარიოტულ უჯრედებში კი მიტოქონდრიებსა და ქლოროპლასტებშია ლოკალიზებული.

რიბოსომა ნუკლეოპროტეიდია, რომელშიც შეფარდება რნმ/ცილა უმაღლეს ცხოველებში 1:1 შეადგენს. ეუკარიოტული უჯრედის ყოველი რიბოსომა რიბოსომული რნმ-ს

(რ-რნმ) ოთხ მოლეკულას შეიცავს. უჯრედის მთელი რნმ-ს 70% რ-რნმ-ზე მოდის.

ეუკარიოტულ უჯრედებში რიბოსომების სინთეზის ძირითადი პროცესი ბირთვაკში მიმდინარეობს; ამიტომაა, რომ თითქმის ჩამოყალიბებული რიბოსომები უჯრედების ბირთვშიც გეხვდება.

4.3.7. გოლჯის აპარატი

გოლჯის აპარატს (გოლჯის კომპლექსს) ეს სახელი იტალიელი მეცნიერის, ნობელის პრემიის ლაურეატის კამილო გოლჯის პატივსაცემად ეწოდა, მან 1898 წელს აღმოაჩინა და აღწერა ეს ორგანოიდი. გოლჯის აპარატი ნარმოადგენს ეუკარიოტული უჯრედის მემბრანული შენების ორგანოიდს. მისი ძირითადი კომპონენტია მემბრანით შემოსაზღვრული ბრტყელი ცისტერნების (ტომსიკების) დასტა. ცისტერნები კიდეებზე უმნიშვნელოდაა გაფართოებული. ცისტერნებთან ბუშტუკებია დაკავშირებული (*სურ. 4.24*).



სურ. 4.24. გოლჯის აპარატის სქემა. 1 – ენდოპლაზმურ ბადეში ბოლომდე "მოუმწიფებელი" ცილების შემცველი ბუშტუკი, რომელიც კომპლექსის ცისტერნებს უნდა შეერწყას; 2 – გოლჯის აპარატის ცისტერნები; 3 – გოლჯის აპარატიდან გამოკვირტული "მომწიფებული" ცილების შემცველი ბუშტუკი.

მცენარეულ უჯრედში გოლჯის აპარატი ნარმოდგენილია ცისტერნების რამდენიმე დასტისაგან, ე. წ. **დიქტიოსომებისაგან,** რომლებიც ერთმანეთთან არ არის დაკავშირებული. ცხოველურ უჯრედში კი გოლჯის კომპლექსი შედგება უპირატესად ერთი დიდი ზომის და მასთან მილაკებით დაკავშირებული მომცრო დასტებისაგან. საერთოდ, სხვადასხვა სახის ცხოველურ უჯრედებში გოლჯის აპარატი მეტად მრავალფეროვანია.

გოლჯის კომპლექსის წარმოქმნის შესახებ არსებობს რამდენიმე მოსაზრება. ერთ-ერთის თანახმად, გოლჯის კომპლექსი უკვე არსებულის გაყოფის გზით წარმოიქმნება. ზოგი მეცნიერი ამ პროცესს **დიქტიოკინეზსაც** კი უწოდებს. მეორე მოსაზრების თანახმად, გოლჯის აპარატის ფორმირებაში წამყვან როლს ბირთვის გარსისა და მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანები ასრულებს.

გოლჯის აპარატის ძირითადი დანიშნულებაა: მარცვლოვან ენდოპლაზმურ ბადეზე არსებულ რიბოსომებში სინთეზირებული ცილების სტრუქტურის საბოლოო ფორმირება. გოლჯის აპარატის ბირთვთან ახლო მდებარე ცისტერნებში ხდება ფორმირებადი ცილების მიერთება, მეორე ბოლოზე მდებარე ცისტერნებიდან კი ხდება ბუშტუკების გამოკვირტვა, რომლებიც საბოლოოდ ფორმირებული (,,მომწიფებული") სტრუქტურის მქონე ცილებს შეიცავს. შემდგომ ეს ცილები დანიშნულების ადგილისაკენ გადაიტანება.

გოლჯის აპარატში ხდება პლაზმური მემბრანის ცილების, სეკრეტების, ლიზოსომების ფერმენტების ,,მომწიფება" და ტრანსპორტირება.

4.3.8. ლიზოსომა

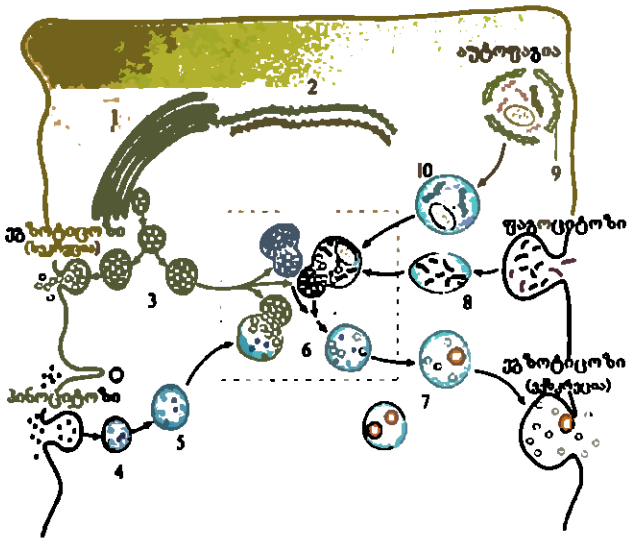
ლიზოსომებს პირველად 1955 წელს კრისტიან დე დიუვმა ცხოველურ უჯრედებში მიაგნო. შემდგომ ეს ორგანოიდები აღმოჩნდა ყველა ეუკარიოტული ორგანიზმის უჯრედებში. მცენარეთა უჯრედებში არსებული ვაკუოლები, ნარმოქმნის პროცესისა და ფუნქციების მიხედვით ლიზოსომების მსგავსია.

ლიზოსომები ჰეტეროგენური ორგანოიდებია და შინაგანი აგებულების მიხედვით დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა. ცხოველური უჯრედების "ტიპური" ლიზოსომა მემბრანით შემოსაზღვრული 0,1-1,0 მკმ ზომის სფერული ან ოვალური ფორმის ბუშტუკია. ლიზოსომის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურებაა მასში ცილების, ლიპიდების, ნახშირწყლებისა და ნუკლეინის მჟავების დამშლელი ფერმენტების არსებობა. სწორედ ამიტომ ეწოდება ამ ორგანოიდს ლიზოსომა (ბერძნ. Lysis – დაშლა და soma – სხეული).

ლიზოსომების შემადგენლობაში შემაეალი ფერმენტების სინთეზი მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანების გარეთა ზედაპირზე განლაგებულ რიბოსომებში მიმდინარეობს. სინთეზირებული ცილები ჯერ ენდოპლაზმური ბადის არხებსა და ღრუებში ხვდება, იქიდან კი გოლჯის კომპლექსში გადაიტანება, იქ გროვდება და შემდეგ გამოიკვირტება ფერმენტების შემცველი მცირე ზომის ბუშტუკის სახით *(სურ. 4.25)*.

განარჩევენ **პირველად** და **მეორეულ** ლიზოსომებს. პირველადი ლიზოსომები გოლჯის კომპლექსიდან ახლად გამოკვირტული ჰომოგენური შიგთავსის მქონე ბუშტუკებია და მასში არსებული ფერმენტები გააქტიურებული არ არის. მეორეული ლიზოსომები კი წარმოიქმნება უჯრედში ენდოციტოზის გზით მოხვედრილი მასალის (მაგალითად, საკვების) შემცველი ვაკუოლისა და პირველადი ლიზოსომის შერწყმის შედეგად *(სურ. 4.25)*. ასეთ მეორეულ ლიზოსომას ხშირად **საჭმლის მომნელებელ ვაკუოლსაც** უწოდებენ.

ხშირად უჯრედებში ზოგიერთი ორგანოიდი დროთა განმავლობაში კარგავს მნიშვნელობას და ეელარ ასრულებს თავის როლს, ზოგი ორგნოიდი კი სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედების შედეგად ზიანდება. ლიზოსომები უშუალოდ მონაწილეობს ასეთი სტრუქტურების დაშლასა და ალაგებაში, ანუ **აუტოფაგიის** პროცესში *(სურ. 4.25)*.



სურ. 4.25. ენდოციტოზი, ეგზოციტოზი და ლიზოსომები.
1 – გოლჯის კომპლექსი, 2 – მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადე, 3 – პირველადი ლიზოსომები, 4, 5 – პინოციტოზის შედეგად ნარმოქმნილი ბუშტუკები, 6 – მეორეული ლიზოსომები, 7 – ნარჩენი სხეულაკები, 8 – ფაგოსომა, 9 – უჯრედის დაზიანებული სტრუქტურები, 10 – აუტოფაგოსომა.

ლიზოსომებს "უჯრედის თვითმკვლელობის იარაღსაც" უწოდებენ. სხვადასხვა პათოლოგიური პროცესის დროს უჯრედში ადგილი აქვს ლიზოსომების მემბრანის დარღვევას და ციტოპლაზმაში დამშლელი ფერმენტების გამოთავისუფლებას, რომელთა აქტივობა მკვეთრად არის გაზრდილი, რაც საბოლოო ჯამში უჯრედის გაქრობას იწვევს. ამ პროცესს **აუტოლიზი** ეწოდება. მაგალითად, ფერმენტების აქტიურობის ასეთი ზრდა აღინიშნება ნეკროზულ უბნებში მიოკარდიუმის ინფარქტის შემთხვევაში. ზოგიერთ შემთხვევაში აუტოლიზი პათოლოგიურ პროცესს არ წარმოადგენს და ზოგიერთი ორგანიზმის განვითარების გარკვეულ სტადიაზე მიმდინარეობს. მაგალითად, თავკონბალას ბაყაყად გარდაქმიის პროცესში მისი კუდის უჯრედებში არსებული ლიზოსომები კუდის გაქრობას იწვევს.

4.3.9. პეროქსისომა

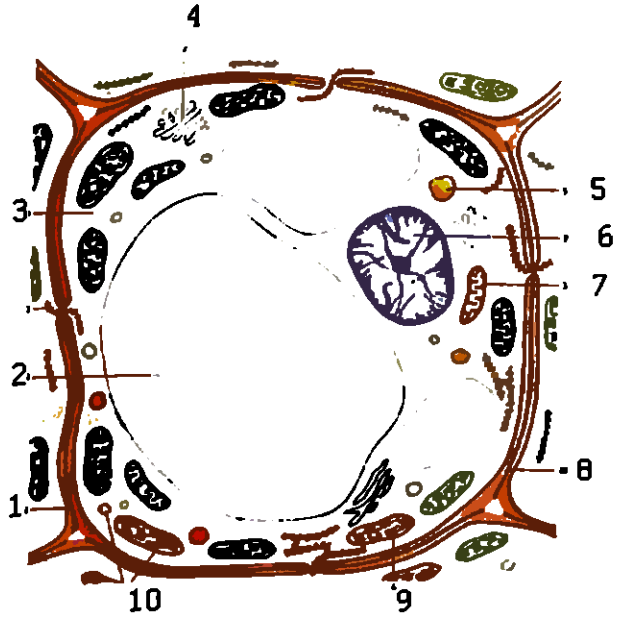
პეროქსისომა ეუკარიოტული უჯრედის მემბრანით შემოსაზღვრული 0,2-1,5 მკმ დიამეტრის მქონე ორგანოიდია. ის დიდი რაოდენობით შეიცავს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში მონაწილე ფერმენტებს. პეროქსისომები დნმ-ს და რნმ-ს არ შეიცავს.

სხვადასხვა სახის უჯრედებში პეროქსისომების ფუნქციები განსხვავებულია. მათ შორის აღსანიშნავია: ცხიმოვანი მჟავების დაჟანგვა, მომწავლავი ნაერთების დაშლა, ნაღველის მჟავების სინთეზი, ნერვული ბოჭკოების მიელინის გარსის ნარმოქმნა და ა. შ.

4.3.10. ვაკუოლი

ზოგი ეუკარიოტული უჯრედი შეიცავს ვაკუოლს – მემბრანით შემოსაზღვრულ ორგანოიდს. ვაკუოლი განსაკუთრებით კარგად არის განვითარებული მცენარეულ უჯრედებში, სადაც მას ხშირად უჯრედის მოცულობის ნახევარზე მეტი უჭირავს *(სურ. 4.26)*.

მცენარეული უჯრედის ვაკუოლი წყლისა და იონების დამარაგების ადგილია. ვაკუოლში შეიძლება მოხედეს ცხოველქმედების პროცესში წარმოქმნილი ნარჩენი პროდუქტები და უჯრედის დაზიანებული ორგანოიდებიც კი. აქ ისინი იშლება. ამდენად ვაკუოლის ლიზოსომის მსგავსი მოქმედებაც ახასიათებს. ვაკუოლს დიდი მნიშვნელობა აქვს უჯრედის **ტურგორის** შენარჩუნებაში. (ტურგორი (ლათ. turgere – გაჯირჯვება, შევსება) უჯრედშიგა წნევაა, რომელიც უჯრედის გარსის დაჭიმვას იწვევს). სხვადასხვა სახის უჯრედებში ვაკუოლი ისეთ ფუნქციებსაც ასრულებს, როგორიცაა სამარაგო ნივთიერებების დაგროვება, სეკრეცია, ექსკრეცია და სხვ. ვაკუოლი სოკოების უჯრედებისათვისაცაა დამახასიათებელი. სოკოების ვაკუოლში სამარაგო ნივთიერებებია (ლიპიდები, გლიკოგენი, ცხიმოვანი მჟავები და სხვ.) დაგროვილი.



სურ. 4.26. მცენარეული უჯრედის სქემა.
1 – პლაზმური მემბრანა, 2 – ვაკუოლი, 3 – ციტოპლაზმა, 4 – დიქტიოსომა, 5 – ჩანართი, 6 – ბირთვი, 7 – მიტოქონდრია, 8 – უჯრედის კედელი, 9 – ქლოროპლასტი, 10 – სახამებლის მარცვლები.

4.3.11. მიტოქონდრიები

მიტოქონდრიები პირველად 1850 წელს კუნთოვან უჯრედებში აღმოაჩინეს. მათ უჯრედის ,,ენერგეტიკულ სადგურებს" უწოდებენ. ძირითადად მიტოქონდრიებში მიმდინარეობს გარემოდან უჯრედში მოხვედრილი საკვები ნივთიერებების ენერგიის ატფ-ს ენერგიად გარდაქმნა. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ატფ ის ნივთიერებაა, რომლის ჰიდროლიზის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის დიდი ნაწილი უშუალოდ ხმარდება უჯრედში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებს. მიტოქონდრიებშივე მიმდინარეობს სუნთქვის – ჟანგბადის შეთვისებისა და ნახშირორჟანგის გამოყოფის პროცესი.



სურ. 4.27. მიტოქონდრიის სქემა

მიტოქონდრიები ჩხირისებრი, ძაფისებრი ანდა ოვალური ფორმის ორგანოიდებია. განსხვავებულია მათი ზომებიც. ზოგიერთ შემთხვევაში ძაფისებრი მიტოქონდრიის სიგრძე 10 მკმ-ზე მეტიც კი არის, ოვალური მიტოქონდრიის დიამეტრი კი მკმ-ის მეათედს შეადგენს.

ყოველი მიტოქონდრია ჰიალოპლაზმისაგან გარსით არის გამიჯნული (*სურ. 4.27*). გარსი ორი მემბრანისა და მათ შორის არსებული სიერცისაგან შედგება. მიტოქონდრიის გარეთა მემბრანა გლუვია, შიგა კი ნარმოქმნის მრავალრიცხოვან ნაოჭებს ე. წ. **მიტოქონდრიულ ქედებს** ანუ **კრისტებს.** კრისტები მნიშვნელოვნად ზრდის შიგა მემბრანის ზედაპირის ფართობს. შიგა მემბრანით შემოსაზღვრულ სიერცეს **მიტოქონდრიის მატრიქსი** ეწოდება. მატრიქსი შეიცავს კრებსის ციკლში მონაწილე ფერმენტებს. აქ მიმდინარეობს ცხიმოვანი მჟავეების დაჟანგვა. მატრიქსშია მიტოქონდრიული დნმ, რნმ და რიბოსომები.

მიტოქონდრიის შიგა მემბრანის მატრიქსისაკენ მიმართულ ზედაპირზე განლაგებულია ატფ-ს სინთეზში მონაწილე ფერმენტის ატფ–სინთაზას მოლეკულები. აქვეა სუნთქვითი ჯაჭვის კომპონენტებიც.

რაც უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს უჯრედში ენერგიის ხარჯვა მით უფრო მეტია მიტოქონდრიებისა და მიტოქონდრიების შიგა მემბრანის ნაოჭების – კრისტების რაოდენობა. მაგალითად, მწერების საფრენი კუნთების ყოველ უჯრედში რამდენიმე ათასი მიტოქონდრიაა.

სიმბიოგენეზის ჰიპოთეზის თანახმად, მიტოქონდრიები წარმოიშვა იმის გამო, რომ პრიმიტიულ უჯრედებს არა ჰქონდათ ენერგიის წარმოსაქმნელად ჟანგბადის გამოყენების უნარი, ამიტომ ისინი ,,იტაცებდნენ" ამ უნარის მქონე ბაქტერიებს. შემდგომ ასეთი სახის ბაქტერიების ბევრი გენი **პრიმიტიული უჯრედების** ბირთვში ,,გადასახლდა". ამიტომაა, რომ თანამედროვე მიტოქონდრიები აღარ წარმოადგენს დამოუკიდებელ ორგანიზმებს. მიუხედავად იმისა, რომ მიტოქონდრიებში არსებობს საკუთარი ცილების სინთეზისათვის საჭირო აპარატი (დნმ, რნმ, რიბოსომები), მიტოქონდრიის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი ბევრი ცილა ციტოპლაზმაში სინთეზირდება და შემდგომ მიტოქონდრიაში ტრანსპორტირდება. სიმბიოგენეზის თეორიის დამადასტურებელია ის ფაქტი, რომ მიტოქონდრიები და პროკარიოტები 70S ტიპის რიბოსომებს შეიცავს.

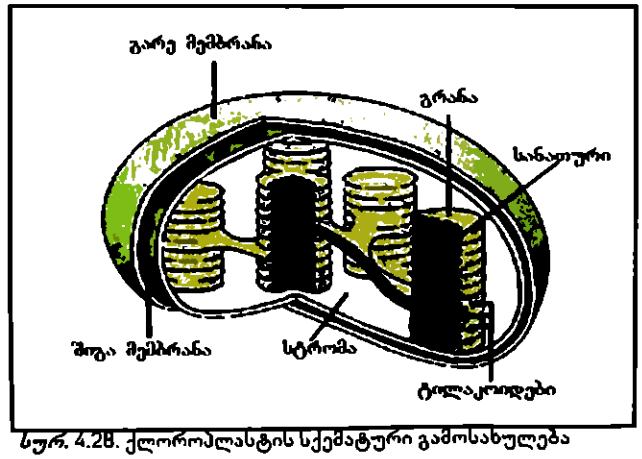
აღწერილია უჯრედში ორი მიტოქონდრიის შერწყმა. ახალი მიტოქონდრიები არსებული მიტოქონდრიების გაყოფის ან მათი ფრაგმენტაციით ნარმოიქმნება.

4.3.12. პლასტიდები

პლასტიდები ეუკარიოტული მცენარეებისა და ზოგიერთი ფოტოსინთეზის უნარის მქონე უმარტივესი ორგანიზმების ორგანოიდებია. შეფერილობისა და ფუნქციების მიხედვით გამოყოფენ პლასტიდების სამ ჯგუფს – **ლეიკოპლასტებს, ქრომოპლასტებს და ქლოროპლასტებს.**

ლეიკოპლასტები უფერო პლასტიდებია. ისინი, როგორც წესი სამარაგო ფუნქციას ასრულებს. მაგალითად, კარტოფილის ტუბერების ლეიკოპლასტებში სახამებელია დაგროვილი. ლეიკოპლასტებს გააჩნია ქლოროპლასტებად და ქრომოპლასტებად გარდაქმნის უნარი.

ქრომოპლასტების შეფერილობას **კაროტინოიდები** განაპირობებს. არსებობს ყვითელი, ნარინჯისფერი და წითელი შეფერილობის ქრომოპლასტები. ქრომოპლასტებითაა განპირობებული მცენარეთა ყვავილების, ნაყოფისა და შემოდგომის ფოთლების შეფერილობა. სწორედ შეფერილი ყვავილები და ნაყოფები იზიდავს მწერებსა და ნაყოფისმჭამელ ცხოველებს, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს მცენარეთა გამრავლებასა და გარემოში გავრცელებაში.



სურ. 4.28. ქლოროპლასტის სქემატური გამოსახულება

უმაღლესი მცენარეებისა, წყალმცენარეების, ციანობაქტერიების და ზოგიერთი ბაქტერიის უჯრედებში გაბნეულია მწვანე ფერის პლასტიდები – ქლოროპლასტები. მწვანე ფერს პიგმენტი **ქლოროფილი** (ბერძ. chloros – მწვანე და phyllon - ფოთოლი) განაპირობებს. ქიმიური შედგენილობის მიხედვით

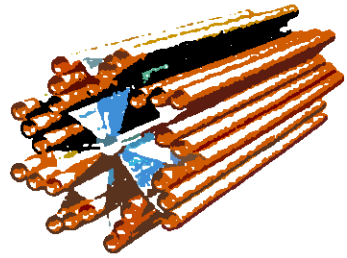
ქლოროფილი სტრუქტურულად **ჰემის** მსგავსია.

ქლოროპლასტები დისკოს ფორმის ორგანოიდებია და გარსით არის დაფარული (*სურ. 4.28*). გარსი შედგება გარე და შიდა მემბრანებისა და მემბრანათაშორის არსებული სივრცისაგან. ქლოროპლასტის შიგთავსი შეიცავს მემბრანით შემოსაზღერულ ბრტყელ პარკებს – **ტილაკოიდებს.** სწორედ ტილაკოიდები შეიცავს ქლოროფილს. უმაღლეს მცენარეებში ტილაკოიდები დასტებად არის განლაგებული. ამ დასტებს **გრანები** ეწოდება. გრანები ერთმანეთთან ე. წ. **ლამელებით** არის დაკავშირებული. ასეა ნარმოქმნილი ქლოროპლასტის ერთიანი მემბრანული სისტემა. ტილაკოიდებს შორის არსებულ სივრცეს **ქლოროპლასტის სტრომა** ეწოდება. სტრომა შეიცავს ქლოროპლასტის რნმ-ს და დნმ-ს, რიბოსომებს, სახამებლის მარცვლებს. ქლოროპლასტებში მზის სინათლის ენერგიის ხარჯზე მარტივი არაორგანული ნივთიერებებისაგან – ნახშირორჟანგისა და წყლისაგან ორგანული ნაერთის – ნახშირწყლების სინთეზი ანუ **ფოტოსინთეზი** მიმდინარეობს. პლასტიდებს შეუძლიათ ერთი მეორედ გარდაქმნა, ასევე გაყოფით გამრაელება.

4.3.13. უჯრედის ცენტრი

უჯრედის ცენტრი პირველად თეოდორ ბოვერიმ 1888 წელს აღმოაჩინა და მას „უჯრედის გაყოფის განსაკუთრებული ორგანო" უწოდა. უჯრედის ცენტრის ერთ-ერთი უმთავრესი კომპონენტია **ცენტროსომა.**

ცენტროსომა ეუკარიოტული უჯრედების მიკრომილაკების ორგანიზაციის (წარმოქმნის) მთავარი ცენტრი და უჯრედული ციკლის რეგულატორია. ნორმალურ უჯრედში ძირითადად მხოლოდ ერთი ცენტროსომაა. ცხოველების უჯრედებსა და უმარტივესებში ცენტროსომის მთავარ კომპონენტს ორი **ცენტრიოლი** ნარმოადგენს.



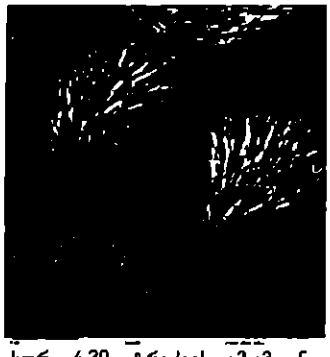
სურ. 4.29. ცენტრიოლის სქემა.

ცენტრიოლები ღრუიანი ცილინდრული ფორმის სტრუქტურებია. მათი წყვილი ურთიერთპერპენდიკულარულად არის განლაგებული. ცენტრიოლების სიგრძე 0,3-0,5 მკმ-ია, დიამეტრი კი – 0,2 მკმ-მდეა. ყოველი ცენტრიოლი ნარმოქმნილია წრიულად განლაგებული მიკრომილაკების 9 ტრიპლეტისაგან (*სურ. 4.29*).

ინტერფაზურ უჯრედში ცენტრიოლები ბირთვის სიახლოესაა ლოკალიზებული. ცენტრიოლების გარემომცველი ციტოპლაზმა დიდი რაოდენობით შეიცავს რადიალური ორიენტაციის მიკრომილაკებს. ამ უბანს **ცენტროსფერო** ეწოდება, **ცენტრიოლებისა და ცენტროსფეროს ერთიანობას კი – უჯრედის ცენტრი.** მიკრომილაკები ციტოჩონჩხის ორგანიზაციაში მონაწილეობს.

ის ორგანიზმები, რომლებსაც ცენტრიოლები არ აქვს, შოლტებს მოკლებულია, ასეთებს მიეკუთვნება ხერხემლიანებიდან ჩანთოსნები, ზოგიერთი სოკო, ფარულთესლოვანი და შიშველთესლოვანი მცენარეები.

4.3.14. წამწამები და შოლტები



სურ. 4.30. ტრაქეის ამომფენი ეპითელური უჯრედების წამწამები.

წამწამები ეუკარიოტული უჯრედების ზედაპირზე განლაგებული 0,1-0,6 მკმ დიამეტრის მოძრავი სტრუქტურებია. სხვადასხვაა სახის უჯრედების წამწამების სიგრძე 3 მკმ-დან 2 მმ-მდე მერყეობს.

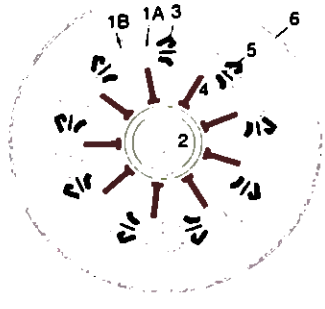
წამწამები გარედან პლაზმური მემბრანით არის დაფარული. ცენტრში მოთავსებულია 2 მიკრომილაკი, რომელთა გარშემო განლაგებულია მიკრომილაკების 9 წყვილი. ყოველ წყვილში ერთი მიკრომილაკი სრულია და 13 პროტოფილამენტისაგან შედგება, მეორე კი – არასრულია და შეიცავს 11 პროტოფილამენტს.

წამწამის ფუძეში განლაგებულია ე.წ. ბაზალური სხეულაკი (**კინეტოსომა**), რომლის სტრუქტურაც ისეთივეა, როგორიც ცენტრიოლისა.

ზოგიერთი ორგანიზმის წამწამები უმოძრაოა და რეცეპტორების როლს ასრულებს. ხერხემლიანი ორგანიზმების, მათ შორის ადამიანის, ბევრი ორგანოს უჯრედებს მოძრავი წამწამები აქვს. ადამიანში წამწამოვანი ეპითელიუმით ამოფენილია სასუნთქი გზები, ევსტაქის მილები, თესლგამტარი არხები, თავის ტვინის პარკუჭები და ზურგის ტვინის არხი.

მაგალითად, სასუნთქი გზების – ცხვირის ღრუს, ტრაქეისა (*სურ. 4.30*) და ბრონქების ეპითელური უჯრედები დაფარულია მრავალრიცხოვანი წამწამებით. მათ შეთანხმებული ტალღისებრი მოძრაობის შედეგად სასუნთქი გზებიდან ლორწო, მასში არსებულ მტვრის ნაწილაკებთან და დაღუპულ უჯრედებთან ერთად გარეთ გამოიდევნება.

ნამწამების მოძრაობა ატფ-ს ჰიდროლიზის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე მიმდინარეობს.



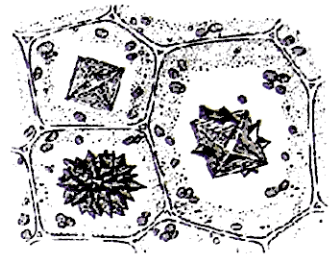
სურ. 4.31. შოლტის განივი ჭრილის სქემა.
1 და 1 – პერიფერიული მიკრომილაკების წყვილი,
2 – ცენტრალური მიკრომილაკები,
3 – ცილა დინეინის მხრები,
4 – რადიალური ჩხირი,
5 – პერიფერიულ მილაკებს შორის არსებული ხიდაკი,
6 – უჯრედის პლაზმური მემბრანა.

ეუკარიოტული უჯრედების **შოლტები** ისეთივე აგებულებისაა, როგორიც წამწამებისა *(სურ. 4.31)*. შოლტები, წამწამებთან შედარებით უფრო გრძელი (200 მკმ-მდე) წარმონაქმნებია. შოლტების ტალღისებრი ან ძაბრისებრი მოძრაობის შედეგად უჯრედი გარემოში გადაადგილდება. ეუკარიოტულ უჯრედებში შოლტების რაოდენობა ოთხს არ აღემატება. შოლტები აქვს ერთუჯრედიან ორგანიზმებს მწვანე ევგლენასა და სხვა შოლტიანებს.(**სურ 3.5**). მამრობითი სასქესო უჯრედი – სპერმატოზოიდი შოლტის საშუალებით მოძრაობს.

შოლტები პროკარიოტული უჯრედებისთვისაცაა დამახასიათებელი. ბაქტერიების შოლტების სისქე 10-20 ნმ-ია, სიგრძე კი 3-15 მკმ-ს ფარგლებში მერყეობს. მათი მოძრაობა ბაქტერიის მემბრანაში ლოკალიზებული **ბაზალური სხეულაკის** ე. წ. **„მოტორის"** მეშვეობით ხორციელდება.

4.3.15. ჩანართები

ორგანოიდების გარდა, უჯრედები შეიცავს ისეთ წარმონაქმნებსაც, რომლებიც, უჯრედში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის ინტენსივობისა და ორგანიზმის არსებობის პირობების მიხედვით, შესაძლოა უჯრედში ან არსებობდეს, თანაც დიდი რაოდენობით, ან საერთოდ არ არსებობდეს. მათ **ჩანართები** ეწოდება და გვხვდება სხვადასხვა ზომის, ფორმისა და ქიმიური ბუნების მარცვლების, ბელტების, წვეთების, ვაკუოლების, კრისტალების (*სურ. 4.32*) სახით. ჩანართების ნაწილში სამარაგო ნივთიერებებია დაგროვილი: ცხიმები წვეთების სახით გროვდება, ნახშირწყლები და ცილები მარცვლების სახით. ცხიმოვანი წვეთები დიდი რაოდენობითაა მცენარეთა თესლების, აგრეთვე ცხოველთა კანქვეშა ცხიმოვან უჯრედებში. ცილოვანი ჩანართები განსაკუთრებით ბევრია ცხოველთა კვერცხუჯრედში, მცენარეთა თესლების უჯრედებში. ზოგიერთ ჩანართში დაგროვილია უჯრედის ცხოველქმედების საბოლოო, უჯრედისათვის უვარგისი ნივთიერებები, რომლებიც უჯრედიდან უნდა გაიდევნოს. უჯრედებისა და ქსოვილების შეფერილობას პიგმენტების შემცველი ჩანართები განაპირობებს.



სურ. 4.32. მჟაუნმჟავა კალციუმის კრისტალები მცენარეულ უჯრედებში.

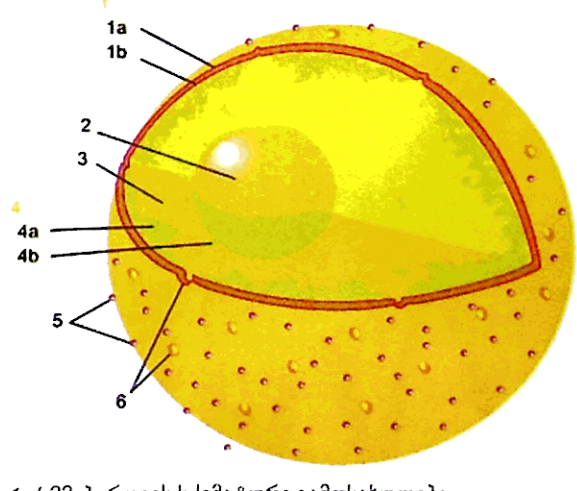
ჯირკვლოვანი უჯრედები შეიცავს ჩანართებს, რომლებშიც ამ უჯრედებში წარმოქმნილი **სეკრეტები** და **ინკრეტები** გროვდება.

4.3.16. უჯრედის ბირთვი

ბირთვი (ლათ. – nucleus, ბერძნ. karyon – კაკალი, ბირთვი) ეუკარიოტული უჯრედის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. მისი ფუნქცია არის დნმ-ს მოლეკულებში კოდირებული მემკვიდრეობითი (გენეტიკური) ინფორმაციის შენახვა, აღწარმოება და გადაცემა. განარჩევენ ბირთვის ორ მდგომარეობას: უჯრედის ორ თანამიმდევრულ გაყოფას შორის პერიოდში არსებულ ე. წ. **ინტერფაზულ ბირთვს** და **გაყოფად ბირთვს**. ინტერფაზული ბირთვი უზრუნველყოფს ცილის სინთეზის პროცესებს. გაყოფადი ბირთვი კი – უჯრედების რაოდენობის ზრდას და მათში მემკვიდრეობითი ინფორმაციის თანაბარ განაწილებას.

ბირთვი ძირითადად უჯრედის ცენტრშია განლაგებული და მხოლოდ ცენტრალური ვაკუოლის შემცველ მცენარეულ უჯრედებში – უჯრედის კედელთან. ბირთვის დიამეტრი 0,5 მკმ-დან (სოკოებში) 5000 მკმ-მდე (ზოგიერთ კვერცხუჯრედში) მერყეობს, უფრო ხშირად იგი 5 მკმ-ის ფარგლებში ვარირებს. ბირთვის მდგომარეობა, ფორმა და ზომები იცვლება მეტაბოლიზმის ინტენსიურობის ცვლილების პარალელურად.

ზოგიერთ მომწიფებულ უჯრედს ბირთვი არ გააჩნია. მაგალითად, ძუძუმწოვრების ერითროციტებსა და ფარულთესლოვანების საცრისებრი მილების უჯრედებს. ძალიან დიდი ზომის უჯრედები ხშირად მრავალბირთვიანია (მაგალითად, ჩონჩხის კუნთების უჯრედები ხერხემლიანებში). ინფუზორიებს მოეპოვებათ ერთი მცირე (**მიკრონუკლეუსი**) და ერთი დიდი (**მაკრონუკლეუსი**) ზომის ბირთვი. მიკრონუკლეუსი ასრულებს გამრავლების ფუნქციას და მაკრონუკლეუსი – მეტაბოლურ ფუნქციას.



სურ. 4.33. ბირთვის სქემატური გამოსახულება.
1A – ბირთვის გარსის გარე და 1B – შიგა მემბრანები,
2 – ბირთვაკი, 3 – ნუკლეოპლაზმა,
4A – ჰეტეროქრომატინი და 4B – ეუქრომატინი,
5 – რიბოსომები, 6 – ბირთვის გარსისი ფორები.

ინტერფაზული ბირთვი შედგება **ბირთვის გარსის – კარიოლემის, ბირთვის წვენის – კარიოპლაზმის, ქრომატინისა და ერთი ან რამდენიმე ბირთვაკისაგან** (*სურ. 4.33*).

ბირთვის გარსი შედგება ორი ერთმანეთის სიახლოვეს განლაგებული მემბრანისაგან და მემ-

ბრანათაშორისი ანუ პერინუკლეური სივრცისაგან. თითოეული მემბრანის სისქე დაახლოებით 8 ნმ-ია, პერინუკლეური სივრცისა კი – 30 ნმ. ბირთვის გარსს გააჩნია დაახლოებით 70 ნმ დიამეტრის ნასვრეტები – **ფორები.** აქ ბირთვის გარსის მემბრანები ერთმანეთთან არის შერწყმული. ფორების მეშვეობით ხორციელდება სხვადასხვა ნივთიერების ბირთვიდან ციტოპლაზმაში და პირიქით გადასვლა. მაგალითად, ბირთვიდან ციტოპლაზმაში გადადის ი-რნმ და ტ-რნმ, რომლებიც ცილების სინთეზში მონაწილეობს. ციტოპლაზმიდან ბირთვში ფორების საშუალებით გადადის დნმ-სთან დასაკავშირებელი სპეციფიური ცილების მოლეკულები, აგრეთვე რიბოსომული ცილები.

ფორა ბირთვის გარსში არსებული უბრალო ხვრელი არ არის. მას რთული აგებულება აქვს და რამდენიმე ათეული სპეციალიზებული ცილისაგან – **ნუკლეოპორინისაგან** შედგება, რომლებიც ლოკალიზებულია ბირთვის გარსის როგორც შიგა, ასევე გარე ზედაპირზე.

ბირთვის გარსის გარე მემბრანის ციტოპლაზმისაკენ მიმართულ ზედაპირზე განლაგებულია რიბოსომები. ცალკეულ უბნებში გარე მემბრანა მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანებთანაა შერწყმული და პერინუკლეური სივრცე ენდოპლაზმური ბადის არხებსა და ღრუებთანაა დაკავშირებული.

ბირთვის გარსის შიგა მემბრანა შეიცავს ფერმენტებს, რომლებიც ენერგიის გამომუშავების, დნმ-ს რეპლიკაციისა და ტრანსკრიპციის პროცესებში მონაწილეობს.

ბირთვის წვენი, ნუ **კარიოპლაზმა** უსტრუქტურო მასაა, რომლის სიბლანტე ჰიალოპლაზმის სიბლანტეს უახლოვდება. კარიოპლაზმა შეიცავს ცილებსა და სხვადასხვა სახის რნმ-ს. ელექტრონულ მიკროსკოპში დაკვირვებისას კარიოპლაზმაში შეინიშნება წვრილი მარცვლების დიდი რაოდენობა – ეს რიბოსომების წინამორბედებია, რომლებიც ბირთვიდან ციტოპლაზმაში ტრანსპორტირდება.

კარიოპლაზმაშია ლოკალიზებული ბირთვის მატრიქსი. ის უხსნადი ბირთვშიგა კარკასია. ბირთვის მატრიქსი ძირითადად არაჰისტონური ცილებისაგან არის აგებული.

ქრომატინი (ბერძნ. chromatos – ფერი, საღებავი) ბირთვის უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია. ის **ქრომოსომების** ძირითად სტრუქტურულ საფუძველს წარმოადგენს. ქრომატინი ინტენსიურად იღებება ბირთვის საღებავებით. სწორედ ამიტომ ეწოდება მას აღნიშნული სახელი. უჯრედის გაყოფის პროცესში ქრომატინისაგან **ქრომოსომები** ფორმირდება. ქრომატინის სტრუქტურული ერთეულია 10 ნმ დიამეტრის მქონე **ელემენტარული ფიბრილა** (ძაფი) ქრომატინის 30-40%-ს დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ) შეადგენს, 30-50%-ს – სპეციფიური ცილები – **ჰისტონები,** 4-33%-ს – სხვა ცილები. ქრომატინი რიბონუკლეინის მჟავასაც (რნმ) შეიცავს.

ინტერფაზულ ბირთვში, ქრომატინის კონდენსაციის ხარისხზე დამოკიდებულებით განარჩევენ **ჰეტეროქრომატინსა** და **ეუქრომატინს.** ჰეტეროქრომატინი ქრომატინის კომპაქტური უბნებია, ისინი არააქტიურია და დნმ-ს მიჩუმებულ უბნებს შეესაბამება. ჰეტეროქრომატინი უპირატესად ბირთვის პერიფერიულ უბნებშია ლოკალიზებული. ქრომატინის არაკომპაქტური უბნები, ანუ ეუქრომატინი ტრანსკრიპციული აქტივობით ხასიათდება.

ბირთვი შეიცავს ერთ ან რამდენიმე მომრგვალო ფორმის ბირთვაკს. ისინი მემბრანით არ არის შემოსაზღვრული. ბირთვაკის ძირითადი ფუნქცია რიბოსომების სინთეზია. ბირთვაკი ქრომატინით არის გარემოცული, რომლის ნაწილი ბირთვაკშია შეჭრილი. მას **ბირთვაკის ორგანიზატორი** ეწოდება. ბირთვაკის ირგვლივ და ბირთვაკში შეჭრილი ქრომატინი რიბოსომული რნმ-ს (რ-რნმ) სინთეზის პროცესებში მონაწილეობს. ბირთვაკშივე ხდება რ-რნმ-ს მომწიფება და რიბოსომების სუბერთეულების აწყობა. რ-რნმ-ს ჯაჭვი ცილებთან დაკავშირების შემდეგ წარმოქმნის **რიბონუკლეოპროტეიდების (რნპ)** ფიბრილებს, რომლებიც კონფიგურაციის შეცვლის შემდეგ რნპ გრანულად ჩამოყალიბდება. სწორედ რნპ გრანულები წარმოადგენს რიბოსომების სუბერთეულებს. აღნიშნული გრანულები ბირთვის ფორების გავლით ციტოპლაზმაში ტრანსპორტირდება და სრულყოფილ რიბოსომებად ყალიბდება.

ქრომოსომები უჯრედისა და ორგანიზმის მემკვიდრული ინფორმაციის შემცველი სტრუქტურებია. ეუკარიოტებში დნმ შეფუთულია ცალკეულ ქრომოსომებში, რომელთა რიცხვი სახეობისაგან დამოკიდებულებით ვარირებს (მაგალითად, ადამიანის თითოეულ დიპლოიდურ უჯრედში 46 ქრომოსომაა, ჰაპლოიდურ უჯრედში – 23). ტერმინი „ქრომოსომები" 1888 წელს შემოიტანა გერმანელმა ანატომმა ვილჰელმ ვალდაიერმა (1836-1921). უჯრედის მთელი სიცოცხლის მანძილზე ქრომოსომები განუწყვეტლივ არსებობს და კანონზომიერად იცვლება უჯრედული ციკლის სხვადასხვა სტადიაზე.



სურ. 4.34. მეტაფაზური ქრომოსომების ტიპების სქემა
1, 6 —მეტაცენტრული; 2, 3 — სუბმეტაცენტრული; 4, 5 — აკროცენტრული; 7 — აკროცენტრული მეორადი ჭიმით; 8 — აკროცენტრული თანამგზავრით.

ქრომოსომას აქვს პირველადი სარტყელი, რომლის ზონაში **ცენტრომერაა** ლოკალიზებული. მისი მდებარეობის მიხედვით ქრომოსომა შეიძლება იყოს **მეტაცენტრული** — ცენტრომერა ქრომოსომის შუაში ან თითქმის შუაში მდებარეობს და ორივე მხარი თითქმის ტოლია, **სუბმეტაცენტრული** ანუ არათანაბარ მხრიანი, **აკროცენტრული** – ერთი მხარი მეტად გრძელია, მეორე კი ძალიან მოკ-

ცხრილი 4.5
ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი
ზოგიერთ ცხოველსა და მცენარეში

ორგანიზმი	2n	ორგანიზმი	2n
ადამიანი	46	მალარიის პლაზმოდიუმი	2
შიმპანზე	48	ნაძვი	24
მაკაკა რეზუსი	42	ფიჭვი	24
ცხენი	64	მუხა	24
ღორი	38	კაკალი	32
ძროხა	60	სტაფილო	18
თხა	60	კარტოფილი	48
ძაღლი	78	პომიდორი	24
სახლის თაგვი	40	რბილი ხორბალი	42
ვირთაგვა	42	ჭვავი	14
ქათამი	78	ქერი	14
მტრედი	80	სიმინდი	20
გომბეშო	24	ხახვი	16
ტრიტონი	24	ქლიავი	48
ოთახის ბუზი	12	ბარდა	14
კობრი	104	არჯაკელი	14

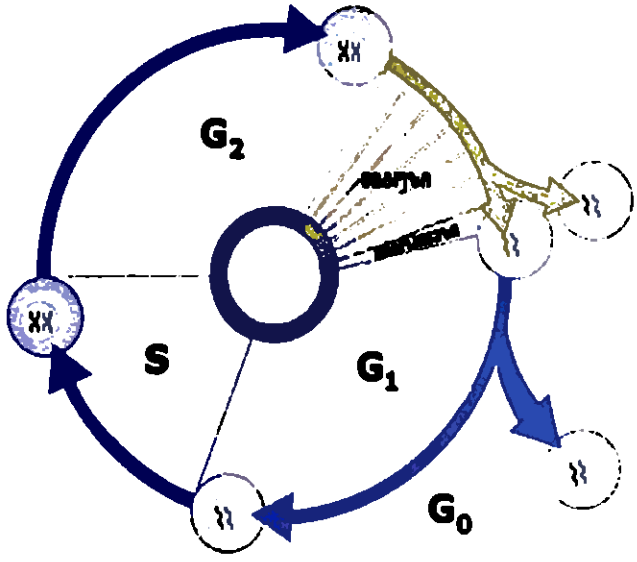
ლეა, **ტელოცენტრული** ანუ ჩხირისებური, ცენტრომერა ქრომოსომის ბოლოშია მოთავსებული *(სურ. 4.34)*.

ეუკარიოტული უჯრედის ქრომოსომათა ერთობლიობა – ქრომოსომული კომპლექტი შედგება მორფოლოგიურად ერთნაირი ჰომოლოგიური წყვილებისაგან (დიპლოიდური კომპლექტი), სასქესო უჯრედებს კი ყოველი წყვილიდან თითო აქვს (ჰაპლოიდური კომპლექტი) (*ცხრილი 4.5*). ყოველ სახეობას ევოლუციის პროცესში ჩამოუყალიბდა მათთვის დამახასიათებელი **კარიოტიპი** ანუ ქრომოსომების რაოდენობრივი (რაოდენობა, ზომა) და თვისობრივი (მორფოლოგიური: ცენტრომერის მდებარეობა, მეორეული სარტყლის არსებობა, ეუქრომატინული და ჰეტეროქრომატინული უბნები და ა. შ.) ნიშნების ერთობლიობა. კარიოტიპი სახეობის არსებით კრიტერიუმს წარმოადგენს. კარიოტიპი შეიძლება გამოისახოს **კარიოგრამის** (*სურ.* 7.34) სახით, რომელშიც ქრომოსომები დალაგებულია ზომის კლებადობის მიხედვით.

გასული საუკუნის სამოცდაათიან წლებში დადგენილ იქნა ფაქტი, რომ ქრომატინი აგებულია სუბერთეულებისაგან — **ნუკლეოსომებისაგან**, რომლებიც ერთნაირია ყველა ეუკარიოტისათვის. ის შედგება დნმ-ს 200-მდე ნუკლეოტიდური წყვილის შემცველი თანამიმდევრობისაგან, რომლის სტრუქტურულ ორგანიზაციას ხელს უნყობს ჰისტონები — წარმოიქმნება მძივის მსგავსი ნაწილაკი. დნმ ამ ნაწილაკის ზედაპირზე ძევს, ცილოვანი კომპონენტი კი — შიგნით. *(სურ. 4.35)*.


სურ. 4.35. ქრომოსომის სტრუქტურის სქემა

ქრომატინის ცილები ორი ტიპისაა: **ჰისტონური და არაჰისტონური**. მათი მასა დნმ-ს მასას ორჯერ აღემატება. ჰისტონები ქრომატინის ფუძე ცილების უმრავლესობაა. არაჰისტონური ცილები ქრომატინის ცილების საერთო მასის უმცირეს წილს შეადგენს. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ფერმენტი რნმ-პოლიმერაზა.



სურ. 4.36. მიტოზური ციკლის გრაფიკული გამოსახულება

4.4. უჯრედის სასიცოცხლო ციკლი, მიტოზი

გამრავლება ანუ რეპროდუქცია (ლათ. re – გამეორება, produco – წარმოქმნა), ანუ თავისივე მსგავსის წარმოქმნა დედამიწაზე არსებული ცოცხალი ორგანიზმების ფუნდამენტური თვისებაა. ეს უნარი უზრუნველყოფს მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემას თაობათა მონაცვლეობისას. გამრაელება დედამიწაზე სიცოცხლის უწყვეტობას განაპირობებს.

უჯრედოვანი აგებულების ორგანიზმების გამრაელების ნებისმიერი ფორმის საფუძველს უჯრედის გაყოფა წარმოადგენს.

ეუკარიოტული უჯრედის გაყოფის ყველაზე გაერცელებული და უნივერსალური ხერხია მიტოზი, რომელიც უზრუნველყოფს დედისეული უჯრედის ორ შვილეულ უჯრედად გაყოფას, რომლებიც დედისეული უჯრედის იდენტურ გენეტიკურ მასალას შეიცავს.

უჯრედის მიტოზური გაყოფა ყოველთვის ინყება ბირთვის გაყოფით – **კარიოკინეზით**, რომელსაც უმეტეს შემთხვევაში თან სდევს ციტოპლაზმის გაყოფა – **ციტოკინეზი**. ზოგიერთ შემთხვევაში კარიოკინაზს შეიძლება ციტოკინეზი არ მოჰყვეს. ტერმინი "მიტოზი" ეინრო მნიშვნელობით ბირთვის გაყოფას გულისხმობს.

უჯრედების მიტოზური გაყოფა აღმოაჩნეს XIX საუკუნის ბოლოს ერთდროულად გერმანელმა პისტოლოგმა ვალტერ ფლემინგმა (1843-1905) და გერმანიაში მოღვაწე პოლონელმა ბოტანიკოსმა ედუარდ სტრასბურგერმა (1844-1912). ფლემინგმა ეს პროცესი ცხოველთა უჯრედებში აღწერა, სტრასბურგერმა კი – მცენარეთა უჯრედებში.

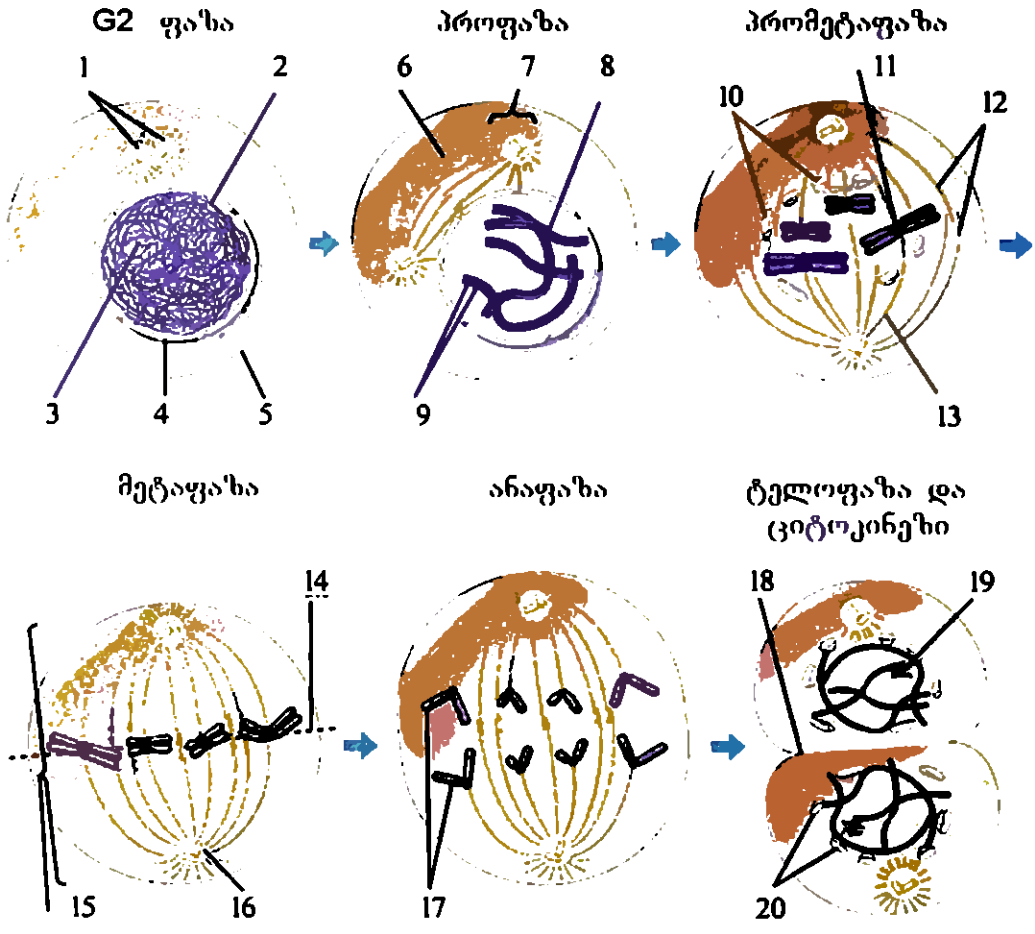
მიტოზური გაყოფის კანონზომიერებანი უნივერსალურია და ახასიათებს ყველა ეუკარიოტულ უჯრედს. **მიტოზის ბიოლოგიური არსი იმაში მდგომარეობს, რომ გაყოფის შედეგად ერთი დედისეული უჯრედიდან მიიღება ორი შვილეული უჯრედი, რომლებიც ქრომოსომათა ისეთსავე კომპლექტს შეიცავს, როგორიც დედისეული უჯრედში იყო, ანუ მიტოზი უზრუნველყოფს შვილეულ უჯრედებში მემკვიდრეობითი ინფორმაციის სრულად გადაცემას.** გარდა ამისა, ციტოკინეზის შედეგად ძირითადი ორგანოიდები შვილეულ უჯრედებში მეტ-ნაკლებად თანაბრად ნაწილდება.

თავისთავად მიტოზი ნარმოადგენს იმ რთული პროცესების დამაგვირგვინებელ ეტაპს, რომლებიც უზრუნველყოფს უჯრედის გაყოფას და სწორედ ამ პროცესების ერთობლიობას **უჯრედის სასიცოცხლო ციკლი, ანუ მიტოზური ციკლი ეწოდება.**

უჯრედული ციკლის პროცესებიდან უმნიშვნელოვანესია: 1) დნმ-ს ანუ უჯრედის მემკვიდრეობითი მასალის გაორმაგება და 2) ამ მასალის თანაბარი განაწილება შვილეულ უჯრედებს შორის. პირველი მათგანი მიმდინარეობს ე. წ. **ინტერფაზის** პერიოდში, მეორე კი — მიტოზის დროს. ამრიგად უჯრედული ციკლი შედგება ორი ძირითადი პერიოდისაგან – ინტერფაზისა და მიტოზური გაყოფისაგან. თითოეული მათგანი რამდენიმე ფაზას მოიცავს. აღსანიშნავია, რომ ინტერფაზისა და მიტოზის ფაზებს შორის მკვეთრი ზღვარი არ არსებობს – უჯრედული ციკლი წარმოადგენს უწყვეტ პროცესს, რომლის ყოველი სტადია უწყვეტად გადადის მომდევნო სტადიაში.

ინტერფაზა. ზრდასრული ორგანიზმის ქსოვილების უჯრედების თითქმის ნებისმიერ პოპულაციაში გამრავლებად უჯრედებთან ერთად ისეთი უჯრედებიც არის, რომლებიც დიფერენცირებულია, სპეციფიურ ფუნქციებს ასრულებს და აღარ მრავლდება. ამიტომაა, რომ განარჩევენ ინტერფაზის ორ მდგომარეობას: პირველია ე. წ. **პეტეროსინთეზური ინტერფაზა** (G_0 **ფაზა**), როდესაც გაყოფის შემდეგ უჯრედი იზრდება, ფუნქციონირებს, მაგრამ შემდგომი გაყოფისათვის აღარ ემზადება. მეორეა **აუტოსინთეზური ინტერფაზა**, როდესაც უჯრედი იზრდება, ფუნქციონირებს და მომდევნო გაყოფისათვისაც ემზადება.

ინტერფაზაში ეუკარიოტული უჯრედის ბირთვი შედგება ბირთვის გარსის, ქრომატინის, ბირთვაკის/ების და ბირთვის წვენისაგან. ქრომოსომები ძირითადად დესპირალიზებულია და ეუ- და პეტეროქრომატინის სახით არის წარმოდგენილი. აუტოსინთეზურ ინტერფაზაში მიმდინარეობს მიტოზის მსვლელობისათვის ისეთი მნიშვნელოვანი პროცესები, როგორებიცაა: დნმ-ს რეპლიკაცია, ქრომოსომების ცილოვანი კომპონენტის სინთეზი, გაყოფის თითისტარას ცილების სინთეზი, უჯრედის ცენტრის გაორმაგება და მიტოზის ნორმალური მსვლელობისათვის აუცილებელი ენერგიის ატფ-ს მაკროერგული ბმების სახით მომარაგება. ამ პროცესებთან ერთად უჯრედი იზრდება და უმეტესად ბირთვისა და ციტოპლაზმის მოცულობათა შეფარდება შედარებით მუდმივი რჩება. ზოგიერთ შემთხვევაში ინტერფაზა ისე ხანმოკლეა, რომ უჯრედები ზრდას ვერ ასწრებს. მა-



სურ. 4.37. მიტოზის ფაზების გრაფიკული გამოსახულება.
1 – ცენტროსომების ნყვილი, 2 – გაორმაგებული ქრომატინი, 3 – ბირთვაკი, 4 – ბირთვის გარსი, 5 – პლაზმური მემბრანა, 6 – პირველადი თითისტარა, 7 - პოლუსი, 8 – ცენტრომერა, , 9 – ქრომოსომა ორი შვილეული ქრომატიდით, 10 – ბირთვის გარსის ფრაგმენტები, 11 – ქრომოსომის გაორმაგებული ცენტრომერული უბანი, 12 –პოლუსების დამაკავშირებელი თითისტარას ძაფები 13 – ქრომოსომული თითისტარას ძაფი, 14 –მეტაფაზური ფირფიტა, 15 – გაყოფის თითისტარა, 16 - უჯრედის პოლუსი ორი ცენტრიოლით, 17 - შვილეული ქრომოსომები, 18 – უჯრედის გამყოფი ღარი, 19 - ფორმირებადი ბირთვაკი, 20 –შვილეული უჯრედის ფორმირებადი ბირთვის გარსის ნანილები.

გალითად, განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის – ზიგოტის ერთიმეორის მიყოლებით მიმდინარე მიტოზურ გაყოფათა (ე. ნ. **დანაწევრების**) შედეგად წარმოქმნილი ბლასტომერები ზრდას ვერ ასწრებს და მათი ზომები უჯრედების რიცხვის მატებასთან ერთად მცირდება.

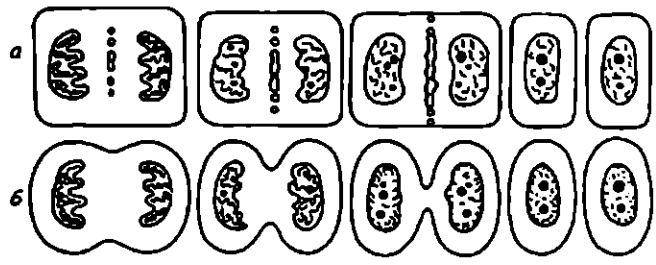
ინტერფაზას სამ პერიოდად ყოფენ. ესენია **პრესინთეზური ანუ პოსტმიტოზური პერიოდი (G_1 ფაზა), დნმ-ს სინთეზის პერიოდი (S ფაზა)** და **პოსტსინთეზური ანუ პრემიტოზური პერიოდი (G_2 ფაზა).**

G_1 ფაზა მოიცავს დროის პერიოდს უჯრედის გაყოფის დამთავრებიდან დნმ-ს რეპლიკაციის დაწყებამდე. ამ პერიოდში მიმდინარეობს უჯრედის მომდევნო გაყოფისათვის აუცილებელი ენერგიის დაგროვება; გროვდება, აგრეთვე, დნმ-ს რეპლიკაციისათვის, ქრომოსომების ცილოვანი კომპონენტების, უჯრედის ცენტრის გაორმაგებისათვის და გაყოფის თითისტარას ცილების სინთეზისათვის აუცილებელი ნივთიერებები. ამ ფაზაშივე ხდება დნმ-ს სინთეზისათვის საჭირო ზოგიერთი ფერმენტის სინთეზი და მიმდინარეობს ზემოთ აღნიშნული ცილების სინთეზისათვის აუცილებელი ი-რნმ-ს სინთეზი.

S ფაზაში მიმდინარეობს დნმ-ს რეპლიკაცია. ეს პროცესი კომპლემენტურობის პრინციპის შესაბამისია და რეპლიკაციის შედეგად მიღებულ დნმ-ს ყოველ მოლეკულაში ერთი სპირალი დედისეულია, მეორე კი – ახლად სინთეზირებულია.

G_2 ფაზაში ძირითადად მიტოზის ნორმალური მსელელობისათვის საჭირო ენერგიის დაგროვება და გაყოფის თითისტარას და უჯრედის ცენტრის გაორმაგებისათვის საჭირო ცილების სინთეზი მიმდინარეობს.

ზრდასრული ორგანიზმის უჯრედებში ინტერფაზის ხანგრძლიეობა 10-დან 30 საათამდეა, ზოგიერთ შემთხვევაში კი უფრო ხანგრძლივიცაა. როგორც ნესი, მიტოზის ხანგრძლივობა ინტერფაზასთან შედარებით



სურ. 4.38. მცენარეული (ა) და ცხოველური (ბ) უჯრედის ციტოკინეზის სქემა.

დაახლოებით 10-ჯერ უფრო ნაკლებია.

უჯრედული ანუ მიტოზური ციკლი გრაფიკულად შეიძლება გამოვსახოთ წრის სახით, რომელზედაც დროის ხანგრძლივობის პროპორციულად გადაზომილია უჯრედული ციკლის ფაზები *(სურ. 4.36)*.

მიტოზის ფაზებია: **პროფაზა, პრომეტაფაზა, მეტაფაზა, ანაფაზა და ტელოფაზა** *(სურ. 4.37)*.

პროფაზის დასაწყისისათვის ბირთვის ზომები უკვე მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი და მასში შეიმჩნევა ქრომოსომების წვრილი სპირალიზებული ძაფები, რომლებიც ბირთვში თანაბრადაა გაბნეული. პროფაზის საწყის ეტაპზე ყოველი ქრომოსომა წარმოდგენილია ორი ერთმანეთის გარშემო სპირალურად დახვეული ძაფით. მათ **ქრომატიდები** ეწოდება. ქრომოსომების ასეთი აგებულება განპირობებულია ინტერფაზაში დნმ-სა და ქრომოსომული ცილების რეპროდუქციით. ამ პერიოდში ქრომოსომებში შესამჩნევია ცენტრომერები მომრგვალო ნათელი ზონის სახით. პროფაზაში მიმდინარე პროცესებია:

- ქრომოსომების დამოკლება და გამსხვილება; ამასთან ერთად ხდება ქრომატიდების განცალკევება და ურთიერთპარალელურად განლაგება. ცენტრომერული უბანი ნაჭდევის სახეს იღებს, მას **ცენტრომერული,** ანუ **პირველადი ნაჭდევი** ეწოდება. ქრომატიდები ცენტრომერულ უბანში ერთმანეთთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული *(სურ. 4.37)*.
- გაორმაგებული ცენტრიოლების ურთიერთდაცილება და მათ მიერ უჯრედის პოლუსების ფორმირება.
- ცენტრიოლებს შორის გაყოფის თითისტარას ცენტრალური ანუ პირველადი ძაფების სისტემის განვითარება. გაყოფის თითისტარას საფუძველს მიკრომილაკები წარმოადგენს.
- ბირთვაკის/ების ზომების შემცირება და გაქრობა.

პრომეტაფაზა. პროფაზის დამთავრებისა და მეტაფაზის საწყისი ეტაპის – პრომეტსფაზის დასაწყისად ის პერიოდი ითვლება, როდესაც ბირთვის გარსი დაშლას იწყებს და წვრილი ბუშტუკებისა და ცისტერნების სახით განიბნევა ციტოპლაზმაში. უჯრედის ცენტრალური უბანის ჰიალოპლაზმის სიბლანტე მცირდება და მაქსიმალურად დამოკლებული და გამკვრივებული ქრომოსომები ერთი შეხედვით უწესრიგოდ გადაადგილდება გაყოფის თითისტარას ეკვატორული სიბრტყისაკენ.

მეტაფაზა. საკუთრივ მეტაფაზის დასაწყისად ითელება ის მომენტი, როდესაც ქრომოსომები მიაღწევს თითისტარას ეკვატორულ უბანს და იქ ისე განლაგდება, რომ მათი ცენტრომერული უბნები ზუსტად ერთ სიბრტყეში მდებარეობს. მეტაფაზაში გაყოფის თითისტარა სრული განვითარების სტადიას აღწევს. ცენტრალური ანუ პირველადი ძაფების გარდა, რომლებიც პოლუსებს ერთმანეთთან აკავშირებს, ვითარდება ქრომოსომული თითისტარაც, რომელიც ქრომოსომების ცენტრომერულ უბნებს პოლუსებთან აკავშირებს.

ანაფაზა. მეტაფაზის საბოლოო ეტაპად შეიძლება ის მომენტი ჩაითვალოს, როდესაც ადგილი აქვს ყოველი ქრომოსომის ცენტრომერების გაყოფას. ყოველ ქრომოსომაში შვილეული ცენტრომერები, შემდგომ ქრომატიდებიც ერთმანეთს სცილდება და პოლუსებისაკენ იწყებს მოძრაობას. ეს მომენტი არის ანაფაზის დასაწყისი და ქრომატიდებსაც უკვე შვილეული ქრომოსომები ეწოდება. ყოველი გაორმაგებული ქრომოსომის ერთი შვილეული ქრომოსომა ერთი პოლუსისაკენ გადაადგილდება, მეორე – მეორე პოლუსისაკენ. ქრომოსომების გადაადგილება გაყოფის თითისტარას ქრომოსომებთან დაკავშირებული ძაფების დამოკლების შედეგად ხორციელდება.

ტელოფაზა იწყება შვილეული ქრომოსომების პოლუსებისაკენ მიგრაციის დამთავრებისთანავე. ამ ფაზაში მიმდინარე პროცესები ინტერფაზული ბირთვის სტრუქტურის აღდგენას უზრუნველყოფს.

მიტოზის ფაზების ხანგრძლივობაა: პროფაზისა – 20-35 წუთი, მეტაფაზისა – 6-15 წუთი, ანაფაზისა – 8-14 წუთი, ტელოფაზისა – 9-26 წუთი.

უმეტეს შემთხვევაში ბირთვის გაყოფას ანუ კარიოკინეზს თან სდევს ციტოპლაზმის გაყოფაც – ციტოკინეზი. საბოლოო ჯამში დედისეული უჯრედიდან მიიღება ორი შვილეული უჯრედი. ცნობილია ციტოკინეზის ორი ძირითადი ფორმა: ერთი დამახასიათებელია ცხოველური, მეორე – მცენარეული უჯრედისათვის *(სურ. 4.38)*. ციტოკინეზი ტელოფაზაშივე, იშვიათად ანაფაზის ბოლოს იწყება. ცხოველურ უჯრედში ეკვატორული სიბრტყის უბანში, თითისტარას ღერძის პერპენდიკულარულად ჩნდება უჯრედის ზედაპირის რკალური ჩაზნექილობა, რომელიც უჯრედის გარშემო წარმოქმნილ არხს წააგავს. ჩაზნექილობა თანდათან ღრმავდება და საბოლოო ჯამში უჯრედი ორად იყოფა. მცენარეულ უჯრედში კი თითისტარას ცენტრალურ ნაწილში წარმოიქმნება ფიგურა, რომელიც ურთიერთპარალელურად ლოკალიზებული უწვრილესი ძაფების გროვებს წარმოადგენს; მათზე მკვრივი გრანულებია განლაგებული. ეს ე. ნ. **ფრაგმობლასტია,** ის თანდათანობით იზრდება, გრანულები ერთმანეთს ერწყმის, წარმოიქმნება თხელი ფირფიტები, რომლებიც მემბრანის მსგავსი აგებულებისაა და საბოლოო ჯამში უჯრედი ორ შვილეულ უჯრედად იყოფა.

ცხრილი 4.6
პროკარიოტული და ეუკარიოტული უჯრედების შედარება

დამახასიათებელი ნიშანი	პროკარიოტები	ეუკარიოტები
ორგანიზმები	არქებაქტერიები, ეუბაქტერიები	პროტოკტისტები,სოკოები, მცენარეები, ცხოველები
სხეული	ერთუჯრედიანი, ან ძაფნაირი	ერთუჯრედიანი, კოლონიური, ან მრავალუჯრედიანი
უჯრედების ზომები	0,5 — 10 მკმ	საშუალოდ 10 — 100 მკმ (არსებობს გიგანტური უჯრედებიც)
ბირთვი	არა აქვთ, მემკვიდრეობითი მასალა ციტოპლაზმაში თავისუფლად დაცურავს	ორმაგი მემბრანითა და პერინუკლეური სივრცით გარემოცული ბირთვი
უჯრედის ჩონჩხი	აქვს	აქვს
ორგანოიდები	რიბოსომები, მცირე რაოდენობის უჯრედშიგა მემბრანები მხოლოდ სუნთქვასა და ფოტოსინთეზის პროცესებთანაა დაკავშირებული	აქვს რთული, სპეციალიზებული ორგანოიდები: რიბოსომები, ენდოპლაზმური ბადე, გოლჯის კომპლექსი, მიტოქონდრიები, პლასტიდები და ა. შ.
რიბოსომები	70S	80S
უჯრედის კედელი	აქვს; ხისტია და მისი ძირითადი კომპონენტია მურეინი.	აქვს მცენარეებსა და სოკოებს; მცენარეებში მისი ძირითადი კომპონენტია ცელულოზა, სოკოებში — ქიტინი. ცხოველთა უჯრედებს კედელი არ აქვს.
გენეტიკური მასალა — დნმ	წყვილჯაჭვიანი დნმ-ის ნრიული მოლეკულაა; მოთავსებულია უშუალოდ ციტოპლაზმაში ნუკლეოიდის სახით	დნმ-ის ნრფიეი მოლეკულები დაკავშირებულია ცილებთან და ქრომოსომებადაა ორგანიზებული; ლოკალიზებულია ბირთვში და ციტოპლაზმისგან ბირთვის გარსითაა გამოყოფილი
რნმ—ს სინთეზი და მომწიფება	მარტივია, მიმდინარეობს ციტოპლაზმაში	რთულია, მიმდინარეობს ბირთვში
ცილების სინთეზი და პროცესინგი	მარტივი, დაკავშირებულია რნმ-ს სინთეზთან	რთული, მიმდინარეობს ციტოპლაზმასა და მარცვლოვანი ენდოპლაზმური ბადის სილრუეებში
ნივთიერებათა ცვლა	ანაერობული, ან აერობული	უპირატესად აეროპული
ენდოციტოზი და ეკზოციტოზი	არ ახასიათებს	ახასიათებს სხვადასხვა ფორმები
გაყოფა	მარტივი — ბინარული	მიტოზი და სასქესო უჯრედების მომწიფებისას — მეიოზი

ცხრილი 4.7
მცენარეების, ცხოველებისა და სოკოების უჯრედების აგებულების შედარება

სტრუქტურა	აგებულება და ფუნქცია	მცენარეები	ცხოველები	სოკოები
ბირთვი	შედგება ბირთვის გარსის, ქარიოპლაზმის, ქრომატინისა და ბირთვაკებისაგან. შეიცავს მემკვიდრეობით მასალას. სხვადასხვა სახის რნმ-ს სინთეზი.	აქვს (ძირითადად ერთი)	აქვს (ძირითადად ერთი)	აქვს (ერთი ან მრავალი)
ქრომოსომები	ბირთვის გაყოფის პროცესში კარგად ღებვადი სტრუქტურები. შეიცავს მემკვიდრეობით მასალას – დნმ-ს. მონაწილეობს მემკვიდრეობითი ინფორმაციის თანაბრად განაწილებაში შვილეულ უჯრედებს შორის.	აქვს	აქვს	აქვს
რიბოსომები	შედგება ორი სუბერთეულისაგან. მონაწილეობს ცილის სინთეზში.	აქვს	აქვს	აქვს
ენდოპლაზმური ბადე	მემბრანით შემოსაზღერული არხებისა და ტომსიკების სისტემა. მონაწილეობს ცილებისა და ლიპიდების სინთეზსა და ტრანსპორტირებაში.	აქვს	აქვს	აქვს
გოლჯის კომპლექსი	მემბრანით შემოსაზღვრული ბრტყელი ტომსიკებისა და ბუშტუკების სისტემა. ანარმოებს რთული ცილებისა და პოლისაქარიდების სინთეზს, დაგროვებასა და სეკრეციას.	აქვს	აქვს	აქვს
ცენტრიოლები	მიკრომილაკებისაგან შემდგარი ცრუიანი ცილინდრის ფორმის ორი სხეულაკი. უჯრედის გაყოფის პროცესში მონაწილეობს პოლუსებისა და გაყოფის თითისტარას ფორმირებაში.	არ აქვს	აქვს	არ აქვს
მიტოქონდრიები	ორი მემბრანით შემოსაზღვრული სხვადასხვა ზომის ორგანოიდი. შიდა მემბრანას აქვს ნაოჭები – კრისტები. მონაწილეობს უჯრედში ენერგიის გარდაქმნასა და ატფ-ს სინთეზის პროცესებში.	აქვს	აქვს	აქვს
ქლოროპლასტები	ორი მემბრანით შემოსაზღვრული დისკოს ფორმის ორგანოიდი, შეიცავს ტილაკოიდებსა და გრანებს, რომლებშიც ქლოროფილია ლოკალიზებული. მიმდინარეობს ფოტოსინთეზი.	აქვს	არ აქვს	არ აქვს
ლეიკოპლასტები	უფერო პლასტიდებია. სახამებლის დამარაგების ადგილია	აქვს	არ აქვს	არ აქვს
ქრომოპლასტები	ფერადი პლასტიდებია. ყვავილების, ნაყოფების შეფერილობა ქრომოპლასტებითაა განპირობებული.	აქვს	არ აქვს	არ აქვს
ლიზოსომები	მემბრანით გარემოცული მცირე ზომის ბუშტუკია, შეიცავს ორგანულ ნივთიერებათა დამშლელ ფერმენტებს, მათი მეშვეობით ინელებს გაერმოდან უჯრედში მოხვედრილ ნანილაკებსა და უჯრედის დაზიანებულ სტრუქტურებს.	აქვს	აქვს	აქვს
სეგრესომები	ვაკუოლის მსგავსი ბუშტუკია. ზღუდავს უჯრედში ჰიდროფობური ნივთიერებების შეღნევას.	არ აქვს	არ აქვს	აქვს
ქიტოსომები	ორგანოიდია, რომელიც შეიცავს ქიტინის სინთეზისათვის აუცილებელ ფერმენტს ქიტინოსინთეტაზას.	არ აქვს	არ აქვს	აქვს
ვაკუოლები	მემბრანით შემოსაზღვრული ბუშტუკია, შეიცავს უჯრედის ნვენს და სამარაგო ნივთიერებებს.	აქვს	აქვს	აქვს
უჯრედის კედელი	პლაზმური მემბრანის ზედაპირზე ლოკალიზებული მკვრივი დამცველი გარსი.	აქვს	არ აქვს	აქვს
ციტოჩონჩხი	შედგება სხვადასხვა დიამეტრისა და სიგრძის ფიბრილებისაგან. განსაზღვრავს უჯრედის ფორმას.	აქვს	აქვს	აქვს
მოძრაობის ორგანოიდები	ნამნამები, შოლტები და სხვ. განაპირობებს უჯრედის გარემოშო გადაადგილრბას.	აქვს	აქვს	აქვს
სამარაგო ნახშირწყლები		სახამებელი	გლიკოგენი	გლიკოგენი

4.5. სიცოცხლის არაუჯრედული ფორმები – ვირუსები

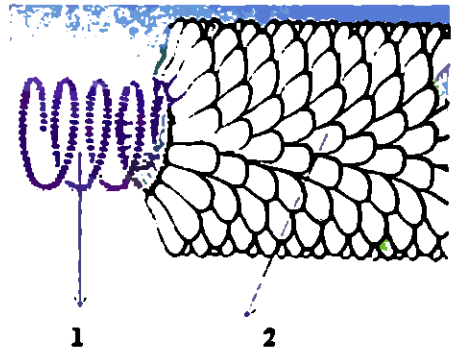
ვირუსი (ლათ. virus – შხამი) მიკროსკოპული ნანილაკია, რომელიც შედგება ცილოვანი გარსით – **კაპსიდით** გარემოცული ნუკლეინის მჟავების (დნმ, რნმ) ერთი ან რამდენიმე მოლეკულისაგან. ყოველი სახის ვირუსი ნუკლეინის მჟავების მხოლოდ ერთ ტიპს, ან რნმ-ს, ანდა დნმ-ს შეიცავს.

ვირუსები სიცოცხლის არაუჯრედოვანი ფორმებია. ისინი ობლიგატური პარაზიტებია, ანუ ისეთი პარაზიტებია, რომლებსაც ფუნქციონირება და გამრავლება, ანუ სიცოცხლისათვის დამახასიათებელი ნიშანთვისებების გამოვლენა მხოლოდ ერთ – ან მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედებში არსებობისას შეუძლია. ვირუსების მნიშვნელოვანი ნაწილი ცოცხალ უჯრედში მოხვედრისას იწვევს უჯრედში მიმდინარე ცხოველქმედების ნორმალური პროცესების მოშლას, ხშირ შემთხვევაში კი – უჯრედის დაღუპვასა და ორგანიზმის დაავადებას.

ვირუსული ნანილაკი, რომელსაც **ვირიონი** ეწოდება, წარმოადგენს ცილოვან კაპსულას – კაპსიდს, რომელიც ვირუსის გენომს შეიცავს. ვირუსის გენომი წარმოდგენილია დნმ-ს ან რნმ-ს ერთი ან რამდენიმე მოლეკულისაგან. დნმ-სა და რნმ-ს მოლეკულების ფორმები მეტად მრავალფეროვანია: არსებობს ვირუსები, რომლებიც შეიცავს წრიული ან ხაზობრივი ფორმის ორმაგსპირალიან დნმ-ს, ერთჯაჭვიან ან ორჯაჭვიან რნმ-ს; ერთჯაჭვიან რნმ-ს ორ მოლეკულას და ა. შ. კაპსიდი აგებულია ცილოვანი კომპლექსებისაგან – **კაპსომერებისაგან**. ნუკლეინის მჟავასა და ცილების კომპლექსს **ნუკლეოკაპსიდი** ეწოდება. ზოგიერთ ვირუსს ლიპიდებისაგან შემდგარი გარე გარსიც აქვს. ეს გარსი მასპინძელი უჯრედის პლაზმური მემბრანის ნანილია, რომელიც ვირიონმა უჯრედიდან გამოსვლისას მიიტაცა.

სხვადასხვა სახის ვირუსების ზომები 20 ნმ-დან 500 ნმ-მდე მერყეობს. არსებობს ისეთი ვირუსებიც, რომელთა ზომები 3000 ნმ-მდეც კი აღწევს. ვირიონებს ხშირად ცილინდრის, იკოსაედრის ან სხვა ფორმა აქვს.





სურ. 4.39. თამბაქოს მოზაიკური დაავადების გამომწვევი ვირუსის მიკროფოტო და მისი სქემატური გამოსახულება.
1 – სპირალურად დახვეული რნმ, 2 - კაპსიდის შემადგენელი ცილები

ვირუსების აგებულების შესწავლა მხოლოდ ელექტრონული მიკროსკოპით არის შესაძლებელი. *სურათზე 4.39* მოყვანილია თამბაქოს მოზაიკური დაავადების გამომწვევი ვირუსის მიკროფოტო და მისი სქემატური გამოსახულება. ამ ვირუსის ნანილაკს ღრუიანი ცილინდრის ფორმა აქვს. ცილინდრის კედელი აგებულია კაპსომერებისაგან, სიღრუეში კი ვირუსის გენომი – სპირალურად დახვეული რნმ-ია განლაგებული. თამბაქოს მოზაიკური ვირუსი თამბაქოს ფოთლის უჯრედებში მოხვედრისას ქლოროპლასტების დაშლას და ფოთლის უჯრედების შეჭმუხვნას იწვევს **(იხ. გვ.131)**.

ადამიანისა და ცხოველების ინფექციის გამომწვევი ვირუსების დიდი ნანილის კაპსიდი იკოსაედრის ფორმისაა. იკოსაედრი ოცნახნაგა მრავალკუთხედია, რომლის ნახნაგები ტოლგვერდა სამკუთხედებია. სფერული ფორმისაა ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსი (*სურ. 4.40.*), რომელსაც კაფსიდის გარდა გარსიც აქვს.

ვირუსების ერთ-ერთ ფორმას **ბაქტერიოფაგები** (ხშირად მათ **ფაგები** ეწოდება) წარმოადგენს. ისინი ბაქტერიების უჯრედებს აზიანებს. ფაგები ბაქტერიის უჯრედებში მრავლდება და ამ უჯრედების დაშლას – ლიზისს იწვევს **(იხ. გვ.130)**. ნანლავის ჩხირის (E. coli) ბაქტერიოფაგი შედგება: ა) იკოსაედრის ფორმის თავისაგან, სადაც გენეტიკური მასალა – დნმ არის ლოკალიზებული, ბ) კუმშვადი ცილებისაგან წარმოქმნილი შალითით გარემოცული ღრუ ცილინდრის ფორმის კუდისაგან, რომელიც ექვსკუთხა ფირფიტით ბოლოვდება, გ) 6 მოკლე და 6 გრძელი ძაფისაგან (*სურ. 4.41*). ასეთი კონსტრუქცია უზრუნველყოფს ფაგის გენეტიკური მასალის ბაქტერიის უჯრედში შეშხაპუნებას.

ვირუსებით უჯრედის ინფიცირების პროცესი რამდენიმე ეტაპს მოიცავს:

1. უჯრედის მემბრანასთან ვირიონის დაკავშირება.

2. უჯრედში შეღნევა. უმეტეს შემთხვაში უჯრედში ვირიონის გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი მოლეკულა აღნევს. ზოგიერთ ვირუსს კი უჯრედში საკუთარი ცილებიც გადააქვს. განსხვავებულია უჯრედში შეღნევის სტრატეგიებიც. მაგალითად, ზოგიერთი სახის ვირუსი თავის რნმ-ს უშხაპუნებს მასპინძლის უჯრედს, ზოგი ვირუსი კი თვით მასპინძლის უჯრედს ენდოციტოზის გზით გადააქვს საკუთარ ციტოპლაზმაში. აქ ლიზოსომების გავლენით ვირიონის დეპროტეინიზაცია ხდება, რის შემდეგაც ვირუსის რნმ და ცილები ლიზოსომიდან ციტოზოლში გადადის.



სურ. 4.40 ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსი.
1 – ტრანსმემბრანული გლიკოპროტეინი, 2 – გლიკოპროტეინი, 3 – ლიპიდური მემბრანე, 4 – კაპსიდი, 5 – რნმ, 6 – მატრიქსი, 7 – ფერმენტი ტრანსკრიპტაზა.

3. უჯრედის გადაპროგრამირება. ინფიცირებისას უჯრედში აქტივდება ვირუსისაგან დაცვის მექანიზმები. უჯრედი იწყებს სპეციალური ნივთიერებების – **ინტერფერონების** გამომუშავებას, რაც მეზობელ ჯანმრთელ უჯრედებს ვირუსებისაგან იცავს. უჯრედში ვირუსების გამრავლების შემთხვევაში კი ხდება უჯრედის პროგრამირებული სიკვდილის – **აპოპტოზის** მექანიზმების ჩართვა. მაგრამ, აღსანიშნავია, რომ მრავალი სახის ვირუსმა შეიძინა ვირუსის სანინააღმდეგო დაცვის დათრგუნვის უნარი. კერძოდ, ვირუსი თრგუნავს უჯრედისათვის აუცილებელი ცილების სინთეზს, თვით ვირუსის ცილების სინთეზი კი თავისუფლად მიმდინარეობს, ანუ ადგილი აქვს ვირიონების გამრავლებას.

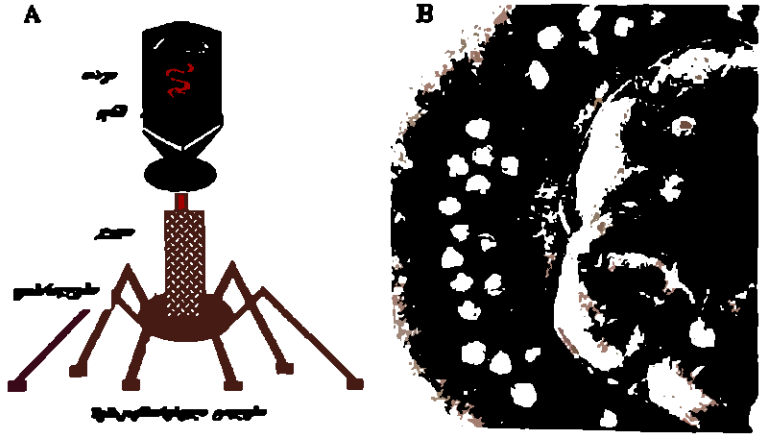
ვირუსების გამრავლება ზოგადად სამ ძირითად პროცესს მოიცავს: ა) ვირუსული ნუკლეინის მჟავას რეპლიკაცია, ბ) ვირუსული ცილების სინთეზი და გ) ვირიონების აწყობა და უჯრედიდან გამოსვლა. ახლადსინთეზირებული ვირუსული ნუკლეინის მჟავა იმოსება შესაბამისი ცილებით და მასპინძლის უჯრედს ტოვებს.

თუ გამრავლებული ვირიონები ერთდროულად ტოვებს უჯრედს, მაშინ ეს უკანასკნელი იხლიჩება და კვდება; გამოთავისუფლებული ვირიონები კი სხვა უჯრედების ინფიცირებას იწყებს. ასე ვითარდება ე. წ. **ლიზისური ტიპის** ინფექცია.

ვირუსული ინფექციის მეორე ტიპია ე. წ. **მდგრადი, ანუ პერსისტენტული ინფექცია**. ამ შემთხვევაში ახლად წარმოქმნილი ვირუსები თანდათანობით ტოვებენ მასპინძელ უჯრედს, თვით უჯრედი განაგრძობს არსებობას, გაყოფას, ვირუსები კი – გამრავლებას.

ინფექციის კიდევ ერთი ტიპია **ფარული** ანუ **ლატენტური ინფექცია**. ამ შემთხვევაში ხდება ვირუსის გენეტიკური მასალის უჯრედის ქრომოსომებში ჩაშენება (ინტეგრაცია) და უჯრედის გაყოფის შემდეგ ვირუსის დნმ შვილეულ უჯრედებს გადაეცემა. გარკვეულ პირობებში ლატენტური ვირუსი აქტივდება, მრავლდება, ვირიონები ტოვებს უჯრედს და შემდგომ ინფექცია ან ლიზისური, ანდა პერსისტენტული ტიპით ვითარდება.

ვირუსები მცენარეების, ცხოველებისა და ადამიანის მრავალი ინფექციური დაავადების გამომწვევია. ცნობილია, რომ ბაქტერიებით გამოწვეულ ერთ ინფექციაზე დაახლოებით 200 ვირუსული ინფექცია მოდის.



სურ. 4.41. ბაქტერიოფაგის აგებულების სქემა () და ბაქტერიის უჯრედის გარსზე მიმაგრებული ფაგები ()

ვირუსებითაა გამოწვეული ადამიანის ისეთი საშიში დაავადებები, როგორებიცაა შეძენილი იმუნოდეფიციტის სინდრომი (შიდსი), ზოგიერთი ონკოგენური დაავადება, ცოფი, პოლიომიელიტი და სხვ. ზოგიერთი ვირუსული ეპიდემია შეიძლება მთელ მსოფლიოში გავრცელდეს. ცნობილია ყვავილის, პოლიომიელიტის, გრიპის პანდემიები.

ცხოველების ვირუსული დაავადებებია ცოფი, თურქული, ძაღლის ჭირი, მსხვილფეხა რქოსანი საქონლის ლეიკოზები და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ ბაქტე-

რიოფაგები ანტიბიოტიკებთან ერთად გამოიყენება ბაქტერიული ინფექციების სამკურნალოდ.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ვირუსების ცვალებადობის დიდი უნარი. მაგალითად, თამბაქოს მოზაიკური დაავადების ვირუსის სამოცამდე სახესხვაობაა ცნობილი, გრიპის გამომწვევი ვირუსები გაერთიანებულია A, B და C ტიპებში, თითოეულ ტიპში კი მრავალი სახესხვაობაა ცნობილი. გენეტიკური ცვალებადობის დიდი უნარით ხასიათდება ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსი. ამიტომაა ძალზე გაძნელებული ამ ვირუსის საწინააღმდეგო ეაკცინის შექმნა.

ვირუსოლოგიასა და მოლეკულურ ბიოლოგიაში მნიშვნელოვანი მოვლენა იყო **შებრუნებული ტრანსკრიპციის (უკუტრანსკრიპციის)** მოვლენისა და მისი სპეციალური ფერმენტის აღმოჩენა. ეს მოვლენა მხოლოდ რნმ-ს შემცველი ვირუსებისთვისაა დამახასიათებელი. ჩვეულებრივ გენეტიკური ინფორმაცია შემდეგნაირად გადაიცემა დნმ → ი-რნმ → ცილა. რნმ-ს შემცველი ვირუსების შესწავლისას დადგინდა, რომ გენეტიკურ ინფორმაციის გადაცემა სხვა გზითაც არის შესაძლებელი: რნმ → დნმ → ი-რნმ → ცილა. როგორც ამ სქემიდან ჩანს, ჯერ ხდება დნმ-ს სინთეზი, სადაც მატრიცის როლს ვირუსული რნმ ასრულებს. სინთეზირებული დნმ შეიძლება ჩაშენდეს მასპინძელი უჯრედის ქრომოსომაში და უჯრედის გაყოფის შედეგად თაობიდან თაობას გადაეცეს. ასე ხდება გენეტიკური ინფორმაციის გადაცემა ზოგიერთი ავთვისებიანი სიმსივნის რნმ-ს შემცველ ვირუსებში და ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსით ინფექციის შემთხვევაში.

4.6. ქსოვილები

მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების მსგავსი აგებულებისა და ფუნქციების მქონე უჯრედების და უჯრედთაშორისი ნივთიერების ერთიან სისტემას **ქსოვილი** ეწოდება. ურთიერთდაკავშირებული სხვადასხვა ქსოვილისაგან ორგანოებია წარმოქმნილი.

ცხოველების ქსოვილებისა და ორგანოების მიკროსკოპულ შენებას და განვითარებას **ჰისტოლოგია** შეისწავლის. ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნის დასაწყისში მეცნიერებმა შეიმუშავეს ცხოველთა ქსოვილების კლასიფიკაცია, რომელიც ქსოვილის მიკროსკოპული შესწავლის მონაცემებს ემყარებოდა. განასხვავებდნენ ქსოვილების 4 ტიპს: ეპითელურს, შემაერთებელს სისხლთან ერთად, კუნთოვანსა და ნერვულს. დღეისათვის ცხოველებისა და ადამიანის ორგანიზმის ქსოვილების 5 ჯგუფს გამოყოფენ. ესენია: **ეპითელური ქსოვილები, სისხლი და ლიმფა, შემაერთებელი ქსოვილები, კუნთოვანი ქსოვილები და ნერვული ქსოვილი**.

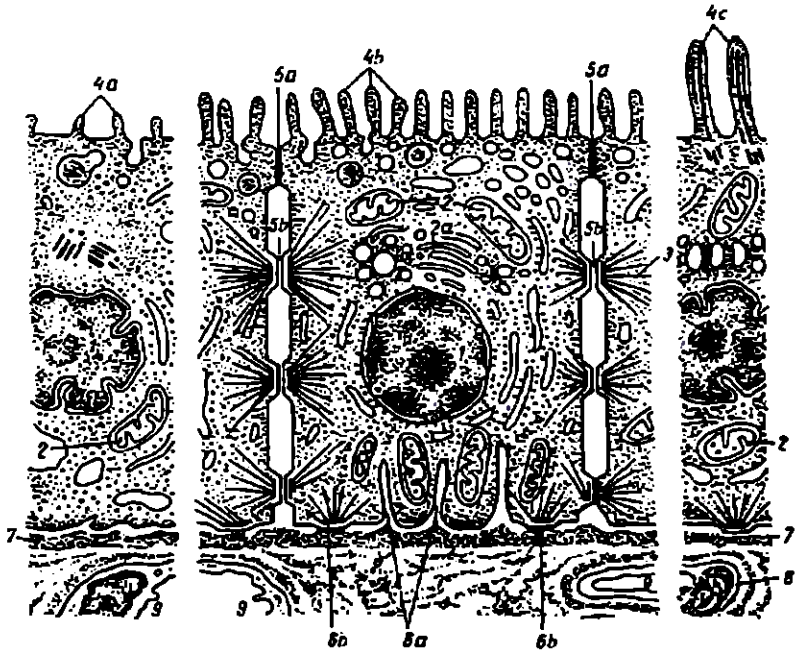
მცენარეთა სამეფოში ქსოვილები ყველაზე უფრო სრულყოფილად ფარულთესლოვანებშია განვითარებული. ყვავილოვანი მცენარეების ქსოვილებია: **ნარმომშობი (მერისტემა), მფარავი, მექანიკური, გამტარი, ძირითადი და სეკრეტორული.**

4.6.1. ცხოველებისა და ადამიანის ქსოვილები

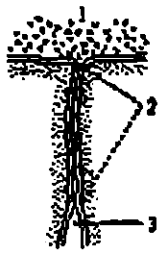
ეპითელური ქსოვილები

ეპითელური ქსოვილი ანუ **ეპითელიუმი** ფარავს სხეულის ზედაპირს, სეროზულ გარსებს, ამოფენს შინაგან ორგანოთა (კუჭის, ნაწლავების, შარდის ბუშტის და სხვ.) კედლის შიგა ზედაპირს. ეპითელური ქსოვილი ქმნის ჯირკვლების უმეტესობას.

ეპითელიუმი მოსაზღვრე ქსოვილია. ამიტომ ქეშმდებარე ქსოვილების ქიმიური, მექანიკური, სითბური და სხვა სახის მავნე ზემოქმედებისაგან დაცვასთან ერთად, სატრნსპორტო ფუნქციასაც ასრულებს. ეპითელური უჯრედების საშუალებით მიმდინარეობს ნივთიერებათა ცვლა ორგანიზმსა და გარემოს შორის. მაგალითად, ნაწლავის ეპითელიუმის უჯრედების მიერ ხდება საკვები ნივთიერებების (მონოსაქარიდების, ამინომჟავების, ცხიმოვანი მჟავების, წყლის, მინერალური მარილების და ა.შ.)



სურ. 4.42. ეპითელური უჯრედის აგებულების სქემა.
1 – ბირთვი, 2 – მიტოქონდრია, 2 – გოლჯის კომპლექსი, 3 – ტონოფიბრილები, 4 – მიკროხაოები, 4 – შემნოვი ყაითანი, 4ჩ – ნაწნავები, 5 – მჭიდრო კონტაქტი, 5 – დესმოსომები, 6 – ციტოპლაზმის ინვაგინაცია, 6 – ნახევრადდესმოსომა, 7 – ბაზალური მემბრანა, 8 – შემაერთებელიქსოვილი, 9 – სისხლძარღვოვანი კაპილარი.

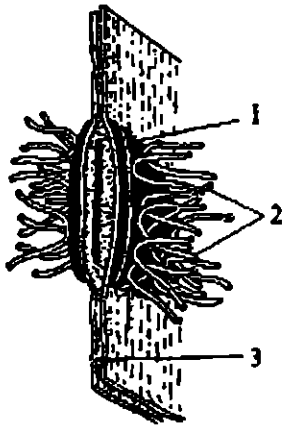


სურ. 4.43. მჭიდრო კონტაქტის სქემა
1 – სანათური,
2 – მჭიდრო კონტაქტი,
3 – უჯრედთაშორისი სივრცე

ნაწლავის სანათურიდან შეთვისება და სისხლისა და ლიმფისაკენ გადატანა; თირკმლის ეპითელიუმით გამოიყოფა შარდოვანა და ორგანიზმისათვის უვარგისი სხვა პროდუქტები; ფილტვის ეპითელიუმის უჯრედების გავლით მიმდინარეობს ფილტვის ალვეოლებში არსებულ ჰაერსა და სისხლძარღვოვან კაპილარებს შორის ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის გადატანა.

განსაკუთრებულ ფუნქციას ასრულებს ჯირკვლების შენებაში მონაწილე ეპითელიუმი. მას აქვს სპეციფიური ნივთიერებების – **სეკრეტების** წარმოქმნისა და გამოყოფის უნარი, ამიტომ ასეთი სახის ეპითელიუმს **სეკრეტორული ეპითელიუმი** ეწოდება. მათ მიერ გამომუშავებული და გამოყოფილი ნივთიერებები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ორგანიზმში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებზე. ეს საკითხი ნიგნის მომდევნო ნაწილებშია განხილული.

ეპითელიუმს, წარმოშობისა და შესასრულებელი ფუნქციების მიხედვით, სხვადასხვა მორფოლოგიური და ფიზიოლოგიური თვისებები ახასიათებს. ამასთანავე სხვადასხვა სახის ეპითელიუმს აქვს საერთო დამახასიათებელი ნიშნებიც, რომლებითაც ის სხვა ქსოვილებისაგან გამოირჩევა. კერძოდ, 1. ეპითელურ ქსოვილში უჯრედთაშორის სივრცეს ძალზე მცირე მოცულობა უკავია. 2. ეპითელური ქსოვილის უჯრედები ანუ **ეპითელიოციტები** ერთმანეთთან სხვადასხვა სახის სპეციალიზებული უჯრედშორისი კონტაქტებითაა დაკავშირებული. ასეთებია: დესმოსომები, მჭიდრო კონტაქტები, ნაპრალისებრი კონტაქტები და სხვ. 3. ეპითელიუმი განლაგებულია **ბაზალურ მემბრანაზე**, რომლის ქვეშაც წვრილი სისხლძარღვებით მდიდარი ფაშარი შემაერთებელი ქსოვილია. 4. ეპითელიუმი არ შეიცავს სისხლძარღვებს და მისი კვება ხორციელდება ბაზალური მემბრანის ქვეშ მდებარე შემაერთებელი ქსოვილის მხრიდან. 5. ეპითელიუმი პოლარობით ხასიათდება, მისი ბაზალური და აპიკალური ნაწილები სხვადასხვა აგებულებისაა. 6. ეპითელიუმი გამოირჩევა რეგენერაციის დიდი უნარით.



სურ. 4.44. ლაქასებრი დესმოსომის სქემა
1 — პლაზმურ მემბრანასთან დაკავშირებული მკვრივი მასალა,
2 — წვრილი ფილამენტები,
3 – უჯრედთაშორისი სივრცე.

ეპითელიოციტებში გამოყოფენ ორ ნაწილს: **ბაზალურს**, რომელიც ქვეშმდებარე ქსოვილებისკენაა მიმართული, და **აპიკალურს**, რომელიც ეპითელიუმის თავისუფალი ზედაპირისაკენ არის მიმართული *(სურ. 4.42)*.

ეპითელიოციტებში გარდა იმ ორგანოიდებისა, რომელიც ყველა ეუკარიოტული უჯრედისათვის არის დამახასიათებელი, წარმოდგენილია სპეციალიზებული ორგანოიდები: **მიკროხაოები, წამწამები და შოლტები** (*სურ. 4.42*).

მიკროხაოები წარმოადგენს უჯრედის აპიკალური ზედაპირის უწვრილეს თითისებრ გამონაზარდებს, რომელთა სიგრძე დაახლოებით 1 მკმ-ია. მიკროხაოები განსაკუთრებით დიდი რაოდენობითაა შეწოვის უნარის მქონე ეპითელიოციტებში (ნაწლავის, თირკმლის ეპითელიუმი). ისინი უჯრედის თავისუფალ ზედაპირზე წარმოქმნის შემწოვ ყაეთანს. მიკროხაოები მნიშვნელოვნად ადიდებს უჯრედის შემწოვ ზედაპირს.

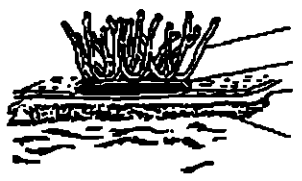
წამწამები დამახასიათებელია ე. წ. მოციმციმე უჯრედებისათვის. ამ უჯრედების აპიკალურ ზედაპირზე არსებული წამწამების მუდმივი მოძრაობის მეშვეობით წარმოიქმნება სითხის ნაკადი, რომელთან ერთად შეიძლება გადაადგილდეს სხვადასხვა ნაწილაკი და უჯრედი (იხ. პარაგრაფი 3.3.14).

ეპითელიუმის ქვედა ნაწილი ესაზღვრება თხელ, დაახლოებით 1 მკმ სისქის მქონე ფირფიტას, რომელსაც **ბაზალური მემბრანა** ეწოდება. ბაზალური მემბრანა შედგება ამორფული ძირითადი ნივთიერებისა და წვრილი ფიბრილებით მდიდარი შრეებისაგან. ბაზალური მემბრანის მეშვეობით ქვეშმდებარე შემაერთებელი ქსოვილის კაპილარებში გამავალი სისხლიდან ეპითელიოციტებს საკვები ნივთიერებები მიეწოდება, ხოლო ეპითელური უჯრედებიდან სისხლში დაშლის პროდუქტები გადადის. ბაზალური მემბრანა ხელს უშლის ორგანიზმის სიღრმეში ეპითელიუმის ჩაზრდას. ეპითელიუმში ავთვისებიანი სიმსივნის განვითარებისას ბაზალური მემბრანა იშლება, ავთვისებიანი უჯრედები ქვეშმდებარე ქსოვილებში ჩაიზრდება და მრავლდება.

ეპითელურ ქსოვილებში მეზობელი უჯრედების ლატერალურ ზედაპირებს შორის წარმოქმნილია სპეციალიზებული უჯრედთაშორისი კონტაქტები. არჩევენ ასეთი კონტაქტების სამ ძირითად ტიპს: **მჭიდრო კონტაქტებს, დესმოსომებს და ნაპრალიან კონტაქტებს**

მჭიდრო კონტაქტი წარმოქმნილია მეზობელი ეპითელიოციტების ლატერალური ზედაპირის პლაზმური მემბრანების შორის *(სურ. 4.43)*. მჭიდრო კონტაქტით უჯრედის პერიმეტრი მთლიანად არის შემოსარტყლული. კონტაქტის უბანში მეზობელი უჯრედების პლაზმურ მემბრანებს აქვთ ერთმანეთთან შერწყმული გამოშვერილობები. მჭიდრო კონტაქტების აბრკოლებს თავისუფალი ზედაპირიდან უჯრედთაშორის სივრცეში, იქიდან კი ორგანიზმში, ნივთიერებათა შეღწევას.

დესმოსომებში მეზობელი უჯრედების პლაზმური მემბრანები უჯრედთაშორის სივრცეში არსებული



სურ. 4.45. ნახევრადდესმოსომის სქემა
1 — პლაზმურ მემბრანასთან დაკავშირებული მკვრივი მასალა,
2 — ნერილი ფილამენტები,
3 – ბაზალური მემბრანა,
4 – შემაერთებელი ქსოვილი.

სპეციალური ნივთიერებებით ერთმანეთთან მტკიცედაა შენებებული. განარჩევენ **სარტყლისებრ და ლაქასებრ დესმოსომებს.** ***(სურ. 4.44).*** დესმოსომის უბანში პლაზმური მემბრანის ციტოპლაზმისაკენ მიმართული ზედაპირი გასქელებულია და მასთან დაკავშირებულია ნერილი ფილამენტები.

გარდა ზემოთ აღნერილი დესმოსომებისა, ეპითელური უჯრედების პლაზმური მემბრანის ბაზალურ მემბრანასთან მოსაზღვრე უბნებში გააჩნია **ნახევრადდესმოსომები** ***(სურ. 4.45).***

ნაპრალიანი კონტაქტების საშუალებით მეზობელ უჯრედებს შორის დამყარებულია მეტაბოლური და ელექტრული კავშირი. ნაპრალიან კონტაქტებში, მჭიდრო კონტაქტებისაგან განსხვავებით, მომიჯნავე უჯრედების პლაზმური მემბრანები ერთმანეთს არ ერნყმის. მათ შორის 2 ნმ-მდე სისქის მანძილია ***(სურ. 4.46).***



სურ. 4.46. ნაპრალიანი კონტაქტის სქემა
1 – უჯრედთაშორისი სივრცე,
2 – ნაპრალიანი კონტაქტის უბანი

უჯრედთაშორისი სპეციალიზებული კონტაქტების დიდ მნიშვნელობაზე მიუთითებს თუნდაც ის გარემოება, რომ მჭიდრო კონტაქტების არარსებობის შემთხვევაში ტოქსიკური ნივთიერებები ნაწლავის სანათურიდან ორგანიზმის შინაგან გარემოში მოხვდებოდა, დესმოსომების გარეშე კანი ადვილად დაიწელებოდა ცალკეულ ფრაგმენტებად, ხოლო ნაპრალისებრი კონტაქტების გარეშე გულის მუშაობა შეუძლებელი იქნებოდა.

განარჩევენ **ერთშრიან** და **მრავალშრიან ეპითელიუმს**. პირველ მათგანში ყველა უჯრედი ბაზალურ მემბრანაზეა განლაგებული, მეორე შემთხვევაში კი ბაზალურ მემბრანაზე მხოლოდ უჯრედთა ქვედა შრე ლაგდება.



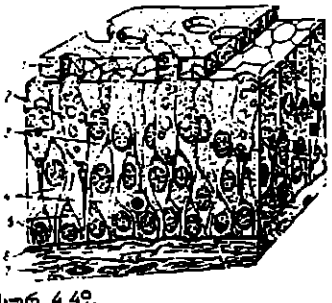
სურ. 4.47. ერთშრიანი ბრტყელი ეპითელიუმის სქემა
1 – ეპითელიოციტი.
2 – ბაზალური მემბრანა,
3 – შემაერთებელი ქსოვილი.

უჯრედების ფორმის მიხედვით არჩევენ **ბრტყელ, კუბურ და ცილინდრულ ეპითელიუმს.** მაგალითად, ერთშრიანი **ბრტყელი ეპითელიუმით** ***(სურ. 4.47)*** არის ამოფენილი პლევრის ფურცლები, გულის პერანგის და პერიტონეუმის ზედაპირები. **ერთშრიანი კუბური ეპითელიუმითაა** ამოფენილი თირკმლის მილაკების შიდა ზედაპირი, ჯირკვლების (მაგალითად, ღვიძლის და პანკრეასის) გამომტანი სადინრების განშტოებანი, ფილტვის უნვრილესი ტოტები. **ერთშრიანი ცილინდრული ეპითელიუმითაა** ***(სურ. 4.48)*** ამოფენილი კუჭის, წვრილი და მსხვილი ნაწლავების შიგა ზედაპირი, ნაღვლის ბუშტის, ღვიძლისა და პანკრეასის სადინრების, საშვილოსნოსა და კვერცხსაღვალების შიგა ზედაპირი. **ერთშრიანი მოციმციმე ეპითელიუმით** ***(სურ. 4.49)*** ამოფენილია სასუნთქი გზები და სასქესო სისტემის ზოგიერთი ნაწილი. ამ უჯრედების აპიკალური ბოლოები მრავალი მოციმციმე ნამწამითაა დაფარული.



სურ. 4.48. ერთშრიანი ცილინდრული ეპითელიუმის სქემა
1 –მიკროხაოები,
2 – ეპითელიოციტის ბირთვი,
3 – ბაზალური მემბრანა,
4 – შემაერთებელი ქსოვილი

მრავალშრიანი ეპითელიუმი შედგება უჯრედების მრავალი შრისაგან, რომელთაგან ბაზალურ მემბრანასთან მხოლოდ ყველაზე ქვედა შრეა დაკავშირებული. ეპითელიუმის მრავალშრიანი აგებულება შეესაბამება ორგანიზმში მის დამცველობით ფუნქციას. არსებობს მრავალშრიანი ეპითელიუმის სამი სახე: **ვაურქოვანებელი, გარქოვანებული და გარდამავალი.**



სურ. 4.49.
ერთშრიანი მრავალრიგიანი მოციმციმე
ეპითელიუმის სქემა
1 – მოციმციმე ნამწამები,
2 – ფიალისებრი უჯრედები,
3 – მოციმციმე უჯრედები,
4, 5 – ჩართული უჯრედები,
6 – ბაზალური მემბრანა,
7 – შემაერთებელი ქსოვილი.

მრავალშრიანი ბრტყელი გაურქოვანებელი ეპითელიუმი გარედან ფარავს თვალის რქოვანას, ამოფენს პირის ღრუსა და საყლაპავს. ხოლო **მრავალშრიანი ბრტყელი გარქოვანებული ეპითელიუმითაა** ***(სურ. 4.50)*** დაფარული კანის ზედაპირი. მისი ზედა შრის უჯრედები გარქოვანებულია. მექანიკური ზემოქმედებისა და გარემოს არახელსაყრელი ფაქტორების გავლენით გარქოვანებული უჯრედები გამუდმებით იქერცლება, მაგრამ ქვედა შრეებში განლაგებული უჯრედების სწრაფი გამრავლების ხარჯზე ხდება უჯრედების დანაკლისის შევსება.

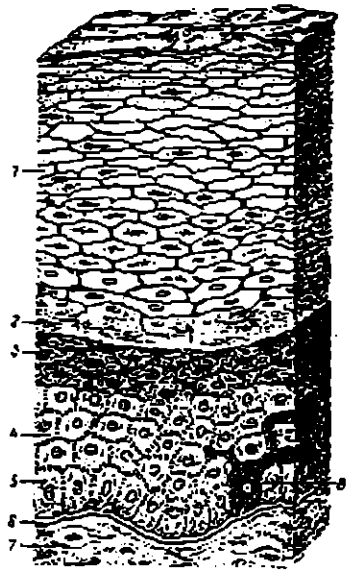
გარდამავალი ეპითელიუმითაა ამოფენილი ისეთი ორგანოები, რომელთა კედლები მნიშვნელოვნად იჭიმება (მაგალითად, შარდის ბუშტი შარდით შევსების დროს). გარდამავალი ეპითელიუმის სისქე და შენება ცვალებადია და დამოკიდებულია ორგანოს მდგომარეობაზე (გაჭიმულია თუ არა

მისი კედლები, *სურ. 4.51).*

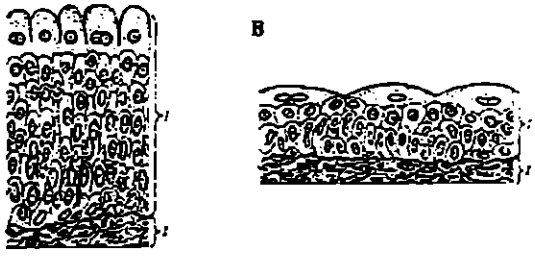
ჯირკლოვანი ეპითელიუმი. ჯირკლების უმეტესობა ჯირკლოვანი ეპითელიუმის ნარმოებულია. ჯირკვლების ნაწილი დამოუკიდებელი, ანატომიურად გაფორმებული ორგანოებია (მაგალითად, კუჭქვეშა ჯირკვალი, ფარისებრი ჯირკვალი), ზოგი ჯირკვალი კი ორგანოს ნაწილს ნარმოადგენს (მაგალითად, კუჭისა და ნაწლავების ჯირკვლები).

განარჩევენ ჯირკვლების ორ ძირითად ტიპს: **გარე და შიგა სეკრეციის ჯირკვლებს.** გარე სეკრეციის ანუ **ეკზოკრინულ** ჯირკვლებს აქვს სადინარი, რომლის მეშვეობითაც ჯირკვლოვანი უჯრედების მიერ გამომუშავებული სეკრეტები სხეულის ზედაპირზე ან შინაგანი ორგანოს ღრუში გამოიყოფა *(სურ. 4.52).* ეკზოკრინულია საჭმლის მომნელებელი ნვენების გამომმუშავებელი, საოფლე, საცრემლე, სარძევე და სხვა ჯირკვლები.

ეკზოკრინული ჯირკვლებში ორ ძირითად ეპითელურ კომპონენტს განარჩევენ. პირველი კომპონენტი შედგება სპეციალიზებული სეკრეტორული უჯრედების გროვებისაგან, რომლებიც ასინთეზებს მოცემული ჯირკვლისათვის დამახასიათებელ სეკრეტს. ეკზოკრინული ჯირკვლების მეორე კომპონენტია მილის ფორმის სადინარი, რომლის მეშვეობით სეკრეტი ჯირკვლიდან გამოიყოფა. განარჩევენ **მარტივსა და რთულ ჯირკვლებს.** მარტივ ჯირკვალს ერთი დაუტოტავი სადინარი აქვს. თუ ჯირკვალს სადინრების დატოტვილი სისტემა აქვს, მას რთული ჯირკვალი ეწოდება.



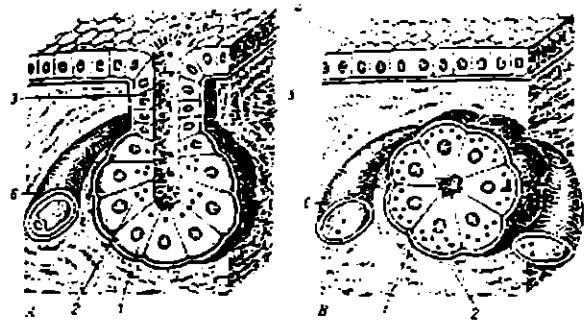
სურ. 4.50. მრავალშრიანი ბრტყელი გარქოვანებელი ეპითელიუმის სქემა
1 – გარქოვანებული შრე,
2 – პრიალა შრე,
3 – მარცვლოვანი შრე,
4 – წეტიანი უჯრედების შრე,
5 – ბაზალური შრე,
6 – ბაზალური მემბრანა,
7 – შემაერთებელი ქსოვილი.



სურ. 4.51. გარდამავალი ეპითელიუმის სქემა
A – ორგანოს კედელი არ არის გაჭიმული,
B – ორგანოს კედელი გაჭიმულია.
1 – გარდამავალიეპითელიუმი, 2 – შემაერთებელი ქსოვილი.

შიგა სეკრეციის ანუ **ენდოკრინულ** ჯირკვლებს გამომტანი სადინარი არა აქვს და მათ მიერ გამომუშავებული სეკრეტები უშუალოდ სისხლში გადადის. ამიტომაა, რომ ენდოკრინულ ჯირკვლებში სეკრეტორული უჯრედები ან კაპილარების გასნვრივაა განლაგებული, ანდა უჯრედების გროვებს გარს აკრავს კაპილარების ნსული (*სურ. 4.52).* ასეთებია: ფარისებრი, თირკმელზედა ჯირკვლები, ჰიპოფიზი და სხვ.

ენდოკრინული ჯირკვლები გამოიმუშავებს მაღალაქტიურ და სპეციფიურ ნაერთებს – **ჰორმონებს.** ჰორმონები რთული აგებულების ნივთიერებებია, რომელთა ძალზე მცირე რაოდენობაც კი ნივთიერებათა ცვლის, ორგანოთა სისტემების ფუნქციებისა და, ზოგჯერ, აგებულების სპეციფიურ ცვლილებებს იწვევს.



სურ. 4.52. ეკზოკრინული (A) და ენდოკრინული (B) ჯირკვლების სქემა
1 – გლანდულოციტი, 2 – სეკრეტორული გრანულები,
3 –სადინარი, 4 – მფარავი ეპითელიუმი,
5 – შემაერთებელი ქსოვილი, 6 – სისხლძარღვი.

ზოგიერთი ჯირკვალი ასრულებს როგორც გარე, ასევე შიგა სეკრეციის ფუნქციას, ანუ ჯირკვლის ნაწილს აქვს სპეციალური სადინარი, რომლის მეშვეობითაც ჯირკვლოვან უჯრედებში გამომუშავებული ნივთიერებები გამოიყოფა, ჯირკვლის სხვა ნაწილის მიერ გამომუშავებული ჰორმონები კი უშუალოდ სისხლში გამოიყოფა. ასეთებია, მაგალითად, კუჭქვეშა ჯირკვალი ანუ პანკრეასი და ღვიძლი. სხვადასხვა სახის ჯირკვლების აგებულება და ფუნქციები წიგნის მომდევნო ნაწილებშია განხილული.

სისხლი

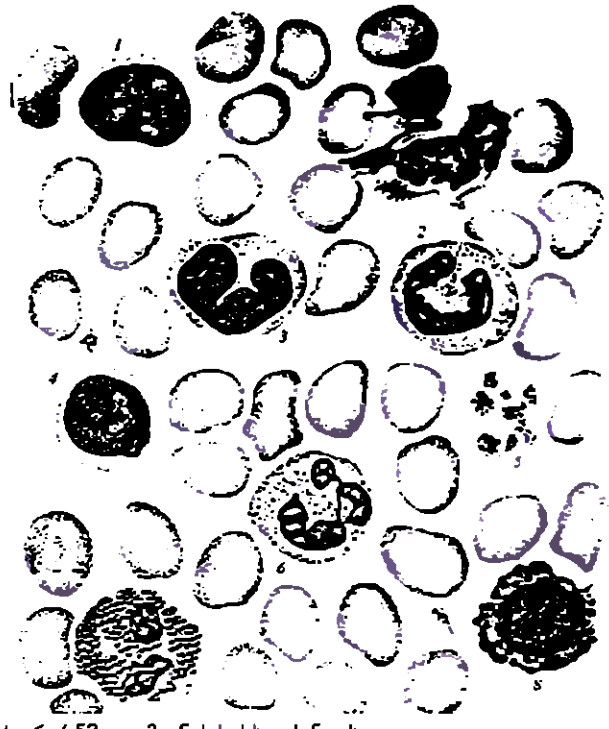
სისხლი, ლიმფასთან და ქსოვილურ სითხესთან ერთად, ორგანიზმის შინაგან გარემოს შეადგენს და

ცხოველქმედების პროცესებისათვის ოპტიმალურ პირობებს უზრუნველყოფს. სისხლი, ლიმფა და ქსოვილური სითხე ფუნქციურად ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული.

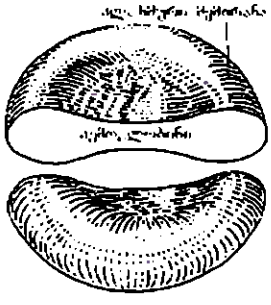
სისხლი შედგება უჯრედთაშორისი თხევადი ნივთიერებისაგან – **პლაზმისაგან** და მასში შეწონილი **ფორმიანი ელემენტებისაგან: ერითროციტების, ლეიკოციტების** და **სისხლის ფირფიტებისაგან** (*სურ. 4.53*) პლაზმას სისხლის მოცულობის 55-60% უკავია, უჯრედებს კი — 40-45%.

სისხლის ძირითადი ფუნქციებია: 1. სატრანსპორტო — საკვები ნივთიერებებისა და ჟანგბადის მიტანა სხვადასხვა ორგანოებამდე, ნახშირორჟანგის გადატანა ორგანოებიდან ფილტვებში, ნივთიერებათა ცელის შედაგად ნარმოქმნილი ორგანიზმისათვის უვარგისი და მავნე პროდუქტების მიტანა გამომყოფ ორგანოებამდე, ჰორმონების გადატანა; 2. დამცველობითი — ჰუმორული და უჯრედული იმუნიტეტის უზრუნველყოფა; 3. ჰომეოსტაზის უზრუნველყოფა.

სისხლის პლაზმა თხიერი უჯრედთაშორისი ნივთიერებაა, რომლის დაახლოებით 90% წყალია, დანარჩენი კი სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებები და მინერალური მარილებია, აგრეთვე ნიეთიერებათა ცელის საბოლოო პროდუქტები — შარდოვანა, შარდის მჟავა, კრეატინინი, ბილირუბინი და სხვა. პლაზმის 6-8% ცილებია, 0,9%-მდე მინერალური მარილები, 0,1-0,3% ნახშირწყლები, 0,8%-მდე ცხიმები და სხვ. პლაზმის ძირითადი ცილებია ალბუმინები, გლობულინები და ფიბრინოგენი. სისხლის პლაზმას აქვს სუსტი ტუტე რეაქცია (pH დაახლ. 7,36-ია).



სურ. 4.53. ადამიანის სისხლის ნაცხი.
1 – ლიმფოციტი, 2 – ჩხირბირთვიანი ნეიტროფილი, 3 – მონოციტი, 4 – მცირე ლიმფოციტი, 5 – სისხლის ფირფიტები, 6 – ნეიტროფილი, 7 – ეოზინოფილი, 8 – ბაზოფილი.



სურ. 4.54. შუაზე გადაჭრილი ერითროციტის სქემა.

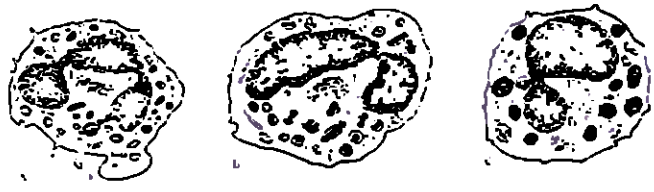
სისხლის ფორმიანი ელემენტები

ერითროციტები. ადამიანის ერითროციტები უბირთვო უჯრედებია. მათ გამრავლების უნარი არ გააჩნია. ერითროციტებს ძირითადად სუნთქვითი ფუნქცია აკისრია — მათ ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი გადააქვთ. ამ ფუნქციას ასრულებს ჰემოგლობინი, რომელიც შედგება ცილოვანი ნაწილისაგან — გლობინისაგან და მასთან დაკავშირებული პიგმენტისაგან — ჰემისაგან. გარდა ჟანგბადის ტრანსპორტირებისა, ერითროციტები მონაწილეობს ამინომჟავების, ანტისხეულების, ტოქსინების გადატანაში (ამ ნივთიერებების პლაზმური მემბრანის ზედაპირზე ადსორბციით). მამაკაცების სისხლის 1 მკლ-ში 3,9-5,5 მილიონი ერითროციტია, ქალების სისხლში კი – 3,7-4,9 მილიონი.

სისხლის ნაკადში ადამიანის ერითროციტებს ორმხრივ ჩაზნექილი დისკოს ფორმა აქვს (*სურ. 4.54*). კაპილარში გავლისას ერითროციტი იცვლის ფორმას — ვინროვდება და გრძელდება. ნორმალურ პირობებში ერითროციტების დიამეტრი დაახლოებით 7—8 მკმ-ია. ერითროციტების 66%-ს წყალი შეადგენს, 36% კი მშრალი ნივთიერებებია, აქედან 95% ჰემოგლობინია.

ადამიანის ერითროციტები დაახლოებით 120 დღეს ცოცხლობს. მკვდარი ერითროციტები სისხლის ნაკადიდან ელენთაში, ძვლის ტვინსა და ღვიძლში გამოიტანება. ახალი ერითროციტების წარმოქმნა ძვლის წითელ ტვინში მიმდინარეობს.

მდგომარეობას, როდესაც სისხლში ჰემოგლობინის რაოდენობა დაკლებულია, ანემია ეწოდება. ეს მოვლენა დაკავშირებულია ან ერითროციტების რაოდენობის, ანდა ერითროციტებში ჰემოგლობინის რაოდენობის შემცირებასთან. არსებობს ანემიის გამომწვევი მრავალი მიზეზი. ასე მაგალითად, ძვლის ტვინის დეგენერაციული ცვლილებე-



სურ. 4.55. ნეიტროფილის (A), ეოზინოფილისა (B) და ბაზოფილის (C) აგებულების სქემები.

ბითაა განპირობებული ე. წ. **აპლასტიური ანემია**, ერითროციტების გაძლიერებული დაშლით — **ჰემოლიზური ანემია**, ორგანიზმში რკინის უკმარისობით - **რკინადეფიციტური ანემია**, B_{12} ვიტამინის ნაკლებობით — **ავთვისებიანი ანემია**, შხამებითა და მონამვლით — **ტოქსიური ანემია** და ა.შ..

ლეიკოციტები. ადამიანის სისხლის ლეიკოციტები მორფოლოგიურად მეტად მრავალფეროვანია. ლეიკოციტები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა: **1. მარცვლოვანი ლეიკოციტები** ანუ **გრანულოციტები** და **2. არამარცვლოვანი ლეიკოციტები** ანუ **აგრანულოციტები.**



სურ. 4.56. ლიმფოციტისა (A) და მონოციტის (B) აგებულების სქემები

მარცვლოვანი ლეიკოციტების ციტოპლაზმაში მოთავსებულია სხვადასხვა სახის სპეციფიური მარცვლები, უჯრედის ბირთვი დანაწევრებულია. გრანულოციტების ნაწილი კარგად იღებება მჟავე საღებავებით, ამიტომ მათ **ეოზინოფილური გრანულოციტები** (შემოკლებით – **ეოზინოფილები**) ეწოდება. ტუტე საღებავების მიმართ მგრძნობიარე ლეიკოციტებს **ბაზოფილური გრანულოციტები (ბაზოფილები)** ეწოდება. **ნეიტროფილური გრანულოციტები (ნეიტროფილები)** კი ორივე სახის საღებავებით იღებება (*სურ. 4.55*).

აგრანულოციტები იყოფა **ლიმფოციტებად და მონოციტებად** *(სურ. 4.56)*.

ადამიანის სისხლის 1 მკლ-ში 3800-9000 ლეიკოციტია. ლეიკოციტებს აქტიური გადაადგილების — ამებოიდური მოძრაობის უნარი აქვს. მათ შეუძლია გააღწიონ სისხლძარღვების კედელში და სისხლის ნაკადიდან შემაერთებელ ქსოვილში გადავიდეს. ამ პროცესს **დიაპედეზი** ეწოდება. დიაპედეზი ასე ხორციელდება: ლეიკოციტი ემაგრება ნვრილი სისხლძარღვის კედელს და ცრუ ფეხებით, ანუ ფსევდოპოდიებით შეიჭრება უჯრედებს შორის არსებული კონტაქტის უბანში, შემდგომ უჯრედი მთლიანად "გაძვრება" სისხლძარღვის კედელში და მოხვდება შემაერთებელ ქსოვილში, საიდანაც იმ ადგილისაკენ მიემართება, სადაც თავისი ფუნქცია უნდა განახორციელოს. ლეიკოციტების მოძრაობის მიმართულება ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, მათგან მნიშვნელოვანია **ქემოტაქსისი** — ქიმიური გამღიზიანებლის ზეგავლენით გამონვეული მოძრაობა.

ნეიტროფილები მოძრავი უჯრედებია. ისინი დიდ როლს თამაშობს ანთებითი პროცესის განვითარებაში.

პროცესს, რომელიც ვითარდება ქსოვილში მასზე მავნე აგენტის ზემოქმედებისას, ანთება ეწოდება. მწვავე ანთების უბნისათვის დამახასიათებელია სიწითლე, ადგილობრივი ტემპერატურის მომატება, შეშუპება, ტკივილი, ფუნქციის გაუარესება ან დაკარგვა. ორგანიზმის სხვადასხვა ნაწილში განვითარებული ანთების სამედიცინო ენაზე აღსანიშნავად იმ ორგანოს ან ქსოვილის სახელწოდებას, სადაც ანთებაა განვითარებული, ემატება სუფიქსი "იტი". მაგალითად, ნაზოფარინგიტი — ცხვირხახის ლორწოვანას ანთებას ეწოდება, კოლიტი - მსხვილი ნაწლავის ლორწოვანას ანთებას, ცისტიტი — შარდის ბუშტის ანთებას და სხვ.).

ორგანიზმის რომელიმე ნაწილში დამაზიანებელი აგენტის (მაგალითად, პათოგენური ბაქტერიების) მოხვედრისას სისხლძარღვებში სისხლის ნაკადი ძლიერდება, დაზიანებულ უბანში სისხლის პლაზმის შემადგენელი კომპონენტები გაეონავს, ამას თან ახლავს ლეიკოციტების სისხლძარღვებიდან ქსოვილში გადასვლა და მათ მიერ მიკრობების შთანთქმა. ამიტომ ნეიტროფილებს **მაკროფაგებს** უწოდებენ. თუ უჯრედში შთანთქმული მასალა არ დაიშლება, ნეიტროფილები იღუპება. მკვდარი ლეიკოციტებისა და ინფიცირებული ქსოვილის დაშლის პროდუქტების დაგროვება იწვევს მოყვითალო-მოუანგისფრო ნახევრადთხეუადი მასალის — **ჩირქის** წარმოქმნას. სხვადასხვა ინფექციის დროს ლეიკოციტების რაოდენობა იზრდება, ამ მოვლენას ლეიკოციტოზი ეწოდება.

ეოზინოფილები ნეიტროფილებზე მსხვილი უჯრედებია. მათი რაოდენობა ლეიკოციტების საერთო რაოდენობის 1-5%-ს შეადგენს. ეოზინოფილების ციტოპლაზმა ამოვსებულია სპეციფიური გრანულებით. ისინი ჰიდროლიზურ ფერმენტებს შეიცავს. ეოზინოფილებს ფაგოციტოზის უნარი გააჩნია, ისინი უცხო ცილაზე რეაგირებს და ალერგიულ რეაქციებში მონაწილეობს.

ბაზოფილები ლეიკოციტების საერთო რაოდენობის 0,5-1,0%-ს შეადგენს. ეს უჯრედები სისხლის შედედებაში და სისხლძარღვების განვლადობის რეგულაციაში მონაწილეობს. ბაზოფილებს, ნეიტროფილებისა და ეოზინოფილების მსგავსად, სისხლის ნაკადიდან ანთების კერისაკენ მიგრაციისა და ფაგოციტოზის უნარი გააჩნია.

ლიმფოციტები. ამ უჯრედების სახელწოდებას საფუძვლად უდევს ის გარემოება, რომ სისხლის უჯრედებიდან მხოლოდ ისინი გვხვდება დიდი რაოდენობით როგორც სისხლში, ასევე ლიმფაში. ჯანმრთელი ადამიანების სისხლში ლიმფოციტები ლეიკოციტების საერთო რაოდენობის 20-40%-ს შეადგენს. ლიმფოციტები იმუნურ პროცესებში მონაწილეობს.

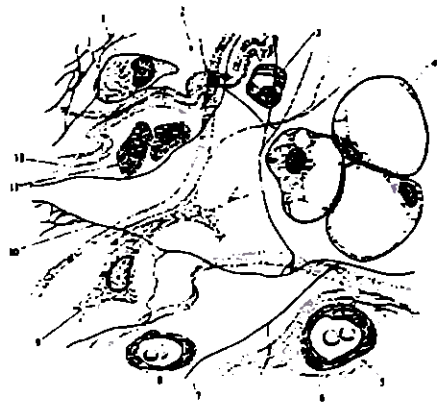
მონოციტები ლეიკოციტების საერთო რაოდენობის 2-8%-ს შეადგენს. ლეიკოციტებს შორის ისინი ყველაზე მსხვილი უჯრედებია. მონოციტები სისხლის ნაკადიდან ქსოვილში გამოსვლის შემდეგ ისინი მაკროფაგებად დიფერენცირდება.

სისხლის ფირფიტები. ძუძუმწოვრების სისხლის ფირფიტები ძვლის ტვინის გიგანტური უჯრედების - **მეგაკარიოციტების** უბირთვო ფრაგმენტებია. ყოველი ფირფიტა პლაზმური მემბრანით არის შემოფარგლული. სისხლის 1 მკლ-ში 200000-300000 ფირფიტაა. ძუძუმწოვრებისაგან განსხვავებით ფრინველების სისხლი შეიცავს ბირთვიან მცირე ზომის უჯრედებს - **თრომბოციტებს,** რომლებიც იგივე ფუნქციას ასრულებს, რა-

საც ადამიანის სისხლის ფირფიტები. ამიტომაა, რომ სისხლის ფირფიტებს ზოგჯერ თრომბოციტებად მოიხსენიებენ. სისხლის ფირფიტები სისხლის შედედებაში მონაწილეობს.

ლიმფა შედგება მოყვითალო ფერის ცილოვანი ბუნების სითხის - ლიმფოპლაზმისა და მცირე რაოდენობით ფორმიანი ელემენტებისაგან. ქიმიური შედგენილობით ლიმფოპლაზმა სისხლის პლაზმას უახლოვდება, მაგრამ ნაკლებ ცილებს შეიცავს. ფორმიანი ელემენტები ძირითადად ლიმფოციტებით და შედარებით მცირე რაოდენობით სხვა სახის ლეიკოციტებით არის ნარმოდგენილი, იშვიათად აქ ერითროციტებიც გვხვდება.

ლიმფა ლიმფურ კაპილარებში წარმოიქმნება. ლიმფურ კაპილარებში სხვადასხვა ფაქტორების (ოსმოსური წნევა, კაპილარების განელადობა და სხვ.) ზემოქმედებით მუდამ შედის ლიმფოპლაზმის შემადგენელი კომპონენტები. კაპილარებიდან ლიმფა პერიფერიულ ლიმფურ ძარღვებში გადადის, შემდეგ ლიმფური კვანძების გავლით მსხვილ ლიმფურ ძარღვებში ხვდება; ეს უკანასკნელი კი სისხლძარღვებს უერთდება.



სურ. 4.57. ფაშარი შემაერთებელი ქსოვილის სქემატური გამოსახულება
1 – მაკროფაგი, 2 – უჯრედთაშორისი ამორფული ნივთიერება, 3 – პლაზმოციტი,
4 – ცხიმოვანი უჯრედი, 5 –სისხლძარღვი,
6 – გლუვკუნთოვანი უჯრედი,
7, 8 –კაპილარის უჯრედები,
9 – ფიბრობლასტი, 10 – ელასტიური ბოჭკო,
11 – ფოყიერი უჯრედი, 12 – კოლაგენური ბოჭკო.

შემაერთებელი ქსოვილები

ქსოვილთა ამ ტიპს მიეკუთვნება საკუთრივ შემაერთებელი ქსოვილები, სპეციალური თვისებების მქონე შემაერთებელი ქსოვილები და ჩონჩხის შემაერთებელი ქსოვილები.

შემაერთებელი ქსოვილები გამოირჩევა უჯრედთა მრავალგვაროვნობითა და კარგად განვითარებული უჯრედთაშორისი ნივთიერებით, რომელსაც ქსოვილის მოცულობის ძირითადი ნაწილი უჭირავს. სხვადასხვა სახის შემაერთებელი ქსოვილის უჯრედშორისი ნივთიერება ერთმანეთისაგან განსხვავდება და შეიძლება ქვასავით მკვრივი, ლაბისებრი, ან თხევადი იყოს.

გამოყოფენ **საკუთრივ შემაერთებელი ქსოვილების** ორ ჯგუფს – **ფაშარსა და მკვრივს**.

ფაშარი შემაერთებელი ქსოვილი (*სურ. 4.57*) პრაქტიკულად ყველა ორგანოში გვხვდება – ის თან სდევს ყველა დიამეტრის სისხლისა და ლიმფურ ძარღვებს. სხეულის რომელიმე უბანში დაავადების გამომწვევი ანუ პათოგენური მიკრობების შეჭრა ინვევს ანთებით პროცესს, რომელიც სწორედ ფაშარ შემაერთებელ ქსოვილში ეითარდება. ფაშარ შემაერთებელ ქსოვილში რამდენიმე სახის უჯრედებს ვხვდებით. ასეთებია: ა) ე.წ. **ფიბრობლასტები**, რომლებშიც ბოჭკოვანი ცილის სინთეზი მიმდინარეობს, ბ) ფაგოციტოზის უნარის მქონე უჯრედები – **მაკროფაგები**, გ) **ცხიმოვანი უჯრედები**, რომლებშიც დიდი რაოდენობითაა დაგროვილი სამარაგო ცხიმი და სხვ.

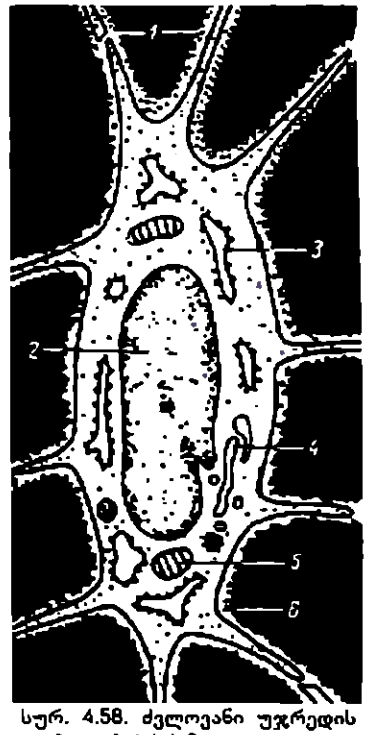
ფაშარი შემაერთებელი ქსოვილის უჯრედთაშორისი სივრცე შედგება სხვადასხვა შედგენილობის, დიამეტრისა და სიგრძის ბოჭკოების ხლართებისა და ძირითადი ნივთიერებისაგან, რომელიც ლაბისებრია და აესებს უჯრედებსა და ბოჭკოებს შორის არსებულ სივრცეს. ძირითადი ნივთიერება მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლის პროდუქტების გადატანაში უჯრედებსა და სისხლს შორის. ძირითად ნივთიერებას მექანიკური და საყრდენი ფუნქციაც აკისრია.

მკვრივ შემაერთებელ ქსოვილში ბოჭკოები უფრო მკვრივად ლაგდება, ბოჭკოებს შორის გაფანტულ უჯრედთა რაოდენობა მცირეა. ასეთ ქსოვილს მიეკუთვნება მყესები, რომლებიც შედგება მსხვილი, მკვრივად ჩალაგებული ურთიერთპარალელური ბოჭკოების კონებისაგან. კონებს შორის უჯრედები და ძირითადი ნივთიერებაა.

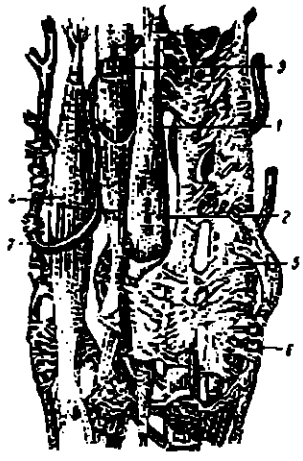
სპეციალური თვისებების შემაერთებელი ქსოვილებს მიეკუთვნება ცხიმოვანი, ლორწოვანი, პიგმენტური და სხვა სახის ქსოვილები.

ცხიმოვანი ქსოვილი ცხიმოვანი უჯრედების გროვას ნარმოადგენს. ცხიმოვანი ქსოვილი ლაგდება კანქვეშ, ბადექონში. ცხიმოვანი უჯრედების ციტოპლაზმა თითქმის მთლიანად ცხიმის ნეთებით არის შევსებული. ცხიმოვანი ქსოვილი, სამარაგო ფუნქციის გარდა, ორგანიზმსა და სხვადასხვა ორგანოებს დარტყმებისა და სითბოს დაკარგვისაგან იცავს.

ლორწოვანი შემაერთებელი ქსოვილი მხოლოდ ჩანასახისათვისაა დამახასიათებელი.



სურ. 4.58. ძვლოვანი უჯრედის აგებულების სქემა.
1 – უჯრედის მორჩები,
2 – ბირთვი,
3 – ენდოპლაზმური ბადე,
4– გოლჯის კომპლექსი,
5 – მიტოქონდრია,
6 – ძვლოვანი ჩაღრმავება.



სურ. 4.59. გლუვი კუნთოვანი ქსოვილის მოცულობითი სქემა
1 — გლუვი კუნთოვანი უჯრედი,
2 — ბირთვი,
3 — მიოფილამენტების კონები,
4 — სარკოლემა,
5 – შემაერთებელქსოვილოვანი ფენა,
6 - ნერვი,
7 - სისხლძარღვოვანი კაპილარი.

პიგმენტური შემაერთებელი ქსოვილი დიდი რაოდენობით შეიცავს პიგმენტურ უჯრედებს – **მელანოციტებს**.

ჩონჩხის შემაერთებელ ქსოვილებს წარმოადგენს **ძვალი და ხრტილი.**

ძვალში უჯრედთაშორისი ნივთიერება ქვასავით მკვრივია. მისი შედგენილობის 70% არაორგანულ ნაერთებზე მოდის. ორგანული ნივთიერებებიდან აქ ძირითადად ცილები და ლიპიდებია. უჯრედთაშორის ნივთიერებაში ორგანული კომპონენტი ძვლის ელასტიურობას, არაორგანული კი - სიმაგრეს განაპირობებს.

ძვლოვანი უჯრედები ძვლის უჯრედშორის სივრცეში არსებულ ე.წ. ძვლოვან ჩაღრმავებებშია განლაგებული (*სურ. 4.58*). ეს ჩაღრმავებები ერთმანეთთან წვრილი არხებითაა დაკავშირებული. ძვლოვანი ჩარღმავებებში და არხებში ქსოეილური სითხეა, რომლის მეშვეობითაც მიმდინარეობს ნივთიერებათა ცვლა ძვლოვან უჯრედებშა და სისხლს შორის.

ხრტილი შედგება ხრტილოვანი უჯრედებისა და უჯრედთაშორისი ნივთიერებისაგან. ხრტილოვანი ქსოვილის 80%-ს ნყალი შეადგენს, 10-15%-ს – ორგანული ნაერთები, 4-6%-ს – მინერალური მარილები. საკუთრივ ხრტილოვანი ქსოვილი სისხლძარღვებს არ შეიცავს და ხრტილსაზრდელადან დიფუზიით იკვებება.

განარჩეენ სამი სახის ხრტილს – **ჰიალინურს, ელასტიურსა** და **ბოჭკოვანს.**

ჰიალინური ხრტილი გეხვდება ნეკნებისა და მკერდის ძვლის შეერთების ადგილას, ჰაერგამტარ გზებში, სახსრების ზედაპირზე. **ელასტიური ხრტილი** გეხვდება ძუძუმწოვრების ყურის ნიჟარაში. **ბოჭკოვანი ხრტილი** ქმნის მალათაშორის დისკებს. მის უჯრედთაშორისს მკვრივი შემაერთებელი ქსოვილი წარმოადგენს, რომლის ჩაღრმავებებში ხრტილის უჯრედებია.

ძვალი და ხრტილი ცხოველების სხეულის საყრდენს ქმნის – ძელებისა და ხრტილებისაგან შედგება ხერხემლიანების ჩონჩხი.

კუნთოვანი ქსოვილები

კუნთოვანი ქსოვილების საერთო ნიშან—თვისებაა აგზნებადობისა და კუმშვადობის უნარი. განარჩევენ **გლუვ, ჩონჩხის განივზოლიან, გულის განივზოლიან** და **სპეციალიზებულ** კუნთოვან ქსოვილებს. ნებისმიერი სახის კუნთოვანი ქსოვილის უჯრედებისათვის დამახასიათებელია მიტოქონდრიებისა და სპეციალური დანიშნულების ორგანოიდების – ნვრილი ბოჭკოების, ანუ **მიოფიბრილების** არსებობა.

გლუვი კუნთოვანი ქსოვილი მონანილეობს საჭმლის მომნელებელი მილის, ფილტვებისა და ბრონქული ხის, შარდ-სასქესო სისტემის ორგანოების, სისხლისა და ლიმფური ძარღვების კედლის შენებაში და მათი მოძრაობის უნარს განაპირობებს.

შინაგანი ორგანოების უმეტესობის შემადგენლობაში შემავალი გლუვი კუნთების ძირითად მასას შეადგენს გლუვკუნთოვანი უჯრედები ანუ **მიოციტები.** ისინი 15-500 მკმ სიგრძის თითისტარას ფორმის ნაგრძელებული უჯრედებია (*სურ. 4.59*). ზოგიერთ ორგანოშო (საშეილოსნო, გულის შიგა გარსი) გლუვკუნთოვანი უჯრედები ვარსკვლავისებრი ფორმისაა.

გლუვკუნთოვანი უჯრედების **მიოფიბრილები** სამი სახის ძაფების — **მიკროფილამენტებისაგან** შედგება, ესენია: **აქტინის, მიოზინის** და **შუალედური მიკროფილამენტები.**

აქტინისა და მიოზინის მიკროფილამენტები მონანილეობს შეკუმშვისას უჯრედის დამოკლებაში, შუალედური ფილამენტები კი უჯრედს შეკუმშვის მომენტში გადამეტებული გაფართოებისაგან იცავს.

გლუვკუნთოვან უჯრედებს შორის არსებულ შემაერთებელქსოვილოვან ფენებში მოთავსებულია სისხლძარღვები, კაპილარების ქსელი კი მიოციტებს უშუალოდ გარს ერტყმის.



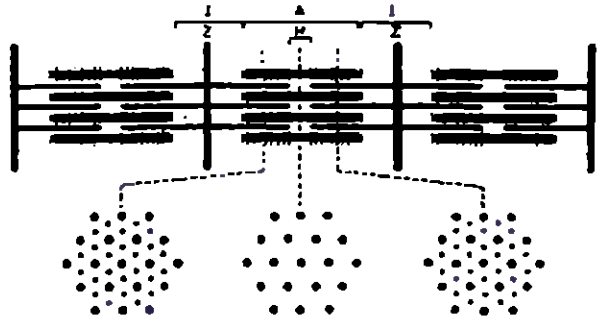
სურ. 4.60. განივზოლიანი კუნთოვანი ბოჭკოს ელექტრონული მიკროფოტოგრაფია.
1 – მიტოქონდრიები, 2 – მიოფიბრილები, 3 – სარკოპლაზმური ბადე.

გლუვი კუნთი ნელა ანუ ტონურად იკუმშება. ამ დროს დიდი რაოდენობის ენერგია არ იხარჯება, ამიტომ კუნთი შედარებით გვიან იღლება და შეკუმშულ მდგომარეობას ხანგრძლივად ინარჩუნებს.

ჩონჩხის განივზოლიანი კუნთოვანი ქსოვილის ძირითადი სტრუქტურული და ფუნქციური ერთეულია განივზოლიანი **კუნთოვანი ბოჭკო**, რომელიც წარმოადგენს მრავალი კუნთოვანი უჯრედის შერწყმის შედეგად წარმოქმნილ **მრავალბირთვიან სტრუქტურას.** კუნთოვანი ბოჭკოს დიამეტრი 0,01 - 0,1 მმ-ია, სიგრძე კი შეიძლება რამდენიმე სანტიმეტრსაც აღწევდეს. კუნთოვანი ბოჭკოს სიგრძე დამოკიდებულია კუნთის ზომასა და კონსტრუქციაზე. მაგალითად, თერძის კუნთში თითოეული ბოჭკის სიგრძე რამდენიმე ათეულ სმ-საც კი აღწევს.

კუნთოვანი ბოჭკოს პლაზმურ მემბრანასთან ანუ **სარკოლე-**

მასთან განლაგებულია მრავალი ბირთვი. კუნთოვანი ბოჭკოს ციტოპლაზმა ანუ **სარკოპლაზმა** შეიცავს სარკოპლაზმურ (ენდოპლაზმურ) ბადეს, რომლის არხები და ცისტერნები გარს ეხვევა მიოფიბრილებს. სარკოპლაზმურ ბადეს შეუძლია მიიტაცოს ან გამოთავისუფლოს Ca^{++} იონები. ამ იონების კონცენტრაციის ცვლილება კი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს კუნთოვანი ბოჭკოს შეკუმშვის პროცესში. კუნთოვანი ბოჭკოებში ძალზე კარგად არის განვითარებული უჯრედის ენერგეტიკული აპარატი - მიტოქონდრიების კომპლექსი. იგი სრულად უზრუნველყოფს კუნთების ენერგეტიკულ მოხოვნილებებს. (*სურ. 4.60*).

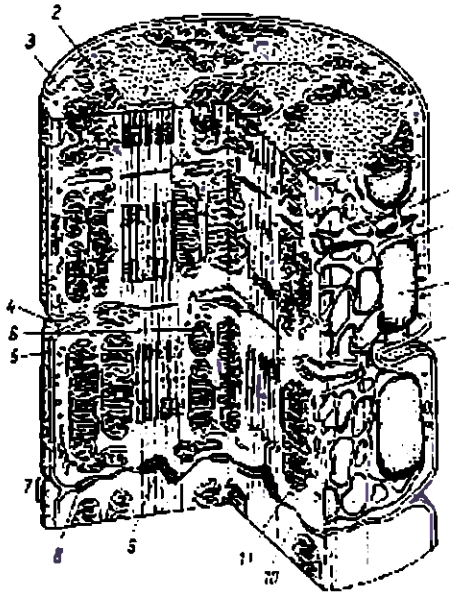


სურ. 4.61. მსხვილი და ნვრილი ძაფების (მიოზინისა და აქტინის) განლაგება განივზოლიან კუნთოვან ბოჭკოში.

კუნთოვან ბოჭკოს კუმშვადი აპარატი შედგება **მიოფიბრილების** კონებისაგან, მიოფიბრილების ძირითად მასას ცილოვანი ძაფები — **მიოფილამენტები** ქმნის. განარჩევენ ორი ტიპის მიოფილამენტებს. პირველი ტიპის მიოფილამენტები შედარებით მსხვილი ძაფებია და ძირითადად **მიოზინისაგან** შედგება. მეორე ტიპის ძაფები წვრილია და ძირითადად **აქტინისაგან** შედგება. სინათლის მიკროსკოპით კუნთოვანი ბოჭკოს დაკვირვებისას კარგად ჩანს, რომ მიოფიბრილებს აქვთ მუქი და ნათელი ზოლები. მუქ ზოლს ეწოდება A **დისკო**, ნათელს კი - I **დისკო** (დისკოს ნაცვლად ხშირად ხმარობენ აგრეთვე ტერმინს "**ზოლი**"). I დისკო მუქი ფირფიტით გაყოფილია ორ თანაბარ ნაწილად. ამ ფირფიტას Z **ფირფიტა** ეწოდება (*სურ. 4.61*).

მიოფიბრილების ძირითად სტრუქტურულ და ფუნქციურ ერთეულად მიჩნეულია ე.წ. **სარკომერი**, რომელიც ნარმოადგენს ორ მეზობელ Z ფირფიტებს შორის მდებარე უბანს ანუ ყოველი სარკომერი შედგება A დისკოსა და მის გვერდებზე მდებარე I დისკოების ნახევრებისაგან.

განივზოლიანი კუნთოვანი ბოჭკო ინარჩუნებს ნორმალურ სტრუქტურას და ახორციელებს შეკუმშვას მხოლოდ ნერვთან დაკავშირებული სახით. ეფერენტული (მამოძრავებელი) ნერვული ბოჭკო კუნთოვან ბოჭკოს უკავშირდება სპეციფიური დაბოლოებით, რომელსაც **მოტორული ბალთა** ეწოდება. მოტორულ ბალთასა და სარკოლემას შორის არსებულ სპეციალიზებულ კონტაქტს კი - **ნერვ-კუნთოვანი სინაფსი**.



სურ. 4.62 კარდიომიოციტის აგებულების სქემა
1 — მიოფიბრილები,
2 — მიტოქონდრიები,
3 — სარკოპლაზმური ბადე,
4 — თ-მილაკები,
5 — ბაზალური მემბრანა,
6 — ლიზოსომები,
7 — ჩართული ფირფიტა, 8 - დესმოსომა,
9 — მიოფიბრილების მიმაგრების ზონა,
10 — ნაპრალიანი კონტაქტი,
11 — რიბოსომები.

კუნთოვანი ბოჭკოს შეკუმშვა. კუნთოვანი ბოჭკოს პლაზმური მემბრანის აგზნებისას, რომელიც გამოიწვევა მამოძრავებელი ნეირონის განმუხტვის შედეგად, მოქმედების პოტენციალი ერცელდება სარკოპლაზმური ბადის მილაკების მიმართულებით. აგზნების იმპულსი იწვევს ცისტერნებიდან Ca^{++} იონების გამოყოფას და სარკოპლაზმაში მისი კონცენტრაცია იზრდება. Ca++ იონები ააქტივებს აქტინსა და მიოზინს და მათ შორის წარმოიქმნება განივი ხიდაკები; შემდგომში ამ ხიდაკების კონფიგურაცია იცვლება, რაც იწვევს მიოზინისა და აქტინის ძაფების ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებას, კერძოდ, აქტინის პროტოფიბრილები მოძრაობენ სარკომერის ცენტრისაკენ. ამრიგად, მიოფიბრილები მოკლდება, თვით აქტინისა და მიოზინის ძაფების სიგრძე კი უცვლელი რჩება. თითოეული სარკომერის სიგრძე შეიძლება 20-30%-ით შემცირდეს. მიოფიბრილების შეკუმშვა ხორციელდება ატფ-ას ჰიდროლიზის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე.

გულის განივზოლიანი კუნთოვანი ქსოვილი. გულის კუნთი ანუ მიოკარდიუმი ამ ორგანოს ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს. იგი შედგება გულის განივზოლიანი კუნთოვანი ქსოვილისაგან, რომელიც ჩონჩხის კუნთოვან ქსოვოლთან მსგავსებასთან ერთად, მისგან მნიშვნელოვნადაც განსხვავდება.

ჩონჩხის კუნთოვან ქსოვილს იგი ემსგავსება განივზოლიანობით - აქაც აღინიშნება I და A დისკოები, Z და M ხაზები და ა.შ. განსხვავება იმაში მდგომარეობა, რომ გულის კუნთოვანი უჯრედები - **კარდიომიოციტები** მორჩების მეშვეობით ერთმანეთთან არის დაკავშირებული და ქმნის ქსელს. კარდიომიოციტი (*სურ. 4.62*) სწორ-

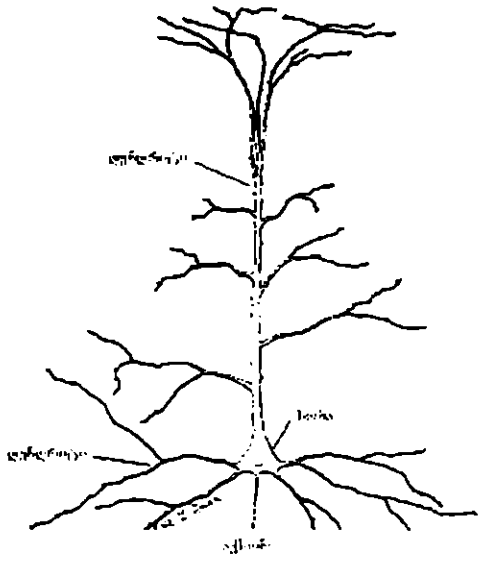
კუთხა ფორმისაა, მისი ბირთვები მდებარეობს უჯრედის ცენტრში და არა პერიფერიაზე. მიოფიბრილები კი პერიფერიულადაა განლაგებული. მიოფიბრილებს შორის ძენკვისებურადაა დალაგებული მიტოქონდრიები.

ნერვული ქსოვილი

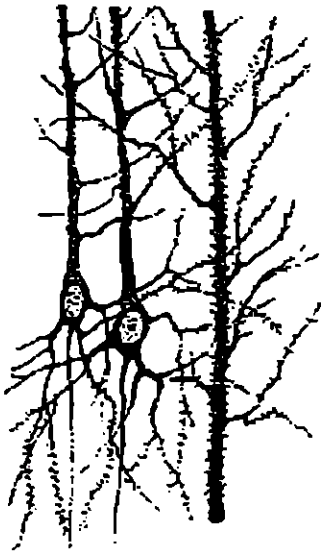
ნერვული ქსოვილის მნიშვნელობა განისაზღვრება ნერვული უჯრედის ძირითადი თვისებებით: გაღიზიანების აღქმა, აგზნება, ნერვული იმპულსის გენერაცია, მისი გატარება და გადაცემა.

ნერვული სისტემა დაკავშირებულია ორგანიზმის ყველა ქსოვილთან და ორგანოსთან და ახორციელებს მათი მუშაობის რეგულაციას, ორგანოებისა და ორგანოთა სისტემების შეთანხმებულ მოქმედებას; ნერვული სისტემის მეშვეობით მყარდება კავშირი ორგანიზმსა და გარემოს შორის.

ნერვული ქსოვილი შედგება **ნერვული უჯრედებისაგან (ნეირონებისაგან)**, რომლებიც სპეციფიურ ფუნქციას ასრულებს, და **ნეიროგლიის** უჯრედებისაგან, რომლებიც ორგანულად არის დაკავშირებული ნეირონებთან და ასრულებს საყრდენ, ტროფიკულ, სეკრეტორულ, დამცველობით და სხვა ფუნქციებს.



სურ. 4.63. ნეირონის სტრუქტურული კომპონენტების სქემა. (სქემაზე აქსონის მხოლოდ საწყისი მონაკვეთია ნაჩვენები).



სურ. 4.64. ხორკლები თაის ტვინის ნეირონების დენდრიტებზე.

ნეირონი. ნერვული სისტემის სხვადასხვა უბნის ნეირონები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ფუნქციური და მორფოლოგიური თავისებურებებით. ნერვული უჯრედი შედგება **სხეულისა (სომისა)** და **ციტოპლაზმური მორჩებისაგან** (*სურ. 4.63*).

ნეირონების სხეულის ზომები ფართო ფარგლებში მერყეობს. მაგალითად, ნათხემის ე.წ. მარცვლოვანი უჯრედების სომის დიამეტრი 4-6 მკმ-ია, ხოლო დიდი ტვინის ნახევარსფეროების ქერქის მოტორული ზონის გიგანტური ნეირონისა კი — 130 მკმ. ყოველ ნეირონს, როგორ წესი, ერთი მომრგვალო ფორმის ბირთვი აქვს, ბირთვაკების რაოდენობა 1-დან 3-მდე მერყეობს.

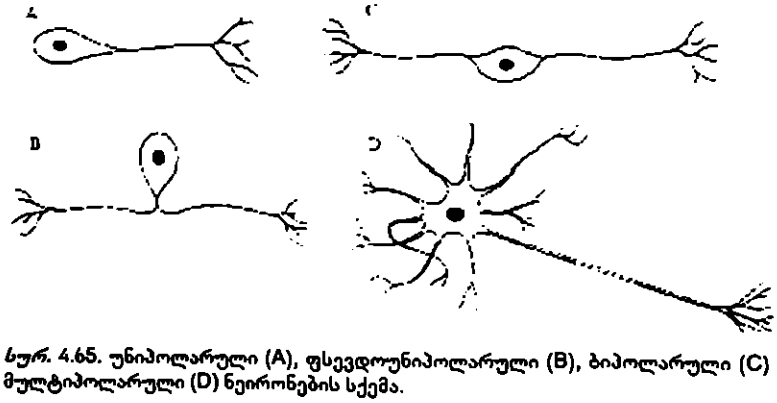
ნეირონების მორჩები ორი სახისაა: **დენდრიტები და აქსონი.**

დენდრიტი მოკლე მორჩია და უმეტეს შემთხვევებში ნეირონის სომიდან ახლო მანძილზევე ინტენსიურად იტოტება. სხვადასხვა სახის ნეირონებში დენდრიტების რიცხვი ფართო ფარგლებში მერყეობს. სხვადასხვა ტიპის ნეირონების დენდრიტებს აქვს მრავალრიცხოვანი ნერილი გამონაზარდები ე.წ. **დენდრიტული ხორკლები** (*სურ.* 4.64). გაღიზიანების საპასუხოდ დენდრიტებსა და მათ ხორკლებში ხდება ნერვული იმპულსის გენერაცია და იმპულსის ნეირონის სხეულისაკენ გადაცემა.

ნეირონს მხოლოდ ერთი აქსონი აქვს, ის ჩვეულებრივ გრძელია და ბოლოში ძლიერ იტოტება. უჯრედის სხეულიდან აქსონის გამოსვლის ადგილი შემსხვილებულია, მას **აქსონის ბორცვაკი** ენოდება. აქსონში ნერვული იმპულსი ნეირონის სომიდან პერიფერიისაკენ ერცელდება.

ნეირონის პლაზმურ მემბრანას ახასიათებს აგზნებადობა და ნერვული იმპულსის გატარების უნარი. ნერვული იმპულსი ყოველთვის ერთი მიმართულებით ვრცელდება - დენდრიტებიდან უჯრედის სომისაკენ, იქიდან კი აქსონისაკენ.

მორჩების რაოდენობის მიხედვით არჩევენ **უნიპოლარულ** ანუ ერთმორჩიან, **ბიპოლარულ** ანუ ორმორჩიან და **მულტიპოლარულ** ანუ სამი და მეტი მორჩის მქონე ნეირონებს (*სურ. 4.65*).



სურ. 4.65. უნიპოლარული (A), ფსევდოუნიპოლარული (B), ბიპოლარული (C) და მულტიპოლარული (D) ნეირონების სქემა.



სურ. 4.66.
პერიფერიული ნერვის ფრაგმენტის განივი ჭრილის ელექტრონულიმიკროფოტო.
შვანის ერთი უჯრედი (SC) ნარმოქმნის გარსს რამდენიმე ღერძული ცილინდრის (Ax1-Ax6) გარშემო.

ძუძუმწოერებისა და ადამიანის ნერვულ სისტემაში უპირატესად გვხვდება მრავალმორჩიანი ანუ მულტიპოლარული ნეირონები. ამ ნეირონების მხოლოდ ერთი მორჩია აქსონი, დანარჩენი მორჩები კი დენდრიტებია. ბიპოლარული ნეირონის ორი მორჩიდან ერთი აქსონია, მეორე კი დენდრიტი. ბიპოლარულია, მაგალითად, თეალის ბადურა გარსის ნეირონების ნაწილი. ბიპოლარულ უჯრედებს მიეკუთვნება, აგრეთვე, ე. წ. **ფსევდოუნიპოლარული უჯრედი.** აქ ორივე მორჩი ნეირონის სომის ერთი გამონაზარდიდან იღებს საწყისს და შემდეგ შორდება ერთმანეთს.

ფუნქციის მიხედვით განასხვავებენ **პირველად სენსორულ (მგრძნობიარე, აფერენტულ), ასოციაციურ (ჩართულ, შუამდებარე)** და **მოტორულ (მამოძრავებელ, ეფერენტულ)** ნეირონებს.

მგრძნობიარე ნეირონებში ნერვული იმპულსი ორგანიზმის გარეგან და შინაგან გამღიზიანებელთა სა-პასუხოდ აღმოცენდება. ეს უჯრედები ინფორმაციას ზურგისა და თავის ტვინში, ანუ **ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში — ცნს**-ში გზავნის.

ჩართული ნეირონები ანუ **ინტერნეირონები** ნერვულ იმპულსებს ერთი ნეირონიდან მეორეზე გადასცემს. ჩართული ნეირონების დენდრიტები და აქსონი არ ტოვებენ ცნს-ს. ინტერნეირონებისა და მამოძრავებელი (მოტორული) ნეირონების სხეულები და დენდრიტები თავის და ზურგის ტვინის **რუხ ნივთიერებას** ქმნის. ინტერნეირონების მიელინიანი აქსონები კი — ცნს-ის **თეთრი ნივთიერების** უმეტეს ნაწილს.

მამოძრავებელი ნეირონებით აგზნება ეფექტორულ უჯრედებამდე მიიტანება. ეფექტორული უჯრედებია: განივზოლიანი კუნთოვანი ბოჭკო, გლუვი კუნთოვანი უჯრედი, კარდიომიოციტი, ჯირკვლოვანი უჯრედები.

თავის ტვინის ზოგიერთი უბნის (მაგალითად, ჰიპოთალამუსის ზოგიერთი ბირთვის) ნეირონებს ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების სეკრეციის უნარი აქვს, ამიტომ მათ **ნეიროსეკრეტორულ უჯრედებს** უწოდებენ. მათ მიერ გამომუშავებული სეკრეტები უშუალოდ სისხლში ანდა **ცერებროსპინალურ (თავ-ზურგტვინოვან) სითხეში** გადადის.

ნეიროგლია ასრულებს მრავალ ფუნქციას - საყრდენს, ტროფიკულს, სეკრეტორულს, გამმიჯნავს და სხვა. ვარაუდობენ, რომ ნეიროგლიის უჯრედების რაოდენობა 10-ჯერ აღემატება ნეირონების რაოდენობას. ნეიროგლიის უჯრედებს მიეკუთვნება **ეპენდიმოციტები, ასტროციტები, ოლიგოდენდროციტები** და **მიკროგლიოციტები.**

ეპენდიმოციტების მჭიდრო შრე ამოფენს ზურგის ტვინის არხისა და თავის ტვინის პარკუჭების კედლებს. არხის ღრუსაკენ მიმართულ ზედაპირზე ეპენდიმოციტებს გააჩნია ნამწამები. მათი რხევა **ცერებროსპინალური** სითხის მოძრაობას განაპირობებს.



სურ. 4.67. მიელინიანი ნერვული ბოჭკოს განივი ჭრილის ელექტრონული მიკროფოტოგრამა.
OL- ოლიგოდენდროციტის ციტოპლაზმა,
nf- ნეიროფილამენტები,
m- მიკროტუბულები

ასტროციტები მრავალმორჩიანი ვარსკვლავისებრი ფორმის უჯრედებია. ასხვავებენ ორი სახის ასტროციტებს - **პროტოპლაზმურს** და **ბოჭკოვანს. პროტოპლაზმური ასტროციტები** ძირითადად ცენტრალური ნერვული სისტემის რუხ ნივთიერებაში მდებარეობს. ისინი უშუალოდ მონაწილეობს ნეირონებსა და კაპილარებს შორის ნივთიერებათა ცვლაში. **ბოჭკოვანი ასტროციტები** უპირატესად ტვინის თეთრ ნივთიერებაშია განლაგებული. მათ გრძელი, ნაკლებად დატოტვილი მორჩები აქვს.

ოლიგოდენდროციტები ნეიროგლიის უჯრედებს შორის ყველაზე მრავალრიცხოვანია. ცენტრალურ და პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში ისინი გარს ერტყმის ნეირონების სხეულს, აქსონის გარშემო ქმნის **მიელინის გარსს** შექმნაში.

მიკროგლიოციტები წარმოადგენს ტვინის თეთრ და რუხ ნივთიერებაში გაბნეულ წვრილ უჯრედებს გრძელი და ნაკლებად დატოტიანებული მორჩებით. მიკროგლიის ძირითადი ფუნქცია ფაგოციტოზია.

ნერვული ბოჭკო. ნეირონის გრძელი მორჩები დაფარულია გლიის უჯრედებით შექმნილი გარსით. მათ ერთიანობას **ნერვული ბოჭკო** ენოდება. არჩევენ **მიელინიან** და **უმიელინო** ბოჭკოებს. ორივე შემთხვევაში ბოჭკოს ცენტრში მდებარე ნეირონის მორჩს (აქსონს ან დენდრიტს) **ღერძული ცილინდრი** ეწოდება. ღერძული ცილინდრის გარშემო ე. წ. გარსს ოლიგო-



სურ. 4.68. აქსო-დენდრიტული სინაფსის ელექტრონული მიკროფოტოგრამა.
T- პრესინაფსური უბანი,
D- დენდრიტი,
nf- ნეიროფილამენტები,
m- მიკრომოლაკები
(ისრით მითითებულია სინაფსური ბუშტუკები).

დენდროგლიის უჯრედები წარმოქმნის. **უმიელინო ნერვული ბოჭკოები** უპირატესად **ვისცერალურ (ვეგეტატიურ)** ნერვულ სისტემაში გვხვდება. ასეთი ბოჭკოებში გარსის წარმომქმნელ უჯრედს **შვანის უჯრედი** ეწოდება. უმეტეს შემთხვევაში შვანის თითოეულ უჯრედში მოთავსებულია რამდენიმე ღერძული ცილინდრი (*სურ. 4.66*).

მიელინიანი ნერვული ბოჭკოების ღერძული ცილინდრის დიამეტრი ბევრად მეტია ვიდრე უმიელინო ბოჭკოებში. მიელინიან ბოჭკოში ოლიგოდენდროციტის მემბრანა რამდენიმე ფენად არის შემოხვეული ღერძული ცილინდრის გარშემო (*სურ. 4.67*).

მიელინიან ნერვულ ბოჭკოში ნერვული იმპულსი უფრო სწრაფად ერცელდება, ვიდრე უმიელინო ბოჭკოში; კერძოდ, მიელინიან ბოჭკოში ნერვული იმპულსის სიჩქარეა 5-120 მ/წმ, ხოლო უმიელინო ბოჭკოში - 1-2 მ/წმ.

ნეირონთაშორისი სინაფსები. ერთი ნეირონიდან მეორეზე ნერვული იმპულსის გადაცემას ემსახურება მათ შორის არსებული სპეციალიზებული კონტაქტები — **სინაფსები.** ცნობილია სინაფსების ორი სახე —**ქიმიური და ელექტრული.** ადამიანისა და ძუძუმწოვრების თავისა და ზურგის ტვინში ელექტრული სინაფსები იშვიათია.

ყველა ქიმიური სინაფსი შედგება სამი კომპონენტისაგან: 1. **პრესინაფსური უბანი,** 2. **სინაფსური ნაპრალი,** რომელიც სინაფსურ მემბრანებთან ერთად ქმნის სინაფსის სპეციალიზებულ ზონას ანუ ე.წ. **"აქტიურ ზონას"** და 3. **პოსტსინაფსური უბანი** (*სურ. 4.68*).

პრესინაფსური უბანი წარმოდგენილია აქსონის საბოლოო განშტოების გაფართოებული ნაწილით. პრასინაფსური უბნის დამახასიათებელი თავისებურებაა მასში მემბრანით შემოსაზღვრული **სინაფსური ბუშტუკების** არსებობა. სინაფსური ბუშტუკები შეიცავს ნეიროგადამცემებს ანუ ნეიროტრანსმიტერებს. სხვადასხვა სინაფსში სინაფსური ბუშტუკები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ზომის, ფორმისა და შიგთავსით. როდესაც სინაფსური ბუშტუკი მიუახლოვდება პრესინაფსური უბნის მემბრანას, მისი მემბრანა ერწყმის მას და ბუშტუკის შიგთავსი გადმოიღვრება სინაფსურ ნაპრალში, რომელიც ზეგავლენას ახდენს პოსტსინაფსურ მემბრანასთან დაკავშირებულ რეცეპტორებზე.

პრე- და პოსტსინაფსური უბნების ერთმანეთის მოპირდაპირედ განლაგებული მემბრანები გამიჯნულია 20-40 ნმ-ის სისქის უჯრედთაშორისი სივრცით – **სინაფსური ნაპრალით.**

პოსტსინაფსური უბანს შეიძლება წარმოადგენდეს დენდრიტი ან მისი ხორკლები, ნეირონის სომა და აქსონის ბორცვაკიც.

იმის მიხედვით, თუ ნერვული უჯრედის რომელი უბნები მონაწილეობენ სინაფსის პრე- და პოსტსინაფსური კომპონენტების წარმოქმნაში განასხვავებენ: **აქსო-სომატურ, აქსო-დენდრიტულ, აქსო-ხორკლოვანი აქსო-აქსონურ,** და სხვა ტიპის სინაფსებს.

მოხსენიებული ტიპის სინაფსებში პრესინაფსური უბანი წარმოქმნილია აქსონის გაფართოებული დაბოლოებით. აქსო-სომატური სინაფსების პოსტსინაფსურ კომპონენტს წარმოადგენს ნეირონის სხეულის პლაზმური მემბრანის გარკვეული მონაკვეთი, აქსო-დენდრიტულ სინაფსებში — მსხვილი და წერილი დენდრიტები, აქსო-ხორკლოვან სინაფსებში — დენდრიტის ხორკლი,

მამოძრავებელი ნერვული ბოჭკოების დაბოლოებები ჩონჩხის განივზოლიან კუნთებში ქმნის **ნერვ-კუნთოვან სინაფსებს.** მათი საშუალებით ნერვული იმპულსი ცნს-დან კუნთებს გადაეცემა და მათ შეკუმშვას ინვევს.

4.6.2. უმაღლესი მცენარეების ქსოვილები

უმაღლესი მცენარეები, ანუ **ხმელეთის მცენარეები** ქლოროფილის შემცველი ავტოტროფული ორგანიზმებია. მათ მიეკუთვნება **ხავსები, გვიმრანაირები, შეიტანაირები, ლიკოპოდიუმნაირები, შიშველთესლოვანი, ფარულთესლოვანი,** ანუ **ყვავილოვანი** და სხვ. მცენარეები.

უმაღლესი მცენარეების უმეტესობის ქსოვილებია: **ნარმომშობი (მერისტემული), მფარავი, გამტარი, მექანიკური, ძირითადი** და **სეკრეტორული (გამომყოფი).** აღნიშნული ქსოვილებიდან გაყოფის უნარი მხოლოდ ნარმომშობი ქსოვილის უჯრედებს აქვს.

ნარმომშობი ქსოვილი

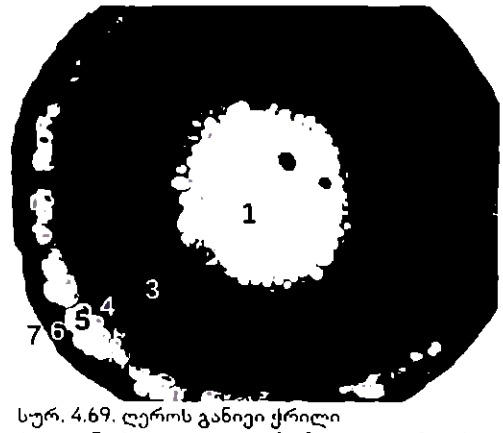
ნარმომშობი ქსოვილი, ანუ **მერისტემა** (ბერძნ. meristos – გაყოფადი) შედგება ინტენსიური გაყოფის უნარის მქონე და მცენარის სიცოცხლის მანძილზე ფიზიოლოგიურად აქტიური უჯრედებისაგან, რაც მცენარის მასის განუწყვეტელ მატებას განაპირობებს. მერისტემიდან ეითარდება უმაღლესი მცენარეების დანარჩენი ქსოვილები. ადგილმდებარეობის მიხედვით განარჩევენ **კენწრულ, გვერდით, მეორეულ და ჩართულ (ინტერკალარულ)** მერისტემას.

კენწრული მერისტემა ყლორტისა და ფესვის სიგრძეში, ხოლო **გვერდითი მერისტემა (კამბიუმი** და

პერიციკლი) – ღეროსა და ფესვის სისქეში ზრდას განაპირობებს. მეორეული მერისტემიდან ვითარდება მფარავი ქსოვილი – **კორპი. ჩართული (ინტერკალარული) მერისტემა** ლოკალიზებულია მცენარის ცალკეულ, აქტიურად ზრდად უბნებში.

მფარავი ქსოვილი

მფარავი ქსოვილითაა დაფარული მცენარის ზედაპირი. ის, ძირითადად, ერთმანეთთან მჭიდროდ მიჯრილი უჯრედებისაგან შედგება. მფარავი ქსოვილი მცენარეს გამოშრობისაგან, მექანიკური დაზიანებისაგან და სხვა არახელსაყრელი ზემოქმედებისაგან იცავს. გარდა ამისა, მისი მეშვეობით ხდება მცენარეში აირთა ცვლისა და **ტრანსპირაციის** (წყლის აორთქლების) რეგულაცია, წყლისა და მინერალური მარილების შეწოვა. მფარავი ქსოვილის სახეებია **ეპიდერმა, ეპიბლემა** და **პერიდერმა** (*სურ. 4.69*).



სურ. 4.69. ღეროს განივი ჭრილი
1 – ფაშარი გულგული, 2, 3 – ქსილემა, 4 – ფლოემა, 5 – სკლერენქიმა, 6 – პერიდერმა, 7 – ეპიდერმა

ეპიდერმითაა დაფარული მცენარის ფოთლები და მწვანე ყლორტები, აგრეთვე ნაყოფები და ყვავილის ცალკეული ნაწილები. ეპიდერმა შედგება ერთმანეთთან მჭიდროდ მიჯრილი უჯრედების ერთი შრისაგან. ეპიდერმის უჯრედებს შორის წყვილ-წყვილად მოთავსებულია ლობიოს თესლის ფორმის მწვანე უჯრედები, ე. წ. **ბაგეები**. ამ უჯრედებით **ბაგის ხვრელია** შემოსაზღვრული. სწორედ ბაგეები უზრუნველყოფს აირთა ცვლასა და ტრანსპირაციას.

ეპიბლემა ფესვების მფარავი ქსოვილია. მისი მეშვეობით ხდება ნიადაგიდან წყლისა და მინერალური მარილების შეწოვა. ეპიბლემის უჯრედებს აქვს გამონაზარდები – **ბუსუსები**, რომელიც ადიდებს ფესვის ნიადაგთან შეხების ზედაპირს.

პერიდერმა მრავალწლიანი მცენარეების ღეროსა და ფესვების მფარავი მეორეული ქსოვილია. პერიდერმის გარეთა შრის უჯრედები დროთა განმავლობაში კედება და დამცავ ქერქს წარმოქმნის. ქერქი კარგად იცავს მცენარეთა ღეროებს მექანიკური დაზიანების, ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების, მზის სხივებით გადახურებისა და პათოგენური მიკროორგანიზმებისაგან.

მექანიკური ქსოვილი

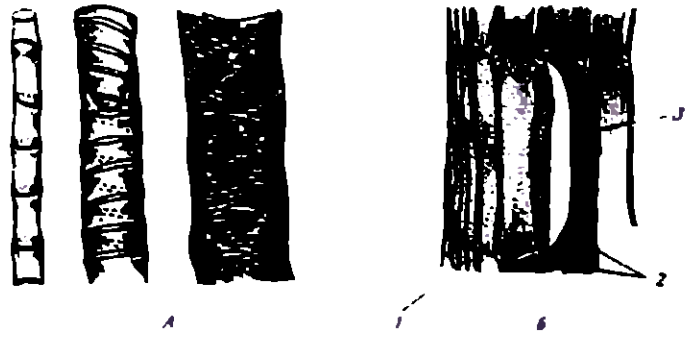
მექანიკური ქსოვილები მცენარის საყრდენს ქმნის, უზრუნველყოფს მისი ორგანოების სიმტკიცეს და წინააღმდეგობას უწევს მცენარეზე მომქმედ სტატიკურ და დინამიურ დატვირთვებს. ეს ქსოვილები ძირითადად შედგება მკვდარი უჯრედების სქელი და მკვრივი კედლებისაგან.

გამტარი ქსოვილები

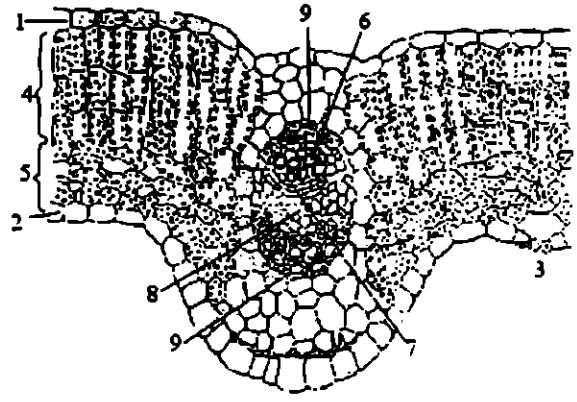
გამტარი ქსოვილებით მცენარეებში საკვები ნივთიერებები გადაადგილდება. განარჩევენ **ქსილემას (ჭურჭლებსა და ტრაქეიდებს)** და **ფლოემას (საცრისებრ მილებს)** (*სურ. 4.70*). **ჭურჭლები და ტრაქეიდები** აგებულია გრძელი, მკვდარი, სქელკედლიანი უჯრედებისაგან, რომლებიც ერთმანეთზე სიგრძივად არის განლაგებული. მათი განივი ტიხრები ჩაშლილია და წარმოქმნილია ერთიანი მილი. ჭურჭლებით მცენარის ფესვებიდან ფოთლებისაკენ წყალი და მინერალური მარილები გადაადგილდება. **საცრისებრი მილები** ვერტიკალურად განლაგებული ცოცხალი ნაგრძელებული უჯრედების წყებაა, მათი განივი ტიხრები დასერეტილია. საცრისებრი მილებით ფოტოსინთეზის პროდუქტები ფოთლებიდან მცენარის ზრდის კონუსისაკენ, მიწისქვეშა ორგანოებისაკენ, ნაყოფებისა და თესლებისაკენ გადაადგილდება. გამტარი ქსოვილის სქელკედლიანი უჯრედები საყრდენ ფუნქციასაც ასრულებს.

ძირითადი ქსოვილები

მცენარის სხეულის უმეტეს ნაწილს **ძირითადი ქსოვილი** წარმოადგენს. ფუნქციების მიხედვით გამოყოფენ **საასიმილაციო, სამარაგო, წყლისა** და **ჰაერის შემცველ** ქსოვილებს. საასიმილაციო ქსოვილის უჯრედები ქლოროპლასტებს შეიცავს და ფოტოსინთეზს ახორციელებს. სამარაგო ქსოვილში სხვადასხვა ნივთიერება გროვდება. ჰაერის შემცველი ქსოვილის (**აერენქიმის**) მეშვეობით წყლის მცენარეები წყალსატევის ზედაპირზე ტივტივებს. აერენქიმა შედგება ერთმანეთთან დაკავშირებული უჯრედებისაგან. ისინი ისეა განლაგებული, რომ მათ შორის ჰაერით შევსებული დიდი მოცულობის სივრცეებია. მშრალი ადგილის მცენარეების წყლის შემცველ ქსოვილში წყალია დამარაგებული.



სურ. 4.70. გამტარი ქსოვილები
A – ჭურჭლები სხვადასხვაგვარი შესქელებებით, B – ფლოემა,
1 – კამბიუმის უჯრედები,
2 – საცრისებრი მილების უჯრედები,
3 – თანამგზავრი უჯრედები.



სურ. 4.71.
ფოთლის განივი ჭრილი
1 – ზედა ეპიდერმა,
2 –ქვედა ეპიდერმა,
3 – ბაგე,
4 – მესრისებრი პარენქიმა,
5 – ღრუბლისებრი პარენქიმა,
6 – ქსილემა,
7 – კამბიუმი,
8 – ფლოემა,
9 – სკლერენქიმა.

გამომყოფი ქსოვილები

სეკრეტორულ (გამომყოფ) ქსოვილებს მიეკუთვნება ის ნარმონაქმნები, რომლებსაც მცენარეებიდან მეტაბოლიზმის პროდუქტებისა და წყლის გამოყოფის ან იზოლაციის უნარი აქვს. სეკრეტორული ქსოვილების კომპონენტებს მცენარის ყველა ორგანო შეიცავს. ნივთიერებათა გამოყოფის ადგილის მიხედვით განარჩევენ **შინაგანი და გარეგანი სეკრეციის ქსოვილებს**.

ყვავილოვან მცენარეთა ვეგეტატიური (ფესვი, ღერო, ფოთოლი) და გენერაციული (ყვავილი, ნაყოფი, თესლი) ორგანოები რთული აგებულებისაა და სხვადასხვა სახის ქსოვილებს შეიცავს. მაგალითად:

ა) ფოთლის ფირფიტა დაფარულია ეპიდერმით, რომელიც ბაგეებს შეიცავს. ზედა და ქვედა ეპიდერმას შორის განლაგებულია მაფოტოსინთეზებელი ქსოვილი – **მესრისებრი და ღრუბლისებრი პარენქიმა**. ფოთლის ძარღვები შედგება გამტარი ქსოვილებისაგან – ჭურჭლებისაგან, რომელთა მეშვეობით ფოთოლი წყლითა და მინერალური მარილებით მარაგდება, და საცრისებრი მილებისაგან, რომელთა მეშვეობით ორგანული ნივთიერებების წყალხსნარები მცენარის სხვა ორგანოებისაკენ გადაადგილდება. მექანიკური ქსოვილი განაპირობებს ფოთლის სიმტკიცესა და დრეკადობას (*სურ. 4.71*).

ბ) ფესვის წეროში წარმომშობი ქსოვილია, რომელიც ფესვის სიგრძეში ზრდას განაპირობებს. წყლისა და მინერალური მარილების შენოვა ხდება ეპიბლემის უჯრედების ბუსუსების მეშვეობით. ფესვის ცენტრში ლოკალიზებულია გამტარი ქსოვილი; კერძოდ, ჭურჭლები, რომლებშიც ფესვის მიერ შენოვილი წყალი და მინერალური მარილები ღეროსა და ფოთლებისაკენ გადაადგილდება. ჭურჭლების გარშემო საცრისებრი მილებია, რომლებშიც ფოთლებიდან ფესვებისაკენ ორგანული ნივთიერებები მიედინება. ზოგიერთი მცენარის ფესვში ძლიერ არის განვითარებული სამარაგო ქსოვილი. ასეთი ფესვები, ე. წ. **ძირხვენები** აქვს სტაფილოს, ჭარხალს, ოხრახუშს.

გ) მერქნიანი მცენარის ღერო სამი შრისაგან – ქერქის, მერქნისა და გულგულისაგან შედგება. ქერქი გარე შრეა და დაფარულია დამცველობითი მფარავი ქსოვილით – კორპით; შემდეგი შრეა საფევი, რომელიც გამტარი (საცრისებრი მილების), მექანიკური და ძირითადი ქსოვილებისაგან შედგება. ქერქის ქვეშ განლაგებულია წარმომშობი ქსოვილი – კამბიუმი. მისი უჯრედების გაყოფის შედეგად ღერო სისქეში იზრდება. მერქანიც გამტარი (ჭურჭლებისა და ტრაქეიდებისაგან), მექანიკური და ძირითადი ქსოვილებისაგან შედგება. ღეროს ცენტრში ლოკალიზებულია დამმარაგებელი უჯრედებისაგან შემდგარი ფაშარი გულგული.

თავი 5. ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლა

ცოცხალ ორგანიზმებში გამუდმებით მიმდინარეობს ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლის – **მეტაბოლიზმის** (ბერძნ. melabole – გარდაქმნა, შეცვლა) პროცესები. მეტაბოლიზმი ქიმიურ რეაქციათა ერთობლიობაა, რომელიც აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლის შესანარჩუნებლად. მეტაბოლიზმის პროცესები უზრუნველყოფა ორგანიზმების ზრდასა და გამრავლებას, აგებულების შენარჩუნებას, გარემოს ფაქტორების ზემოქმედებაზე ადეკვატურ რეაქციას და ა. შ.

ჩვეულებრივ განარჩევენ მეტაბოლიზმის ორ გამოვლინებას – **კატაბოლიზმსა** და **ანაბოლიზმს.**

კატაბოლიზმი (ბერძნ. kalabole – საფუძველი, დაქვეითება), ანუ **ენერგეტიკული ცვლა** წარმოადგენს რთული ნივთიერებების შედარებით მარტივ ნივთიერებებად დაშლის, ანდა ამა თუ იმ ნივთიერების დაჟანგვის პროცესს, რომელსაც, როგორც წესი, თან ახლავს ენერგიის გამოყოფა. გამოყოფილი ენერგიის ნაწილი ატფ-ს მაკროერგული ბმების სახით აკუმულირდება, ნაწილი კი გარემოში სითბოს სახით გამოსხივდება. კატაბოლიზმის რეაქციები საფუძვლად უდევს **დისიმილაციას** (ლათ. dissimilis – განსხვავებულობა) რთული ნაერთების მოცემული ორგანიზმისათვის სპეციფიურობის დაკარგვას, რაც მათი შედარებით მარტივ ნივთიერებებად დაშლით ხორციელდება.

კატაბოლიზმის პროცესების ინტენსივობა და უჯრედის მიერ ამა თუ იმ კატაბოლური პროცესის გამოყენება ჰორმონებით რეგულირდება. მაგალითად, გლუკოკორტიკოიდები აძლიერებს ცილებისა და ამინომჟავების კატაბოლიზმის ინტენსივობას და თრგუნავს გლუკოზის კატაბოლიზმს. ინსულინი კი საპირისპირო გავლენას ახდენს – აძლიერებს გლუკოზის და თრგუნავს ცილების კატაბოლიზმს.

კატაბოლიზმის საპირისპირო პროცესია **ანაბოლიზმი** (ბერძნ. anabole — ამაღლება), ანუ **პლასტიკური ცვლა**, ანუ **ასიმილაცია** (ლათ. assimilatio – მსგავსება) – უჯრედის მიერ გარემოდან მიღებული მარტივი ნივთიერებებიდან რთული, მისთვის დამახასიათებელი ნაერთების ბიოსინთეზი.

კატაბოლიზმი და ანაბოლიზმი ურთიერთდაკავშირებული პროცესებია. კერძოდ, კატაბოლიზმის (სხვადასხვა სახის ნაერთების დაშლის) შედეგად წარმოქმნილი მარტივი ნივთიერებები და ატფ-ს მაკროერგული ბმების სახით აკუმულირებული ენერგია შეიძლება ორგანიზმის (უჯრედის) მიერ გამოყენებულ იქნას ახალი რთული ნივთიერებების ბიოსინთეზისათვის.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ქლოროფილის შემცველი ორგანიზმების მიერ მზის სინათლის ენერგიის ხარჯზე წარმოებული ფოტოსინთეზის პროცესი (ანაბოლიზმის კლასიკური მაგალითი), რაც გადამწყვეტ როლს თამაშობს ცოცხალი ორგანიზმების ორგანული ნივთიერებებით მომარაგებაში.

გარემოდან უჯრედში მოხვედრილი საკვები ნივთიერებები გამოიყენება უჯრედისა და ორგანიზმისათვის დამახასიათებელი ცილების, ლიპიდების ნახშირწყლების, ნუკლეინის მჟავების და მათ შორის იმ ფერმენტების სინთეზისათვისაც, რომლებიც აუცილებელია კატაბოლიზმის რეაქციების განხორციელებისათვის.

5.1. ენერგეტიკული ცვლა

ავტოტროფული ორგანიზმების მიერ არაორგანულიდან სინთეზირებული ორგანული ნივთიერებითაა უზრუნველყოფილი ჰეტეროტროფული ორგანიზმების არსებობა. ჰეტეროტროფები ცხოველქმედებისათვის საჭირო ენერგიას საკვებად მიღებული ნივთიერებების ბიოლოგიური დაჟანგვის შედეგად მოიპოვებენ. ბიოლოგიური ჟანგვა წარმოადგენს ფერმენტული რეაქციების ერთობლიობას. ამ რეაქციების დროს გამოყოფილი ენერგიის ნაწილი ხმარდება ენერგიით მდიდარი და ორგანიზმისათვის ადვილად გამოსაყენებელი ნივთიერებების (მაგალითად, ატფ-ს) სინთეზს.

ჰეტეროტროფებისათვის ენერგიის ძირითადი წყაროა საკვებ პროდუქტებში არსებული ნახშირწყლები და ცხიმები. ამ ნივთიერებათა ფერმენტების მონაწილეობით დაშლა სამ ეტაპს მოიცავს. ესენია: **მოსამზადებელი, უჟანგბადო და ჟანგბადიანი ეტაპები.**

მოსამზადებელ ეტაპზე, ანუ **საკვების მონელებისას** მსხვილი მოლეკულები (პოლიმერები) მონომერებამდე იშლება: პოლისაქარიდები – მონოსაქარიდებამდე, ცხიმები – გლიცერინამდე და ცხიმოვან მჟავებამდე, ცილები – ამინომჟავებამდე. მრავალუჯრედიან ცხოველებში ეს პროცესები საჭმლის მომნელებელ ტრაქტში გამოყოფილი ფერმენტების გავლენით მიმდინარეობს. ამ დროს გამოყოფილი ენერგია სითბოს სახით გამოსხივდება.

მოსამზადებელ ეტაპზე წარმოქმნილი ნივთიერებები ერთვება უჟანგბადო (ანაერობული) ეტაპის მრავალსაფეხურიან ფერმენტულ რეაქციებში. ანაერობული ეტაპი უჯრედებში მიმდინარეობს. გლუკოზის ანაერობული დაშლის პროცესს **გლიკოლიზი** ენოდება. გლიკოლიზის ჯამური ფორმულაა:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2 \text{ ადფ} = 2\ C_3H_6O_3 \text{ (ლაქტატი)} + 2 \text{ ატფ} + 2\ H_2O$$

გლიკოლიზის რეაქციები დუღილის რეაქციებს წააგავს. დუღილი მიკროორგანიზმების ენერგიით უზრუნველყოფის ძირითადი პროცესია. საბოლოო პროდუქტების მიხედვით განარჩევენ რძემჟავურ, სპირტულ და სხვა ტიპის დუღილს.

მესამე – **ჟანგბადიანი (აერობული, სუნთქვის)** ეტაპის რეაქციები მიტოქონდრიების შიგა მემბრანებზე ჟანგბადის მონაწილეობით მიმდინარეობს. უჯრედები ჟანგბადს გარემოდან შთანთქავს. ამ პროცესში მიტოქონდრიები მონაწილეობს და მას ქსოვილური სუნთქვა ეწოდება. ქსოვილური სუნთქვის – **ჟანგვითი ფოსფორილირების** პროცესი უჯრედში ატფ-ს წარმოქმნის ძირითადი ხერხია.

ენერგეტიკული ცვლის ანაერობულ ეტაპზე წარმოქმნილი ნაერთები ჟანგვითი ფოსფორილირების პროცესში ნახშირორჟანგისა (CO_2) და წყლის ($H2O$) მოლეკულებამდე იჟანგება. ამ მრავალსაფეხურიანი, ფერმენტების მონაწილეობით მიმდინარე პროცესის ყველა რეაქცია ენერგიის გამოყოფით მიმდინარეობს. ამ რეაქციებში ადფ და H_3PO4 მონაწილეობს და ხდება ატფ-ს წარმოქმნა.

უჟანგბადო ეტაპზე წარმოქმნილი ლაქტატის ორი მოლეკულის ჟანგვითი ფოსფორილირების პროცესში ატფ-ს 36 მოლეკულა სინთეზდება.

$$2\ C_3H_6O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36\ \text{ადფ} = 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 36\ \text{ატფ} + 36H_2O$$

ქსოვილური სუნთქვის პროცესში დასაჟანგი ნივთიერების წყალბადის 2 ატომი (2 პროტონი და 2 ელექტრონი) სუნთქვითი ჟაჭვის (ის ფერმენტებისა და კოფერმენტებისაგან შედგება) გავლით მოლეკულურ ჟანგბადს გადაეცემა და ნარმოიქმნება წყლის მოლეკულა. ელექტრონების გადაადგილებისას გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე მიტოქონდრიებში ადფ-სა და ფოსფატიდან ატფ სინთეზირდება. წყლის ყოველ წარმოქმნილ მოლეკულაზე ატფ-ს სამი მოლეკულის სინთეზი მოდის.

ქსოვილური სუნთქვის პროცესში ცილების, ცხიმებისა და ნახშირწყლების უჟანგბადო დაშლის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტები მონაწილეობს. უფრო ხშირად ჟანგვას ექვემდებარება სამნახშირბადიანი მჟავების ციკლის ანუ **კრებსის ციკლის** შუალედური პროდუქტები. ამ პროცესში ხდება **აცეტილკოფერმენტ-A**-ს ნახშირორჟანგისა და წყლის მოლეკულამდე დაშლა.

აცეტილკოფერმენტი--A ორგანიზმის უმნიშვნელოვანესი მეტაბოლიტია. ცილები, ნახშირწყლები და ცხიმები დაშლისას აცეტილკოფერმენტ--A-დ გარდაიქმნება.

ქსოვილურ სუნთქვაში მრავალი ფერმენტი მონაწილეობს, რომლებიც ადფ-ს სიჭარბისას აქტივდება. ადფ კი უჯრედში ატფ-ს ინტენსიური გამოყენების შედეგად გროვდება. სუნთქვითი ჯაჭვის გასწვრივ ელექტრონების გადაადგილებისას გამოყოფილი ენერგიის დაახლოებით 60 % სითბოს სახით გამოსხივდება, 40 % კი ატფ-ს მაკროერგული ბმების სახით აკუმულირდება. ეს ენერგია ორგანიზმისათვის დამახასიათებელი ცილების, ლიპიდების, ნახშირწყლების, ნუკლეინის მჟავების და სხვა ნივთიერებების სინთეზისათვის, სხვადასხვა ნივთიერების დაბალი კონცენტრაციის უბნიდან მაღალი კონცენტრაციისაკენ (კონცენტრაციის გრადიენტის საწინააღმდეგო მიმართულებით) გადასატანად, ნერვული იმპულსის გატარებისათვის, ფიზიკური მუშაობის შესასრულებლად და ცხოველქმედების სხვა პროცესების განსახორციელებლად გამოიყენება.

ამრიგად, ატფ ცოცხალ ორგანიზმებში ენერგიის უნივერსალური წყაროა. ის მაკროერგული ნაერთია და უჯრედში ენერგიის ძირითადი "აკუმულატორი" და გადამცემია.

5.2. ფოტოსინთეზი

ფოტოსინთეზი წარმოადგენს მწვანე მცენარეებისა და ზოგიერთი მიკროორგანიზმის (მაგალითად, ციანობაქტერიების, მწვანე და მენამული ბაქტერიების და სხვ.) მიერ მზის ენერგიის ორგანული ნივთიერებების ქიმიურ ბმების ენერგიად გარდაქმნის პროცესს.

დედამინაზე სიცოცხლის არსებობა ფოტოსინთეზზეა დამოკიდებული. ფოტოსინთეზის პროცესში არაორგანული ნივთიერებებიდან ხდება სიცოცხლისათვის აუცილებელი ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნა. ფოტოსინთეზის შედეგად ყოველწლიურად დაახლოებით 150 მილიარდი ტონა ორგანული ნივთიერება წარმოიქმნება, 300 მილიარდი ტონა CO_2 –ის შებოჭვა და დაახლოებით 200 მილიარდი ტონა თავისუფალი ჟანგბადის გამოყოფა ხდება. ევოლუციის პროცესში სწორედ პირველი მწვანე ორგანიზმების მიერ დედამიწის პირველად ატმოსფეროში გაჩნდა ჟანგბადი, წარმოიქმნა ოზონის ეკრანი და შესაძლებელი გახდა სიცოცხლის წყლიდან ხმელეთზე გადმოსვლა.

ფოტოსინთეზი სინათლის შთანთქმელი პეგმენტების (ქლოროფილისა და სხვ.) მონაწილეობით მიმდინარეობს. ფოტოსინთეზის შედეგად ნახშირორჟანგისა (CO_2) და წყლიდან (H_2O) წარმოიქმნება ორგანული ნივთიერება – გლუკოზა ($C_6H_{12}O_6$). გლუკოზა არა მარტო ენერგიის მნიშვნელოვანი წყაროა, არამედ მრავალი ორგანული ნივთიერების საშენ მასალასაც წარმოადგენს. მისი ნახშირწყალბადოვანი კომპონენტები შედის ცოცხალი ორგანიზმების უმნიშვნელოვანეს ნივთიერებათა (პოლისაქარიდების, ლიპიდების, ცილებისა და ნუკლეინების მჟავების) მოლეკულების შემადგენლობაში. ამ ნივთიერებათა მოლეკულები სხვა ქიმიურ ელემენტებსაც (ჟანგბადს, აზოტს, გოგირდს, ფოსფორს) შეიცავს, მაგრამ ძირითადი C – C და C – H ბმებია.

ჰაერში არსებული ნახშირჟანგი მწვანე უჯრედებში ფოთლის ეპიდერმისის უჯრედებს შორის არსებული ბაგეების გავლით ხედება. წყალსა და მინერალურ მარილებს ნიადაგიდან ფესვებით შეიწოვება და გამტარი

სისტემით ფოთლისკენ გადაიტანება. არაორგანულიდან ორგანული ნივთიერებების წარმოსაქმნელად საჭირო სინათლის ენერგიას ქლოროფილი შთანთქავს. ფოტოსინთეზის პროცესი მცენარის მწვანე უჯრედებში (ძირითადად ეს ფოთლის მესრისებური და ღრუბლისებრი ქსოვილებია) არსებული ქლოროპლასტებში მიმდინარეობს. ამ პროცესში წარმოქმნილი ჟანგბადის მოლეკულა ატმოსფეროში გამოიყოფა.

ფოტოსინთეზის სინათლის ფაზა. ფოტოსინთეზის პროცესი ხილული სინათლით ქლოროპლასტის განათებით იწყება. მზის ხილული სინათლის ენერგიის დიდი ნაწილი ქვანტების სახით გამოსხივდება, მას ქლოროფილის მოლეკულა შთანთქავს და მისი ერთ-ერთი ელექტრონი დამატებით ენერგიას იძენს, აგზნებულ მდგომარეობაში გადადის და ტოვებს თავდაპირველ ორბიტას. აგზნებული ელექტრონი გადაადგილდება ელექტრონების გადამტანი მოლეკულების ჯაჭვის გასწვრივ და თანდათანობით კარგავს ენერგიას, რომლის დიდი ნაწილი ხმარდება ადფ-დან და ფოსფატიდან ატფ-ს სინთეზს და აკუმილირდებ ნარმოქმნილი ატფ-ს მაკროერგული ბმის სახით. აგზნებული ელექრონების ენერგიის ნაწილი გამოიყენება რთული ნაერთის – ნიკოტინამიდდინუკლეოტიდ ფოსფატის (ნადფ+-ის) ნადფ –მდე აღსადგენად.

სინათლის ენერგიის ხარჯზე ქლოროპლასტებში წყლის მოლეკულის დაშლაც – ფოტოლიზიც მიმდინარეობს.

$$2H_2O + \text{ენერგია} = 4H^+ + 4e^- + O_2$$

ამ დროს ნარმოქმნილი ელექტრონებით ხდება ქლოროფილის მიერ დაკარგული ელექტრონების დანაკლისის აღდგენა; წყლის ფოტოლიზის დროს ჟანგბადის მოლეკულებიც წარმოიქმნება, რომელიც ატმოსფეროში გამოიყოფა.

ფოტოსინთეზის სიბნელის ფაზა. სინათლის ფაზაში ნარმოქმნილი ატფ, ნადფ. და წყალბადის იონები ატმოსფეროდან შთანთქმული ნახშირორჟანგიდან გლუკოზის სინთეზს ხმარდება. გლუკოზის ერთი მოლეკულა ნახშირორჟანგის 6 მოლეკულიდან ნარმოიქმნება. ამასთანავე გლუკოზის ერთი მოლეკულის სინთეზისათვის იხარჯება ატფ-ს 18 მოლეკულა და ნადფ. –ის 12 მოლეკულა.

ამრიგად, სინათლის ენერგია აუცილებელია ატფ-ს და ნადფ. -ის სინთეზისა და წყლის ფოტოლიზისათვის. ჰექსოზების სინთეზი კი სიბნელეშიც შეიძლება განხორციელდეს, თუ ქლოროპლასტებში საკმაო რაოდენობითაა დამარაგებული ატფ და ნადფ-, ანდა თუ ამ ნაერთებს უჯრედში გარედან შევიტანთ. ამიტომ ფოტოსინთეზის ამ ეტაპს სიბნელის ფაზა ეწოდება.

5.3. ქემოსინთეზი

ბუნებაში არაორგანულიდან ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნა არა მარტო ფოტოსინთეზის პროცესში ხდება. არსებობს ავტოტროფული ბაქტერიები, რომლებიც ორგანული ნივთიერებების სინთეზისათვის იყენებს იმ ენერგიას, რომელიც გამოიყოფა არაორგანული ნივთიერებების – წყალბადის, გოგირდწყალბადის, ამიაკის, ორვალენტიანი რკინის და სხვ. დაჟანგვის შედეგად. გამოყოფილი ენერგია ატფ-ს ფორმით მარაგდება, რომელიც შემდგომ ორგანული ნივთიერების სინთეზისათვის გამოიყენება. ამ პროცესს ქემოსინთეზი ეწოდება.

იმ წყალსატევებში, რომელიც გოგირდწყალბადს შეიცავს დიდი რაოდენობითაა გავრცელებული გოგირდბაქტერიები. ნახშირორჟანგიდან ორგანული ნივთიერების სინთეზისათვის საჭირო ენერგიას ისინი გოგირდწყალბადის დაჟანგვის შედეგად იღებენ.

$$2\,H_2S + O_2 = 2\,H_2O + 2\,S + \text{ენერგია}$$

ამ პროცესის შედეგად წარმოქმნილი გოგირდი ბაქტერიების უჯრედებში წერილი მარცვლების სახით გროვდება და გარემოში გოგირდწყალბადის ნაკლებობისას ბაქტერიები ამ გოგირდს გოგირდმჟავამდე ჟანგავს.

$$2\,S + 3\,O_2 + 2\,H_2O = 2\,H_2SO_4 + \text{ენერგია}$$

გოგირდბაქტერიების აურაცხელი რაოდენობაა შავ ზღვაში, სადაც 200 მეტრზე მეტ სიღრმეში წყალი გოგირდწყალბადითაა გაჯერებული.

ნიადაგსა და ზოგიერთ წყალსატევში ფართოდაა გავრცელებული ნიტრიფიკაციის ბაქტერიები. ისინი ორგანული ნივთიერებების სინთეზისათვის საჭირო ენერგიას ამიაკისა და აზოტოვანი მჟავას დაჟანგვის შედეგად იღებენ. ნიტრიფიკაციის ბაქტერიები მნიშვნელოვან როლს თამაშობს გარემოში აზოტის მიმოქცევაში.

ცილების დაშლის შედეგად წარმოქმნილი ამიაკი ნიტრიფიკაციის ბაქტერიების (მაგალითად, ბაქტერია ნიტროსომონასის – nitrosomonas) მიერ აზოტოვან მჟავამდე იჟანგება.

$$2\,NH_3 + 3O_2 = 2\,HNO_2 + 2H_2O$$

წარმოქმნილი აზოტოვანი მჟავა აზოტმჟავამდე იჟანგება. ეს პროცესი კი ნიტრობაქტერიების – nitrobacter მიერ ხორციელდება.

$$2\,HNO_2 + O_2 = 2HNO_3$$

ნიადაგში მიმდინარე ნიტრიფიკაციის პროცესების შედეგად ნიტრატები წარმოიქმნება, რომლებიც აუცილებელია მცენარეების ნორმალური ზრდა-განვითარებისათვის. ნიადაგში ფართოდაა გავრცელებული წყალბადის დამჟანგავი ბაქტერიებიც.

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

რკინისა და მანგანუმის ნაერთების დამჟანგავი ქემომასინთეზებელი ბაქტერიები გავრცელებულია როგორც მტკნარ წყლებში, ასევე ზღვებში. ადრეულ გეოლოგიურ ეპოქებში მათი ცხოველქმედების შედეგად წარმოიქმნა რკინისა და მანგანუმის მადნის საბადოები.

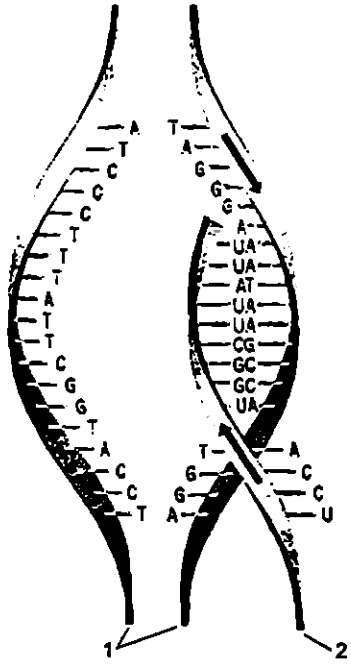
5.4. ცილის ბიოსინთეზი

ცილის ბიოსინთეზი ანუ ამინომჟავებიდან პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სინთეზი რთული მრავალსტადიანი პროცესია. ის ცოცხალი ორგანიზმების უჯრედების ციტოპლაზმაში არსებულ რიბოსომებში მიმდინარეობს. ცილის ბიოსინთეზში უშუალო მონაწილეობას ინფორმაციული რნმ (ი-რნმ) და ტრანსპორტული რნმ (ტ-რნმ) ღებულობს.

ინფორმაცია უჯრედისათვის დამახასიათებელ ნებისმიერ ცილაში ამინომჟავათა თანამიმდევრობის შესახებ დნმ-შია ლოკალიზებული. დნმ ცილის ბიოსინთეზში უშუალოდ არ მონაწილეობს. მცენარეების, ცხოველებისა და ადამიანის უჯრედებში დნმ-ის მოლეკულები ბირთვში არსებულ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული და ციტოპლაზმისაგან ბირთვის გარსით არის გამიჯნული.

ტრანსკრიპცია. ინფორმაცია ბირთვიდან რიბოსომებისაკენ ინფორმაციულ რნმ-ის (ი-რნმ) გადააქვს. ი-რნმ-ის სინთეზი დნმ-ში არსებული ერთი ან ერთმანეთის თანამიმდევრობით განლაგებული გენების ჯგუფის (ერთმანეთის გვერდი – გვერდ განლაგებული გენების ჯგუფი შეიცავს ინფორმაციას იმ ცილების შესახებ, რომლებიც რომელიმე ერთი ფუნქციის შესასრულებლადაა აუცილებელი.) გასწვრივ მიმდინარეობს. ამ პროცესში უშუალოდ ფერმენტი რნმ–პოლიმერაზა მონაწილეობს. ი-რნმ-ის სინთეზის პროცესს **ტრანსკრიპცია** (ლათ. ტრანსცრიპტიონ – გადაწერა) ეწოდება (*სურ. 5.1).*

ტრანსკრიპცია კომპლემენტარობის პრინციპის შესაბამისად მიმდინარეობს. როგორც ცნობილია, ი-რნმ ერთჯაჭვიანი მოლეკულაა და ინფორმაციის გადაწერაც დნმ-ის ერთი ჯაჭვიდან ხდება. ტრანსკრიპცია იწყება ე. წ. ტრანსკრიპციის სანყისი წერტილიდან – **პრომოტორიდან.** რნმ–პოლომერაზა პრომოტორს უკავშირდება და იწყებს დნმ-ის ორმაგი ჯაჭვის ერთმანეთისაგან დაშორებას და ერთ-ერთი ჯაჭვის გასწვრივ კომპლემენტარული რიბონუკლეოტიდებისაგან შემდგარ პოლიმერს წარმოქმნის. მაგალითად, თუ დნმ-ის ჯაჭვში არის გუანინიანი დეზოქსირიბონუკლეოტიდი, მაშინ რნმ-პოლიმერზა ი-რნმ-ის მოლეკულაში ციტოზინიან რიბონუკლეოტიდს ჩართავს; თუ თიმინიანი დეზოქსირიბონუკლეოტიდია – ი-რნმ-ში ჩაერთვება ადენინიანი რიბონუკლეოტიდი, ხოლო თუ ადენინიანი დეზოქსირიბონუკლეოტიდია – ჩაერთვება ურაცილიანი რიბონუკლეოტიდი.



სურ. 5.1. ი-რნმ-ის სინთეზის გამარტივებული სქემა
1 – დნმ-ს ორმაგი ჯაჭვი, 2 – სინთეზირებადი ი-რნმ

ტრანსკრიპციის პროცესში 4 სტადიას განარჩევენ:
1. რნმ-პოლიმერაზას პრომოტორთან დაკავშირება;
2. ინიციაცია – ი-რნმ-ის სინთეზის დასაწყისი;
3. ელონგაცია – ი-რნმ-ის ჯაჭვის დაგრძელება;
4. ტერმინაცია – ი-რნმ-ის სინთეზის დამთავრება.

ი-რნმ-ის სინთეზი მიმდინარეობს დნმ-ის ერთ ჯაჭვში (მატრიცაში, ანუ ნიმუშში) ჩაწერილი ინფორმაციის შესაბამისად და ისევე, როგორც დნმ-ის რეპლიკაციის პროცესი, **მატრიცული სინთეზის** ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნება.

გენეტიკური კოდი. დნმ-ისა და ი-რნმ-ის მოლეკულებში გენეტიკური კოდი გენეტიკური ინფორმაცია ნუკლეოტიდების თანამიმდევრობითაა „ჩაწერილი". „ნუკლეოტიდების ენაზე" ჩაწერილი ინფორმაციის სინთეზირებადი ცილის მოლეკულაში „ამინომჟავების ენაზე" „გადათარგმნა" გენეტიკური კოდის მეშვეობით ხორციელდება. კოდი ანუ შიფრი წარმოადგენს სიმბოლოების სისტემას, რომელსაც ინფორმაციის ერთი ფორმა მეორე ფორმაში გადაყავს.

გენეტიკური კოდი წარმოადგენს ცილის მოლეკულაში ამონომჟავათა თანამიმდევრობის შესახებ ინფორმაციის ინფორმაციულ რნმ-ში ნუკლეოტიდების თანამიმდევრობის სახით ჩაწერის სისტემას.

გენეტიკური კოდი ტრიპლეტურია. რნმ 4 სახის ნუ-

კლეოტიდს შეიცავს. ესენია ადენიანი (შემოკლებით ა), გუანინიანი (გ), ციტოზინიანი (ც) და ურაცილიანი (უ) ნუკლეოტიდები. ცილების შენებაში კი 20 სახის ამინომჟავა მონაწილეობს.

თუ ჩაეთვლით, რომ ერთი ამინომჟავა ერთი ნუკლეოტიდითაა კოდირებული, მაშინ 16 ამინომჟავა კოდის გარეშე რჩება. ბუნებამ შექმნა ტრიპლეტური კოდი – 20 ამინომჟავიდან თითოეული 3 ნუკლეოტიდის თანამიმდევრობითაა დაშიფრული, რომელსაც ტრიპლეტი ან **კოდონი** ეწოდება. 4 ნუკლეოტიდიდან შეიძლება 3 ნუკლეოტიდისაგან შემდგარი 64 კომბინაციის მიღება. ყოველი ამინომჟავა დაშიფრულია ერთზე მეტი ტრიპლეტით. გამონაკლისია ორი ამინომჟავა – მეთიონინი და ტრიპტოფანი, რომლებიც მხოლოდ თითო კოდონით არის დაშიფრული *(ცხრ. 5.1)*.

ცხრილი 5.1

ამინომჟავების შესაბამისი და ტერმინაციული კოდონები

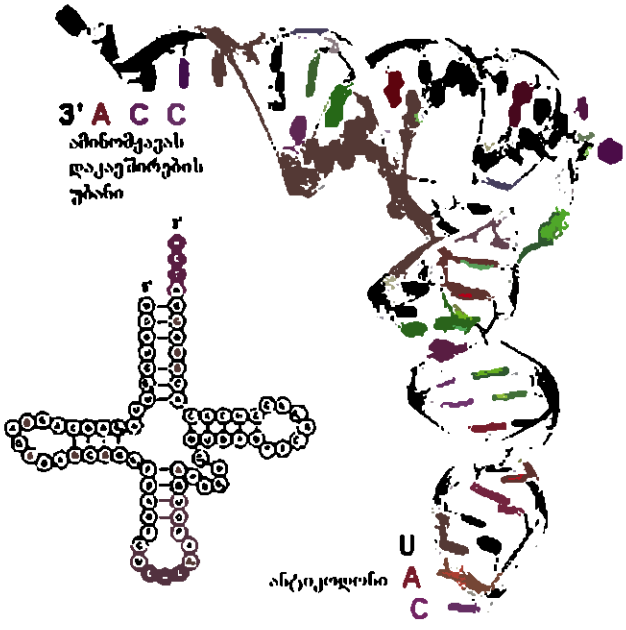
ამინომჟავა	კოდონი
ალანინი	გცუ, გცც, გცა, გცგ
არგანინი	ცგუ, ცგც, ცგა, აგა, აგგ
ასპარაგინი	ააუ, ააც
ასპარაგინის მჟავა	გაუ, გაც
ვალინი	გუუ, გუც, გუა, გუგ
პისტოდინი	ცაუ, ცაც
გლიცინი	გგუ, გგც, გგა, გგგ
გლუტამინი	ცაა, ცაგ
გლუტამინის მჟავა	გაა, გაგ
იზოლეიცინი	აუუ, აუც, აუა
ლეიცინი	ცუუ, ცუც, ცუა, ცუგ, უუა, უუგ
ლიზინი	ააა, ააგ
მეთიონინი	აუგ
პროლინი	ცცუ, ცცც, ცცა, ცცგ
სერინი	უცუ, უცც, უცა, უცგ, აგუ, აგც
თიროზინი	უაუ უაც
ტრეონინი	აცუ, აცც, აცა, აცგ
ტრიპტოფანი	უგგ
ფენილალანინი	უუუ, უუც
ცისტეინი	უგუ, უგც
ტერმინაციული კოდონები	უაა, უაგ, უგა

ტრანსლაცია. უჯრედის ბირთვში სინთეზირებული ი-რნმ ბირთვის გარსში არსებული ფორების გავლით გადადის ციტოპლაზმაში და რიბოსომებისაკენ მიემართება, სადაც ხდება ი-რნმ-ში ნუკლეოტიდების ,,ენაზე" ჩაწერილი ინფორმაციის ამინომჟავების ,,ენაზე" გადათარგმნა. ეს პროცესი რიბოსომებში მიმდინარეობს და **ტრანსლაცია** (ლათ. ტრანსლატიო – გადათარგმნა) ეწოდება.

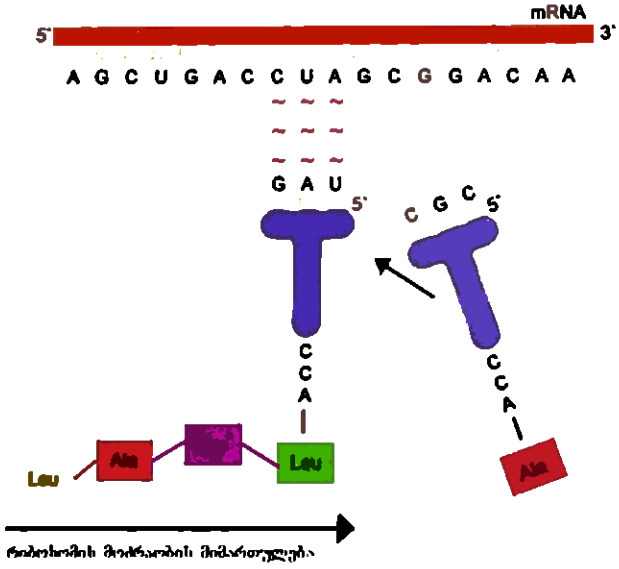
ცილის სინთეზისთვის საჭირო ამინომჟავები რიბოსომებისაკენ სპეციალური რნმ-ის მეშვეობით გადაიტანება. მას **ტრანსპორტული რნმ (ტ-რნმ)** ეწოდება. ტ-რნმ-ის მოლეკულა 60-70 ნუკლეოტიდისაგან შედგება და ისეა დახვეული, რომ სამყურას ფოთლის ფორმას ემსგავსება (*სურ. 5.2*). უჯრედში არის იმდენივე სახის ტ-რნმ, რამდენი კოდინითაც არის დაშიფრული ამინომჟავები. ყოველი სახის ტ-რნმ-ის ერთ ბოლოში სამი ნუკლეოტიდია, რომლებიც ი-რნმ-ის კოდონის ნუკლეოტიდების კომპლემენტარულია. მათ **ანტიკოდონები** ეწოდება. სპეციალური ფერმენტი – **კოდაზა** უზრუნველყოფს, რომ ტ-რნმ-ის მეორე ბოლოში მხოლოდ ის ამინომჟავა დაუკავშირდეს, რომელიც დაშიფრულია ყოველი კონკრეტული ტ-რნმ-ის **ანტიკოდონის** კომპლემენტარული ტრიპლეტით. ამინომჟავას ტ-რნმ-ისთან დაკავშირებისას ატფ-ს ერთ მოლეკულაში აკუმულირებული ენერგია იხარჯება.

იმისათვის, რომ ამინომჟავა ჩაერთოს სინთეზირებად პოლიპეპტიდურ ჟაჭვში, კავშირი ტ-რნმ-სთან უნდა გაწყდეს. ეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხდება, როდესაც ტ-რნმ რიბოსომაში შეაღწევს და მისი ანტიკოდონი ,,იცნობს" ი-რნმ-ის კოდონს.

რიბოსომის იმ უბნის ზომა, რომელშიც ტრანსლაცია მიმდინარეობს 6 ნუკლეოტიდის, ანუ ორი ტრიპლეტის ზომას შეესაბამება. რიბოსომაში მოხვედრილი ი-რნმ-ის მხოლოდ ის 2 ტრიპლეტია გააქტივებული, რომლებიც ამ უბანშია. ი-რნმ-ის ერთ ტრიპლეტთან დაკავშირებულია კომპლემენტარული ანტიკოდონის მქონე ტ-რნმ, რომლის მეორე ბოლოზე მიერთებულია სინთეზირებადი ცილის უკვე სინთეზირებული ნაწილი.



სურ. 5.2. სატრანსპორტო რნმ-ს აგებულების სქემა



სურ. 5.3. ტრანსლაციის პროცესის სქემატური გამოსახულება.

რიბოსომის აღნიშნულ უბანში მოხვედრილი ტ-რნმ-ებიდან ტრანსლაციის პროცესში მხოლოდ ის ჩაერთვება, რომლის ანტიკოდონი ი-ტრნმ-ის გააქტიურებული მეორე ტრიპლეტის კომპლემენტარულია. ამ ტ-რნმ-სთან დაკავშირებული ამინომჟავა მიიერთებს პოლიპეპტიდის ზრდად ჯაჭვს და მათ შორის პეპტიდური ბმა მყარდება. ამ პროცესთან თითქმის ერთდროულად რიბოსომა ერთი ბიჯით გადაადგილდება, ამინომჟავას გარეშე დარჩენილი ტ-რნმ ციტოპლაზმაში გადაისროლება, ხოლო ი-რნმ-ის ახლად გააქტიურებულ კოდონს (ტრიპლეტს) კომპლემენტარული ანტიკოდინის მქონე ტ-რნმ-ის მოლეკულა უკავშირდება და ა. შ. (*სურ. 5.3*).

როდესაც რიბოსომაში მოხვდება ი-რნმ-ის უაა, უაგ და უგა ტრიპლეტებიდან ერთ-ერთი, მაშინ იმის გამო, რომ ამ ტრიპლეტების ანტიკოდინი არ არსებობს, ცილის სინთეზი მთავრდება და სინთეზირებული პოლიპეპტიდური ჯაჭვი რიბოსომას სცილდება.

ტრანსლაციის პროცესი კი მაშინ იწყება, როდესაც ყოველი გენის კომპლემენტარული პოლირიბონუკლეოტიდის ანუ ი-რნმ-ის პირველ ადგილზე მდგომი ტრიპლეტი **აუგ** რიბოსომაში ისეთ პოზიციას დაიკავებს, რომ მასთან ურთიერთქმედებს სპეციალური ტ-რნმ, რომელთანაც დაკავშირებულია არა ამინომჟავა მეთიონინი, არამედ – **ფორმილმეთიონინი**. სწორედ ფორმილმეთიონინიდან იწყება ცილის სინთეზი. სინთეზის დამთავრების შემდეგ ეს ამინომჟავა სცილდება მზა ცილას.

ხშირად ი-რნმ უკავშირდება რამდენიმე რიბოსომას, ასეთ სტრუქტურას პოლისომა ეწოდება. მის შემადგენლობაში შემავალ ყოველ რიბოსომაში ერთი და იგივე ცილა სინთეზირდება.

ამრიგად, როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, ტრანსლაციის ანუ ამინომჟავებიდან პოლიპეპტიდური ჯაჭვის აწყობის პროცესიც მატრიცული სინთეზის რეაქციებს მიეკუთვნება.

თავი 6. ორგანიზმთა გამრავლება და ინდივიდური განვითარება

გამრავლება ანუ რეპროდუქცია ანუ თავისივე მსგავსი ახალი ინდივიდების წარმოქმნა ცოცხალ ორგანიზმთა ერთ-ერთი ძირითადი თვისებაა. ის უზრუნველყოფს მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემას თაობათა მონაცვლეობისას. ნებისმიერი სახეობა დისკრეტულია, ანუ ცალკეული ინდივიდებისაგან შედგება. სახეობის შემადგენელი ყოველი ინდივიდის სიცოცხლის ხანგრძლივობა სახეობის არსებობის ხანგრძლივობასთან შედარებით უმნიშვნელოა. გამრავლების მეშვეობით უზრუნველყოფილია თაობათა მორიგეობა და სახეობის შენარჩუნება. გამრავლებითაა განპირობებული სიცოცხლის უწყვეტობა დედამიწაზე. განარჩევენ გამრავლების ორ ძირითად ფორმას: **უსქესო და სქესობრივ გამრავლებას**.

6.1. უსქესო გამრავლება

უსქესო გამრავლებაში მხოლოდ ერთი მშობელი მონაწილეობს. შვილები გენეტიკურად მშობლის იდენტურნი არიან. ინდივიდთა შორის გენეტიკური განსხვავება სპონტანურად ინდუცირებული მუტაციის შედეგია. **ერთი მშობლის მიერ წარმოქმნილ გენეტიკურად იდენტურ შთამომავლობას კლონი ეწოდება.** კლონის წევრებს შორის განსხვავებას მოდიფიკაციური ცვალებადობა იწვევს. გამოყოფენ უსქესო გამრავლების რამდენიმე ტიპს *(ცხრ. 6.1)*.

ცხრილი 6.1.
ორგანიზმთა გამრავლების ფორმები

გამრავლება			
უსქესო		სქესობრივი	
ერთუჯრედიანებში	მრავალუჯერდიანებში	ერთუჯრედიანებში	მრავალუჯერდიანებში
ა) გაყოფით ბ) შიზოგონია გ) დაკვირტვით დ) სპორებით	ა)ვეგეტატიურად ბ) სპორებით გ) პოლიემბრიონია	ა) კონიუგაცია ბ) კოპულაცია	ა) განაყოფიერებით ბ) გაუნაყოფიერებლად

გაყოფით გამრაელება. ამ გზით მრავლდებიან ერთუჯრედიანი პროკარიოტული და ეუკარიოტული ორგანიზმები. გაყოფას წინ უძღვის პროკარიოტებში ნუკლეოიდის, ხოლო ეუკარიოტებში ბირთვის გაყოფა. უმეტეს შემთხვევაში ხდება ბინალური გაყოფა, რომლის დროსაც ორი შვილეული უჯრედი ყალიბდება. ამგვარად მრავლდებიან ბაქტერიები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები, მრავალი უმარტივესი, კერძოდ, შოლტიანებისა და ინფუზორების ზოგიერთი წარმომადგენლები. აღნიშნული ორგანიზმების უჯრედის გაყოფა საკმაოდ სწრაფი პროცესია. მაგალითად, ხელსაყრელ პირობებში მტკნარ წყლებში ბინადარი ერთუჯრედიანი ცხოველის – ამებას გაყოფას დაახლოებით 20 წუთი სჭირდება.

შიზოგონიის ანუ მრავლობითი გაყოფის დროს დედისეული უჯრედის ბირთვი თანმიმდევრულად რამდენიმე ბირთვად სწრაფად იყოფა. მათგან ერთბირთვიანი შვილეული უჯრედები ყალიბდება. ამგვარად მრავლდება ზოგიერთი წყალმცენარე, უმარტივესებიდან ზოგიერთი სპორიანი, კერძოდ, მალარიის პლაზმოდიუმი.

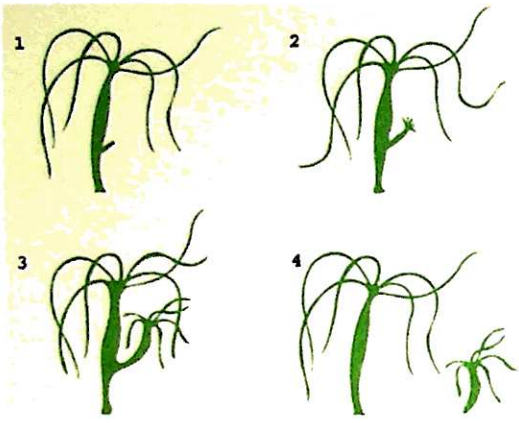
ერთუჯრედიანთა **დაკვირტვით** გამრავლების დროს დედისეულ უჯრედს უჩნდება გამონაზარდი კვირტის სახით, რომელშიც გადადის ნუკლეოიდი ან ბირთვი. კვირტი თანდათანობით იზრდება და ზომით დედისეული უჯრედის ზომას აღწევს. შემდეგ ის დედისეულ უჯრედს შორდება და დამოუკიდებლად ვითარდება. დაკვირტვით მრავლდება საფუარი სოკოები, ზოგიერთი ბაქტერია, უმარტივესებიდან – მწოველა ინფუზორიები.

სპორების წარმოქმნა (სპორულაცია). სპორა ერთბირთვიანი მიკროსკოპული ზომის რეპროდუქციული უჯრედია. იგი ჰაპლოიდია, რომელშიც მცირე რაოდენობითაა სამარაგო ნივთიერებები. ერთუჯრედიანებიდან სპორებით მრავლდებიან სპორიანები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები და სოკოები, მრავალუჯრედიანებიდან ხავსნაირები, გვიმრანაირები და სხვ. *(იხ. სურ. 3.6. – 3.8.)*

ხმელეთის ორგანიზმების (მაგალითად, სოკოების) სპორებს აქტიური მოძრაობის უნარი არა აქვს; სამაგიეროდ ისინი ძალზე მსუბუქია და ადვილად გადაიტანება ჰაერისა და წყლის ნაკადით. ხელსაყრელ პირობებში მოხვედრისას სპორა ღივდება და ახალ ინდივიდს აძლევს დასაბამს.

წყალმცენარეების სპორები შოლტებითაა შეიარაღებული, რომელთა მეშვეობით წყალში აქტიურად მოძრაობს.

ვეგეტატიური გამრავლების დროს ახალი ინდივიდების წარმოქმნა ხდება დედისეული ორგანიზმის



სურ. 6.1. ჰიდრას დაკვირტვით გამრავლების სქემა

სხეულის ნაწილიდან. ზოგიერთი ბიოლოგი ვეგეტატიურ გამრავლებას უსქესო გამრავლების მნიშვნელობით ხმარობს. ბუნებაში ვეგეტატიური გამრავლების ნაირგვარი ხერხი არსებობს. ამ გზით მრავლდებიან პრიმიტიული ცხოველები, ზოგიერთი უმდაბლესი და უმაღლესი მცენარე. **დაკვირტვით** გამრავლება ნიშანდობლივია ღრუბლებისა და ნაწლავღრუიანებისათვის. მაგალითად, ჰიდრას უჩნდება კვირტი, რომლის კედელი ექტოდერმისა და ენტოდერმისაგან შედგება. მისგან თანდათანობით ფორმირდება დედისეული ორგანიზმის მსგავსი ინდივიდი. იგი მოცილების შემდეგ დამოუკიდებელ ცხოვრებას იწყებს (*სურ. 6.1).* **ფრაგმენტაციის** (სხეულის დაყოფა ნაწილებად) დროს დედისეული სხეული ორ ან მეტ ნაწილად იყოფა. თითოეული მათგანი აღიდგენს დაკარგულ ნაწილს და ზრდასრულ ზომას აღწევს. **ფრაგმენტაციის** გზით მრავლდება ზოგიერთი ნაწლავღრუიანი, ბრტყელი და რგოლოვანი ჭია, ეკალკანიანი და სხვ. **ვეგეტატიური ორგანოებით** (მაგალითად, ფესურით, ბოლქვით, ტუბერით, პწკალით, ფოთლით და სხვ.). მრავლდება ზოგიერთი უმაღლესი მცენარე (*სურ. 6.2).*

უსქესო გამრავლების თავისებური ტიპია **პოლიემბრიონია.** ამდაგვარი გამრავლების დროს ემბრიონი რამდენიმე ნაწილად იყოფა და თითოეული მათგანი დამოუკიდებელ ორგანიზმად ყალიბდება. პოლიემბრიონიას ვხვდებით მწერებში, კერძოდ, მხედრებში. ძუძუმწოვრებიდან – ჯავშნიანებში. ამ გზით წარმოიქმნება ძუძუმწოვრებში, მათ შორის ადამიანებში მონოზიგოტური ტყუპები.



სურ. 6.2. ბრიოფილუმის ფოთლიდან განვითარებული კვირტები

სიცოცხლის განვითარების პროცესში უსქესო გამრავლება გაცილებით ადრე ჩამოყალიბდა. იგი 3 მილიარდ წელზე მეტია, რაც ორგანულ სამყაროში არსებობს და ორგანული სამყაროს თითქმის ყველა ძირითად ჯგუფში გვხვდება. უსქესო გამრავლება ხელს უწყობს როგორც ინდივიდთა რიცხოვნობის ზრდას, ისე მათ განსახლებას. უძრავ (მჯდომარე) და ნაკლებ მოძრავ ორგანიზმებში გაძნელებულია გამეტების შეხვედრა. ინდივიდთა მხოლოდ სქესობრივი გამრავლების შემთხვევაში მათი რიცხოვნობა შემცირდება. უსქესო გამრავლების მნიშვნელობა იმაშიც გამოიხატება, რომ შვილეული ორგანიზმი, რომელიც მშობელთან არის დაკავშირებული, ეფექტურად იყენებს ენერგიას და დიდ ზომას აღწევს. ამიტომ გაცილებით მეტია ასეთი ორგანიზმის არსებობისათვის ბრძოლაში გადარჩენისა და რეპროდუქციულ ასაკამდე მიღწევის ალბათობა.

6.2. სქესობრივი გამრავლება

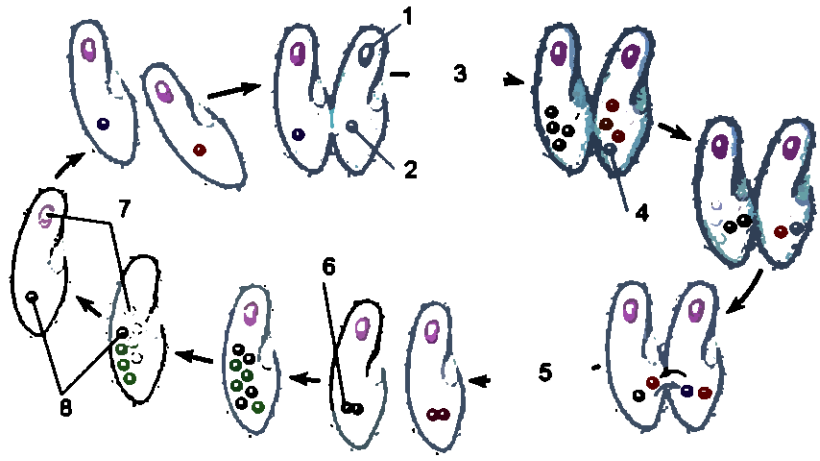
სქესობრივი გამრავლებაში ორი ინდივიდი მონაწილეობს. მათ ორგანიზმში ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტის მქონე სასქესო უჯრედები – **გამეტები** ყალიბდება. გამეტები ორი ტიპისაა: მდედრობითი და მამრობითი, მათი ურთიერთშერწყმით მიიღება დიპლოიდური უჯრედი — **ზიგოტა,** საიდანაც ახალი ორგანიზმი ვითარდება. პრიმიტიულ ორგანიზმებში კი გამეტები მხოლოდ ერთი ტიპისაა.

სქესობრივი გამრავლების დროს მიმდინარეობს ორი სხვადასხვა ორგანიზმის გენეტიკური მასალის გადანაწილება (რეკომბინაცია) შთამომავლობაში. სქესობრივი გამრავლება საფუძვლად უდევს კომბინაციურ ცვალებადობას.

ერთუჯრედიანებში სქესობრივი გამრავლების ორი ძირითადი ფორმა გვხვდება: კონუგაცია და კოპულაცია.

კონუგაცია სქესობრივი გამრავლების თავისებური ფორმაა. იგი გვხვდება ინფუზორიებში (*სურ 6.3*). ინფუზორიას აქვს ორი ბირთვი: დიდი – **მაკრონუკლეუსი** და მცირე – **მიკრონუკლეუსი.** კონუგაციის დროს ორი ინფუზორია პირის ხვრელით ეკვრის ერთმანეთს და ციტოპლაზმური ხიდაკით ერთდება. თითოეულ ინდივიდში მაკრონუკლეუსი იშლება. მიკრონუკლეუსიდან კი მეიოზის შედეგად ოთხი ჰაპლოიდი ბირთვი წარმოიქმნება. სამი ბირთვი იშლება, ერთი რჩება. ეს უკანასკნელი მიტოზის გზით იყოფა და ორი ბირთვი ყა-

ლიბდება: სტაციონარული და მიგრირებადი. ციტოპლაზმური ხიდაკის გავლით ხდება მიგრირებადი ბირთვების მიმოცვლა. სტაციონარული და პარტნიორისაგან გადმოსული მიგრირებადი ბირთვები ერთიმეორეს ერწყმის და მიიღება სინკარიონი, რომელშიც ქრომოსომათა დიპლოიდური რაოდენობაა. თითოეულ ინდივიდში რთული გარდაქმნის გზით ყალიბდება მიკრო– და მაკრონუკლეუსი. კონუგაციის შემდეგ ინდივიდები ერთმანეთს სცილდება. შემდგომ თითოეული მათგანი უსქესო გამრავლებას იწყებს.



სურ. 6.3. ქალამანას სქესობრივი გამრავლების სქემა
1 — მაკრონუკლეუსი, 2 — დიპლოიდური მიკრონუკლეუსი, 3 — მეიოზი, 4 — ჰაპლოიდური მიკრონუკლეუსი, 5 — სინგამია, 6 — დიპლოიდური მიკრონუკლეუსი, 7 — ახალი მაკრონუკლეუსები, 8 — მიკრონუკლეუსები.

კოპულაციას ვხედებით ზოგიერთ ერთუჯრედიან ორგანიზმში. ამ დროს ერთუჯრედიან ორგანიზმებში მეიოზის შედეგად ყალიბდება ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტის მქონე გამეტები, რომელთა ურთიერთ შერწყმით მიიღება დიპლოიდური ზიგოტა. ზოგიერთ ერთუჯრედიან ორგანიზმში წარმოქმნილი გამეტები მორფოლოგიურად (ფენოტიპურად) მსგავსია და მხოლოდ გენეტიკურად განსხვავდება. ისინი შეიცავს სქესის განმსაზღვრელ განსხვავებულ დეტერმინანტებს. ერთმანეთს ერწყმის სქესის განმსაზღვრელი განსხვაებული გენების მქონე გამეტები. სქესობრივი გამრავლების იმ უმარტივეს ფორმას, რომლის დროსაც ხდება მორფოლოგიურად მსგავსი გამეტების ურთიერთშერწყმა, **იზოგამია** ეწოდება. ის გვხვდება უმარტივესებში (ფესვფეხიანები, რადიოლარიები და სხვ.). ზოგიერთ ერთუჯრედიან წყალმცენარესა და უმდაბლეს სოკოში წარმოიქმნება მორფოლოგიურად განსხვაებული მოძრავი გამეტები. სქესობრივ პროცესს, რომლის დროსაც ერთმანეთს ერწყმის შედარებით დიფერენცირებული და ერთმანეთისაგან განსხვავებული გამეტები **ანიზოგამია** ეწოდება. **ოოგამიის** დროს ერთ-ერთ ორგანიზმში წარმოიქმნება დიდი ზომის, უძრავი (მდედრობითი), მეორეში კი მცირე ზომის მოძრავი (მამრობითი) გამეტები, იგი გვხვდება ზოგიერთ შოლტოსან ორგანიზმებში (მაგალითად, ვოლვოქსი).

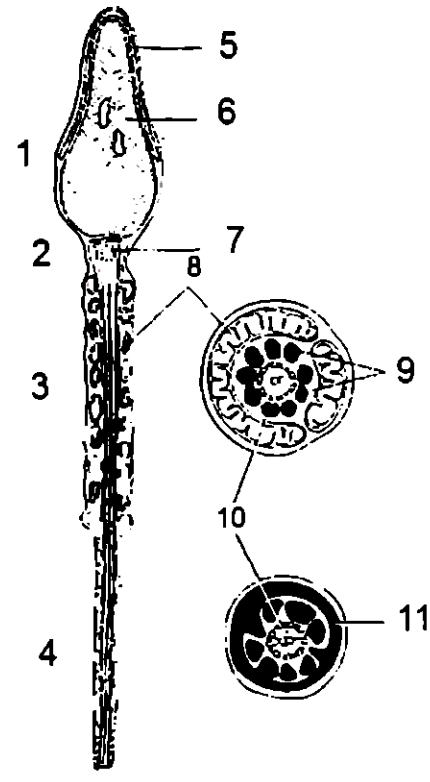
მრავალუჯრედიან ცხოველთა უმეტესობა მხოლოდ სქესობრივად მრავლდება. სახეობებს, რომლებშიც დამოუკიდებლად არსებობენ მდედრობითი და მამრობითი ინდივიდები, ცალსქესიანი ეწოდება. ამდაგვარია ცხოველთა დიდი ნაწილი და ადამიანი. ზოგიერთ შემთხვევაში სხვადასხვა სქესის ინდივიდები ერთმანეთისაგან გარეგნობითაც განსხვავდება, ე. ი. აღინიშნება **სქესობრივი დიმორფიზმი.** ზოგიერთი სახეობის ერთსა და იმავე ინდივიდში ყალიბდება მდედრობითი და მამრობითი გამეტები. ასეთ ორგანიზმს **ჰერმაფროდიტს** უწოდებენ. ჰერმაფროდიტიზმი სქესობრივი გამრავლების პრიმიტიულ ფორმადაა მიჩნეული. იგი ევოლუციურად დაბალ საფეხურზე მდგომ ფორმებში გვხვდება. კერძოდ, მჯდომარე, ნაკლებად მოძრავ და პარაზიტული ნირის ცხოველებში. მაგალითად, ზოგიერთ ნაწლავღრუიანებში, თასმა ჭიებში, რგოლოვან ჭიებში, ხმელეთის მოლუსკში (Helix) და სხვ.

მრავალუჯრედიან ცხოველებში გამეტები სასქესო ჯირკვლებში წარმოიქმნება, კერცხუჯრედები – **საკვერცხეებში,** სპერმადოზოიდები – **სათესლეებში.**

კერცხუჯრედი სფერული ან ოვალური ფორმისაა (*სურ. 6.4*). კერცხუჯრედი ზომით ჭარბობს ორგანიზმის როგორც სხვა უჯრედებს, ისე სპერმატოზოიდებს. ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა, კერცხუჯრედი დაფარულია გარსებით. მასში გროვდება ჩანასახისათვის საჭირო



სურ. 6.4. ძუძუმწოვრების კერცხუჯრედის სქემა
1 – ციტოპლაზმა,
2 – ბირთვი,
3 – გარსი,
4 – ფოლიკულური უჯრედები.



სურ. 6.5. სპერმატოზოიდის სქემა.
1 – თავი, 2 – ყელი, 3 – სხეული, 4 – კუდი, 5 – აკროსომა, 6 – ბირთვი, 7 – ცენტრიოლი, 8 – მიტოქონდრიები, 9 – მკვრივი ბოჭკოები, 10 – მიკრომილაკები, 11 – ბოჭკოვანი გარსი.

საკვები მასალა – **ყვითრი**. კვერცხუჯრედის ზომა სხვადასხვა სახეობის ცხოველში ვარირებს ყვითრის რაოდენობის მიხედვით. კვერცხისმდებელ ცხოველებში კვერცხუჯრედი გაცილებით დიდი ზომისაა, ვიდრე ცოცხლადმშობ ცხოველებში. პლაცენტიანი ძუძუმწოვრების კვერცხუჯრედი მცირე ზომისაა, მისი ზომა 50-180 მკმ შეადგენს, ადამიანში 89-91 მკმ-ია. ზოგიერთ კვერცხისმდებელ ცხოველში კვერცხუჯრედი საკმაოდ დიდი ზომისაა. მაგალითად, მექანაყე ზვიგენში კვერცხუჯრედის სიგრძე 29 სმ-ია, სირაქლემას კვერცხის დიამეტრი 10,5 სმ-ია, ქათმისა კი 3,5 სმ.

სპერმატოზოიდი მოძრაობის უნარის მქონე მცირე ზომის ჰაპლოიდური უჯრედია (*სურ. 6.5*). ძუძუმწოვრების სპერმატოზოიდს გააჩნია თავი. მისი ძირითადი ნაწილია ბირთვი და მის აპიკალურად მოთავსებული აკროსომა, რომელიც შემოსაზღვრულია მემბრანით და შეიცავს ჰიდროლიზურ ფერმენტებს. მისი მეშვეობით სპერმატოზოიდი იჭრება კვერცხუჯრედში. ზოგჯერ სპერმატოზოიდის თავს მოსდევს ვიწრო ყელი, რომლის შემდეგ მდებარეობს შუა ნაწილი. შუა ნაწილში მოთავსებულია ორი ცენტრიოლი. მას გარშემო აკრავს სპირალურად განლაგებული მიტოქონდრიები, ე. წ. თანმხლები ბირთვი. სპერმატოზოიდის მეტაბოლური და ენერგეტიკული აქტივობა ამ უბანთანაა დაკავშირებული. კუდის მთავარი ელემენტია ღერძული ძაფი. იგი იწყება შუა ნაწილში მოთავსებული ცენტრიოლიდან. კუდის მეშვეობით სპერმატოზოიდი მოძრაობს. თითოეული სახეობისათვის დამახასიათებელია სპერმატოზოიდის განსაზღვრული ფორმა და ზომა. იგი არ არის დამოკიდებული ცხოველის განვითარების დონესა და ზომაზე (მაგ. ბუღის სპერმატოზოიდის სიგრძეა 65 მკმ, ადამიანისა – 50-60 მკმ, ბეღურისა - 200 მკმ).

6.3. სასქესო უჯრედების ჩამოყალიბება ცხოველებში

სასქესო უჯრედების ანუ გამეტების წარმოქმნის პროცესს **გამეტოგენეზი** ეწოდება. გამეტოგენეზი მრავალუჯრედიან ცხოველებში სპეციალურ ორგანოებში – სასქესო ჯირკვლებში მიმდინარეობს. გამეტოგენეზის შედეგად ყალიბდება სპეციალიზებული ჰაპლოიდური უჯრედები, რომელთა მთავარი ფუნქცია მემკვიდრეობითი მასალის შთამომავლობით გადაცემაა.

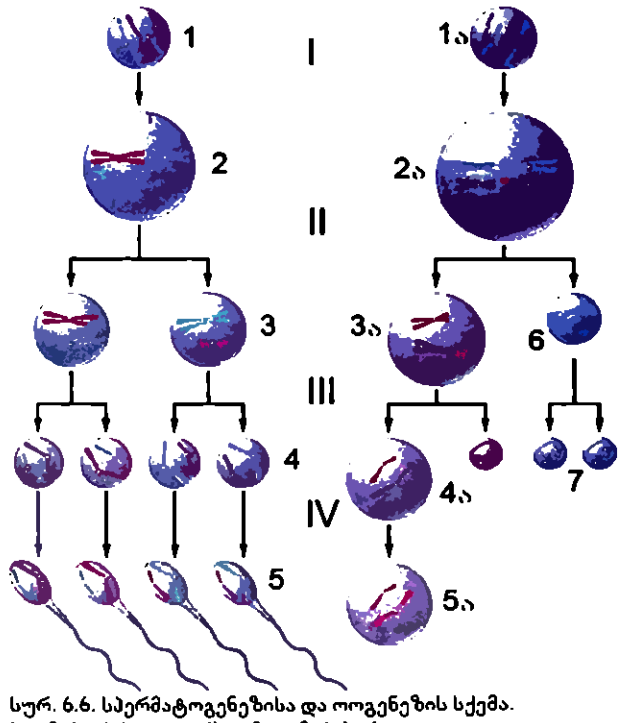
სპერმატოგენეზი არის მამრობითი სასქესო უჯრედების წარმოქმნის პროცესი. ის **გამრავლების, ზრდის, მომწიფებისა** და **ფორმირების** პერიოდებისაგან შედგება (სურ 6.6). გამრავლების პერიოდში დიპლოიდური პირველადი სასქესო უჯრედები – **სპერმატოგონიები** მიტოზურად იყოფა, რის შედეგად მათი რიცხვი იზრდება. შემდეგ სპერმატოგონიები შედიან ზრდის პერიოდში და მათი ინტენსიური ზრდა მიმდინარეობს. მათ **პირველი რიგის სპერმატოციტები** ეწოდება. მათი გენეტიკური აპარატი რედუქციისათვის ემზადება. მომწიფების პერიოდში უჯრედები ორჯერ თანამიმდევრულად იყოფა (მეიოზი), რის გამოც ქრომოსომათა რიცხვი ნახევრდება. პირველი მოსამწიფებელი გაყოფის შედეგად წარმოიქმნება ორი შეილეული უჯრედი მათ **მეორე რიგის სპერმატოციტები** ეწოდება. მეორე მოსამწიფებელი გაყოფის შედეგად მიღებულ უჯრედებს კი — **სპერმატიდები**. მეოთხე — ფორმირების პერიოდში სპერმატიდები **სპერმატოზოიდებად** გარდაიქმნება. სპერმატიდები ჩაფლულია სპეციფიური ე.წ. სერტოლის უჯრედების ციტოპლაზმაში, სადაც მათი სპერმატოზოიდებად გარდაქმნა ხდება. ამრიგად, ყოველი პირველი რიგის სპერმატოციტიდან ოთხი ტოლფასოვანი სპერმატოზოიდი მიიღება.

ოოგენეზი არის მდედრობითი სასქესო უჯრედების წარმოქმნის პროცესი და მასში გამოყოფენ სამ პერიოდს: **გამრავლების, ზრდის და მომწიფების** (*სურ. 6.6*). გამრავლების პერიოდში პირველადი სასქესო უჯრედები – **ოოგონიები** მიტოზურად იყოფა, რის შედეგად მათი რაოდენობა მკვეთრად მატულობს. შემდეგ ისინი შედიან ზრდის პერიოდში და **პირველი რიგის ოოციტები** ეწოდებათ. ამ უჯრედების ბირთვის გენეტიკური აპარატი რედუქციისათვის ემზადება. ციტოპლაზმაში გროვდება ჩანასახისათვის საჭირო სამარაგო მასალა – ყვითრი, რის გამოც უჯრედების ზომები მკვეთრად იზრდება. ოოგენეზში ზრდის პერიოდი სპერმატოგენეზთან შედარებით გაცილებით ხანგრძლივია. მომწიფების პერიოდში პირველი რიგის ოოციტი

ორჯერ თანამიმდევრულად იყოფა (მეიოზი). პირველი გაყოფის შედეგად მიიღება დიდი ზომის **მეორე რიგის ოოციტი და მცირე ზომის პირველი რიგის მიმართულებითი სხეულაკი (პოლიციტი).** ამავე პერიოდში პირველი რიგის მიმართულებითი სხეულაკი ასწრებს გაყოფას და წარმოიქმნება ორი მეორე რიგის პოლიციტი. მომწიფების პერიოდში გაყოფის შედეგად მეორე რიგის ოოციტიდან ერთი დიდი ზომის **ოოტიდი** და ერთი მეორე რიგის პოლიციტი წარმოიქმნება. ამრიგად მომწიფების პერიოდის ბოლოს ყოველი პირველი რიგის ოოციტდან მიიღება ოთხი ჰაპლოიდური უჯრედი - ერთი დიდი ზომის ოოტიდი, რომელიც კვერცხუჯრედად ყალიბდება, და სამი მცირე ზომის მიმართულებითი სხეულაკი, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში იშლება.

6.4. მეიოზი

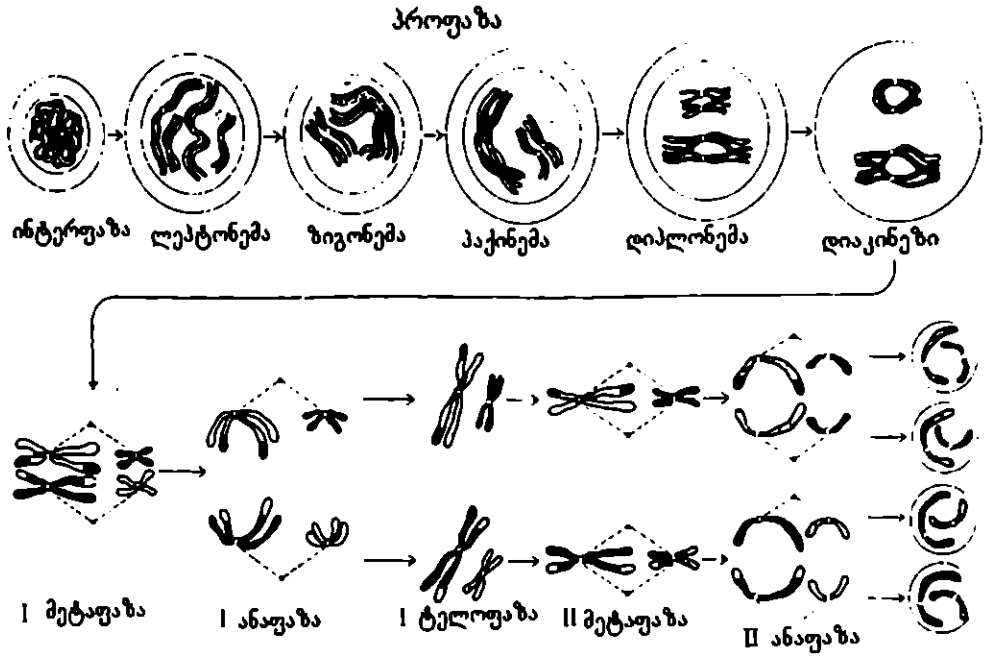
მეიოზი უჯრედის ორი სწრაფი, ურთიერთმომდევნო გაყოფაა, რომლის დროსაც მხოლოდ ერთხელ ხდება ქრომოსომათა გაორმაგება და ერთი დედისეული უჯრედიდან ოთხი უჯრედი წარმოიქმნება. ამ ოთხ უჯრედს, დედისეული უჯრედისაგან განსხვავებით ქრომოსომათა განახევრებული რაოდენობა აქვს. მაგალითად, მეიოზის შედეგად ერთი დიპლოიდური უჯრედიდან ოთხი ჰაპლოიდური უჯრედი წარმოიქმნება (**ქვემოთ განხილული იქნება დიპლოიდური უჯრედის მეიოზური გაყოფა**). მეიოზი სასქესო უჯრედების ფორმირების პირობაა. მეიოზის როგორც პირველი, ასევე მეორე გაყოფის პროცესში იმავე ფაზებს განარჩევენ, რასაც მიტოზური გაყოფის დროს. მეტად სპეციფიურად და შედარებით ხანგრძლივად მიმდინარეობს მეიოზის პირველი – **რედუქციული გაყოფის პროფაზა.** ამიტომ პირველი გაყოფის პროფაზა, თავის მხრივ, რამდენიმე სტადიად არის დაყოფილი (*სურ. 6.7*).



სურ. 6.6. სპერმატოგენეზისა და ოოგენეზის სქემა.
I — ზრდის სტადია, II – მეიოზის პირველი გაყოფა,
III — მეიოზის მეორე გაყოფა, IV — ფორმირების სტადია,
1 — სპერმატოგონია, 1ა — ოოგონია,
2 — პირველი რიგის სპერმატოციტი, 2ა — პირველი რიგის ოოციტი,
3 — მეორე რიგის სპერმატოციტები, 3ა — მეორე რიგის ოოციტი,
4 — სპერმატიდები, 4ა — ოოტიდი,
5 — სპერმატოზოიდები, 5ა — კვერცხუჯრედი,
6 — პირველი რიგის პოლიციტი,
7 — მეორე რიგის პოლიციტები

<table>
<tr><td colspan="3">ინტერფაზა I</td></tr>
<tr><td rowspan="6">მეიოზის პირველი გაყოფა</td><td rowspan="6">პროფაზა I</td><td>პროლეპტონემა</td></tr>
<tr><td>ლეპტონემა</td></tr>
<tr><td>ზიგონემა</td></tr>
<tr><td>პაქინემა</td></tr>
<tr><td>დიპლონემა</td></tr>
<tr><td>დიაკინეზი</td></tr>
<tr><td></td><td>პრომეტაფაზა I</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td>მეტაფაზა I</td></tr>
<tr><td></td><td>ანაფაზა I</td></tr>
<tr><td></td><td>ტელოფაზა I</td></tr>
<tr><td colspan="3">ინტერფაზა II (ინტერკინეზი)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">მეიოზის მეორე გაყოფა</td><td>პროფაზა II</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>მეტაფაზა II</td></tr>
<tr><td>ანაფაზა II</td></tr>
<tr><td>ტელოფაზა I</td></tr>
</table>

სურ. 6.7. მეიოზური გაყოფის სტადიები.



სურ. 6.8. მეიოზის ფაზების სქემატური გამოსახულება.

მეიოზის პირველი გაყოფა (*სურ. 6.8*). პირველ გაყოფას წინ უსწრებს ინტერფაზის სტადია, რომლის დროსაც ადგილი აქვს დნმ-ს რეპლიკაციას. ეს პროცესი ისევე მიმდინარეობს, როგორც მიტოზური გაყოფის ინტერფაზაში.

პროლეპტონემის სტადია მიტოზის ადრეული პროფაზის მსგავსია. ამ სტადიაზე ქრომოსომები უწვრილესი ძაფების სახითაა წარმოდგენილი. აქვს ძლიერი სპირალიზებული უბნები – ქრომომერები, რომელთა რაოდენობა და მდებარეობა სპეციფიკური და მუდმივია. მკაფიოდ ჩანს, რომ ქრომოსომები ორი ქრომატიდისაგან შედგება.

ლეპტონემის, ანუ **წერილი ძაფების სტადიაზე**, პროლეპტონემის სტადიასთან შედარებით, ქრომოსომები უკეთ შესამჩნევია. კარგად ჩანს, რომ ყოველი ქრომოსომა შედგება ორი ძაფისაგან. ამ სტადიაში ქრომოსომები მოკლდება და მსხვილდება. ლეპტონემის სტადიაზე უჯრედში გაორმაგებული ქრომოსომების დიპლოიდური ნაკრებია.

ზიგონემის სტადიაზე მიმდინარეობს ჰომოლოგიური ქრომოსომების დაწყვილება, ადგილი აქვს მათ დაკავშირებას ანუ **კონიუგაციას**. ჰომოლოგიურ წყვილთა დაკავშირება ქრომოსომების ერთ ან რამდენიმე ნერტილში იწყება და თანდათანობით ქრომოსომებს მთლანად მოიცავს.

პაქინემის სტადიაზე ქრომოსომები საგრძნობლად მოკლდება და მსხვილდება. თითოეული სქელი ძაფი წარმოადგენს ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა წყვილს, ე. წ. **ბივალენტს**, რომელიც ოთხი ქრომატიდისაგან შედგება. ამიტომ ბივალენტს **ტეტრადაც** ეწოდება. ყოველ ბივალენტში კი ორი ცენტრომერაა. პაქნიემის შუა პერიოდში ადგილი აქვს ქრომოსომების გახლეჩვას, რომელსაც შეიძლება თან ახლდეს ქრომატიდებს შორის ჰომოლოგიური უბნების გაცვლა – **კროსინგოვერი**. ვინაიდან ყოველი ტეტრადა შედგება ჰომოლოგიური ქრომოსომების წყვილისაგან, ნათელია, რომ ტეტრადების რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია. მაგალითად, პაქინემის სტადიაზე ადამიანის პირველად სასქესო უჯრედებში 23 ტეტრადა და 92 ქრომატიდაა.

დიპლონემის, ანუ **ორმაგი ძაფების სტადიაზე** მჭიდროდ დაკავშირებული ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთს სცილდება, მაგრამ ჯერ კიდევ შენარჩუნებულია ურთიერთდაკავშირებული უბნები. წარმოქმნილია ბერძნული ასოს X-ს მსგავსი ფიგურები, ე. წ. **ქიაზმები**. ქიაზმების რაოდენობა საკმაოდ მერყეობა და ზოგიერთ ჰომოლოგიურ წყვილში შეიძლება ძალიან ბევრიც კი იყოს.

დიპლონემის და, განსაკუთრებით, **დიაკინეზის სტადიაზე** ქიაზმების რაოდენობა თანდათანობით მცირდება. ბივალენტები ეკვატორული სიბრტყისაკენ იწყებენ მოძრაობას (**ამ პერიოდისათვის უჯრედის პოლუსები და გაყოფის თითისტარას ძაფები უკვე ფორმირებულია**). ეს უკვე პირველი გაყოფის **პრომეტაფაზის** სტადიაა.

პირველი გაყოფის **მეტაფაზა** ბივალენტების ეკვატორულ სიბრტყეში ორიენტაციით პრინციპულად განსხვავდება მიტოზის მეტაფაზისაგან. ყოველ ბივალენტს ორი ცენტრომერა აქვს. ამიტომ ბივალენტები ეკვა-

ტორულ სიბრტყეში ისე ლაგდება, რომ მისი შემადგენელი ქრომოსომები პოლუსების მიმართ სიმეტრიულად არიან ორიენტირებული და მანძილი ქრომოსომასა და პოლუსებს შორის თანატოლია. ურთიერთპარალელურად განლაგებული ჰომოლოგიური წყვილის ყოველი ქრომოსომა შედგება ცენტრომერულ უბანში ერთმანეთთან მჭიდროდ დაკავშირებული ორი ქრომარიდისაგან. ცენტრომერულ უბანშივე უკავშირდება ქრომოსომას გაყოფის თითისტარას ძაფები. არაჰომოლოგიურ ქრომოსომათა ურთიერთგანლაგება კი შემთხვევითი ხასიათისაა.

პირველი გაყოფის **ანაფაზაში** ყოველი ტეტრადია დიადებად იყოფა – ყოველი ტეტრადიდან ერთი ქრომოსომის ორივე ქრომატიდა ცენტრომერული უბნით ერთი პოლუსისაკენ, მეორე კი მეორე პოლუსისაკენ წარიტაცება. მიტოზის ანაფაზაში კი პოლუსებისაკენ წარიტაცება შეილეული ქრომოსომები, რომლებიც მეტაფაზაში ქრომოსომის ცენტრომერული უბნის გაორმაგებისა და ქრომატიდების დაცილების შედეგად წარმოიქმნა.

პირველი გაყოფის **ტელოფაზაში**, როდესაც ქრომოსომათა ყოველი ჰომოლოგური წყვილიდან ერთი ერთ პოლუსთანაა, მეორე კი - მეორე პოლუსთან, ხდება ბირთვის გარსის აღდგენა და ციტოპლაზმის გაყოფა.

ამრიგად, **მეიოზის პირველი ანუ რედუქციული გაყოფის შედეგად ერთი დიპლოიდური უჯრედიდან წარმოიქმნება ორი ჰაპლოიდური უჯრედი, რომლებშიც ყოველი ქრომოსომა ორი ქრომატიდისაგან შედგება**.

მეიოზის პირველ და მეორე გაყოფას შორის პერიოდს **ინტერკინეზი** ეწოდება. ამ დროს ადგილი აქვს გაყოფის შედეგად ნარმოქმნილი ორივე უჯრედის ბირთვების სტრუქტურის მეტ-ნაკლებად მიახლოებას ჭეშმარიტად ინტერფაზული ბირთვის სტრუქტურასთან. უმეტეს შემთხვევაში ამ დროს არც ბირთვაკი ყალიბდება და, რაც მთავარია, არ ხდება დნმ-ს რეპლიკაცია.

ინტერკინეზს **მეიოზის მეორე ანუ ეკვაციური გაყოფა** მოსდევს, რომელიც მიტოზისაგან თითქმის არ განსხვავდება. მეორე გაყოფის პროფაზაში მიმდინარეობს ყველა ის პროცესი, რომელიც მიტოზის პროფაზისათვისაა დამახასიათებელი. უჯრედში ქრომოსომათა ჰაპლოიდური ნაკრებია; ყოველი ქრომოსომა შედგება ორი ქრომატიდისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული. მეტაფაზაში ქრომოსომები ეკვატორულ სიბრტყეში ლაგდება, ამავდროულად ცენტრომერაც ორმაგდება და მათ გაყოფის თითისტარას ძაფები უკავშირდება. მეორე გაყოფის ანაფაზა და ტელოფაზა მიტოზის ამავე ფაზების ანალოგიურად მიმდინარეობს, ანუ საბოლოო ჯამში ყოველ პოლუსთან ქრომოსომათა ჰაპლოიდური ნაკრები გროვდება, ხდება ბირთვების გარსის აღდგენა და ქრომოსომათა დესპირალიზაცია. მეიოზის მეორე გაყოფა ციტოკინეზით მთავრდება.

ამრიგად, **ერთი დიპლოიდური უჯრედის მეიოზური გაყოფის შედეგად ნარმოიქმნება ოთხი ჰაპლოიდური უჯრედი, რომლებიც ქრომოსომათა ყოველი ჰომოლოგიური წყვილიდან მხოლოდ ერთ ქრომოსომას შეიცავს.**

მეიოზის ბიოლოგიური მნიშვნელობა შემდეგში მდგომარეობს:

1. მეიოზში ქრომოსომათა რიცხვის რედუქციითა და განაყოფიერებისას ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტის აღდგენით ხორციელდება თაობათა მონაცვლეობისას სახეობისათვის დამახასიათებელი ქრომოსომათა მუდმიეი რიცხვის შენარჩუნება.

2. მეიოზი საფუძვლად უდევს კომბინაციურ ცვალებადობას. მეიოზის შედეგად დიდი რაოდენობით ნარმოიქმნება არაჰომოლოგიურ ქრომოსომათა ახალი კომბინაციები. დიპლოიდურ კომპლექტში ჰომოლოგიური წყვილიდან ერთი ქრომოსომა დედისეულია, მეორე – მამისეული. მეიოზის დროს პოლუსებზე მათი შემთხვევითი გადანაწილების შედეგად უჯრედში წარმოიქმნება 2^n რაოდენობის ახალი თანწყობა. დროზოფილას აქვს 4 წყვილი ქრომოსომა, კომბინაციათა რაოდენობა ტოლია $2^4=16$, ადამიანში $2^{23}=8388608$; ქრომოსომათა შემთხვევითი გადანაწილება პოლუსებზე საფუძვლად უდევს მენდელიზმს.

3.კროსინგოვერის დროს ასევე ხდება გენეტიკური მასალის რეკომბინაცია. მისი მეშვეობით ხორციელდება ერთ ქრომოსომაში განლაგებული გენების გადანაწილება და ახალი კომბინაციების ჩამოყალიბება.

6.5. განაყოფიერება ცხოველებში

სქესობრივი გამრაელებისას ახალ ორგანიზმს დასაბამს აძლევს მამრობითი და მდედრობითი გამეტების შერწყმის ანუ **განაყოფიერების** შედეგად ნარმოქმნილი უჯრედი, რომელსაც **ზიგოტა** ეწოდება. განაყოფიერებით აღდგება ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი, რომელიც სომატური და მოუმწიფებელი სასქესო უჯრედებისათვისაა დამახასიათებელი. ცხოველების განაყოფიერებას ნინ უძღვის დათესლვა. როდესაც დათესლვა (სპერმატოზოიდის კონტაქტი კვერცხუჯრედთან და მისი შეღწევა კვერცხუჯრედში) ორგანიზმის გარეთ მიმდინარეობს, მას **გარეგან განაყოფიერებას** უწოდებენ. იგი ახასიათებს წყლის ცხოველთა უმეტესობას (მაგალითად, ნანლაელრუიანები, თევზები, ამფიბიები და სხვ.). როდესაც დათესლვა მდედრის სასქესო გზებში ხდება, მას **შინაგანი განაყოფიერება** ეწოდება. იგი ძირითადად ხმელეთის ფორმებს (მწერები, ქვეწარმავლები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები და სხვ.) ახასიათებთ. განაყოფიერების პროცესში ხორციელდება კვერცხუჯრედის გააქტიურება და ცალსქესიან ცხოველებში სქესის განსაზღვრა.

გამეტების შეხვედრას ხელს უწყობს კვერცხუჯრედის მიერ გარემოში გამოყოფილი ქიმიური ნივთიერე-

ბები – **გამონები**. ისინი ააქტიურებენ სპერმატოზოიდებს. ზოგიერთი ცხოველის კვერცხუჯრედს აქვს მცირე ზომის ხვრელი – **micropile**, რომლის გზითაც სპერმატოზოიდი აღწევს კვერცხუჯრედში. მრავალი სახეობის ცხოველის კვერცხუჯრედს micropile არ გააჩნია. კვერცხუჯრედში სპერმატოზოიდის შეღწევა აკროსომაში არსებული ფერმენტებით ხორციელდება. ფერმენტები შლიან კვერცხუჯრედის გარსს და კვერცხუჯრედში სპერმატოზოიდი შედის (მეტწილად თავი და შუა ნაწილი). სპერმატოზოიდის შეღწევის შემდეგ კვერცხუჯრედის ზედაპირზე ნარმოიქმნება გარსი, რომელიც ხელს უშლის სხვა სპერმატოზოიდების შეღწევას მრავალი ორგანიზმის კვერცხუჯრედში მხოლოდ ერთი სპერმატოზოიდი აღწევს: (მონოსპერმია), მაგრამ ზოგჯერ აღინიშნება პოლისპერმიაც (მრავალი სპერმატოზოიდის შეღწევა). პოლისპერმია ახასიათებს ზოგიერთ მწერს, თევზებს, ფრინველებს და სხვ. განაყოფიერების პროცესში მაინც ერთი სპერმატოზოიდი მონაწილეობს, დანარჩენი იღუპება. კვერცხუჯრედში მამრობითი და მდედრობითი ბირთვები ანუ **პრონუკლეუსები** ერთმანეთს ერწყმის, რის შედეგადაც ქრომოსომათა რაოდენობა კვლავ დიპლოიდური ხდება, აღდგება ჰომოლოგიური წყვილები, რომელთაგან ერთი ქრომოსომა დედისეულია, ხოლო მეორე მამისეული.

გამეტების შემთხვევითი შერწყმის შედეგად მიიღება გენთა ახალი კომბინაციების მქონე ზიგოტები. პოპულაციაში იქმნება ინდივიდთა გენეტიკური ნაირგვარობა ანუ ჰეტეროგენულობა, რაც მდიდარი მასალაა ბუნებრივი გადარჩევისათვის.

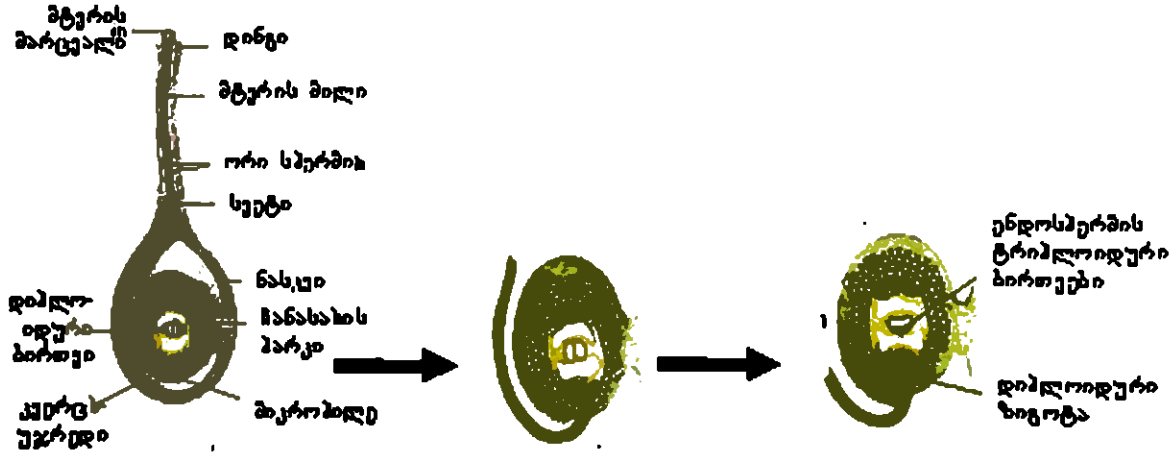
6.6. სასქესო უჯრედების ჩამოყალიბება და ორმაგი განაყოფიერება ყვავილოვან მცენარეებში

ყვავილოვანი (ფარულთესლოვანი) მცენარეები გამოირჩევა სასქესო უჯრედების განვითარებისა და განაყოფიერების თავისებურებებით. ამ მცენარეებში განაყოფიერების პროცესს წინ უსწრებს ძალზე რედუცირებული **ჰაპლოიდური** თაობის – **გამეტოფიტების** ნარმოქმნა.

ფარულთესლოვანების მდედრობითი ორგანოა **ბუტკო**, რომელიც **დინგის, სვეტისა და ნასკვისაგან** შედგება. ნასკვი ბუტკოს ქვედა გაფართოვებული ნაწილია, რომელშიც მოთავსებულია ერთი ან რამდენიმე **თესლკვირტი** (*სურ.* 6.9.). განაყოფიერების შემდეგ თესლკვირტიდან **თესლი** ეითარდება, ნასკვიდან კი – **ნაყოფი**.

თესლკვირტის ცენტრალური ნაწილია **ნუცელუსი** (ლათ. nucella – პატარა კაკალი). ნუცელუსში დიფერენცირდება **მეგასპოროფიტი**, რომლის ბირთვის გაყოფის შედეგად ოთხი ჰაპლოიდური **მეგასპორა** ნარმოიქმნება. მათგან სამი იღუპება, ერთიდან კი **მდედრობითი გამეტოფიტი** ანუ **ჩანასახის პარკი** ეითარდება. ჩანასახის პარკის ბირთვის პირველი მიტოზური გაყოფის შემდეგ ნარმოქმნილი ორი შვილეული ბირთვი მიემართება ერთმანეთის მოპირდაპირე – **ქალაზური** და **micropile** პოლუსებისაკენ. აქ ისინი კიდევ ორჯერ იყოფა და ორივე პოლუსთან ოთხ-ოთხი ბირთვი აღმოჩნდება. მათგან სამ-სამი ცალკეულ უჯრედებად ყალიბდება, დარჩენილი თითო-თითო ბირთვი ჩანასახის პარკის ცენტრისაკენ გადაადგილდება, ერთმანეთს ერწყმის და ყალიბდება **დიპლოიდური ბირთვი**. micropile პოლუსთან არსებული სამი უჯრედიდან ორს **სინერგიდები** ენოდება, ერთი კი **კვერცხუჯრედია**. ამრიგად, მომწიფებული ჩანასახის პარკი შეიდ უჯრედს შეიცავს *(სურ. 6.9)*.

ფარულთესლოვნების მამრობითი გამეტოფიტია **მტვრის მარცვალი**. ის მამრობით ორგანოში **მტვრიანაში** ეითარდება. მტვრიანა შედგება მტვრიანას ძაფისა და სამტვრე პარკისაგან. მტვრის მარცვალი დაფარულია ორი გარსით. გარეთა გარსს ეწოდება **ეგზინა**, შიგნითას — **ინტინა**. ეგზინას აქვს გათხელებული უბნები,



სურ. 6.9 ორმაგი განაყოფიერების სქემა

ე. წ. **აპერტურები**, საიდანაც მტვრის მილი ადვილად გამოიზრდება. მტვრის მარცვალში ორი – ვეგეტატიური და გენერაციული უჯრედია.

მტვრის მარცვალი, ბუტკოს დინგზე მოხვედრის ანუ დამტვერვის შემდეგ, იწყებს ბუტკოში ჩაზრდას, რაც მარცვლის გაჯირჯვებასა და ვეგეტატიური უჯრედიდან მტვრის მილის წარმოქმნაში გამოიხატება (*სურ. 6.9*). მტვრის მილის წვეროდან გამოყოფილი ნივთიერება ბუტკოს დინგისა და სვეტის დარბილებას იწვევს. სამტვრე მილის ზრდასთან ერთად მასში გადადის ვეგეტატიური და გენერაციული ბირთვები. ეს უკანასკნელი იყოფა და ორი **სპერმია** ნარმოიქმნება. ჩანასახის პარკში შეღწევის შემდეგ მტვრის მილი ირღვევა, ერთი სპერმია კვერცხუჯრედს შეერწყმის და ნარმოიქმნება დიპლოიდური ზიგოტა, რომელიც ჩანასახს აძლევს დასაბამს. მეორე სპერმია ცენტრალურ დიპლოიდურ ბირთვს ერწყმის, წარმოიქმნება ტრიპლოიდური ბირთვი, რომლისგანაც ენდოსპერმი ვითარდება. ამრიგად, ყვავილოვან მცენარეებში ადგილი აქვს ორმაგ განაყოფიერებას და განაყოფიერების შედეგად წარმოქმნილ თესლში ჩანასახი დიპლოიდურია, ენდოსპერმი კი – ტრიპლოიდური.

6.7. სქესობრივი გამრავლების არარეგულარული ტიპები

ორგანული სამყაროს პროგრესულ განვითარებაში სქესობრივი გამრავლება არსებით როლს ასრულებს. ცალკეულ შემთხვევაში კერძო ეოლუციური შეგუებების სახით ჩამოყალიბდა სქესობრივი გამრაელების ნაირგვარი მდგრადი დარღვევა, კერძოდ: **პართენოგენეზი, გინოგენეზი** და **ანდროგენეზი**. ნიშანდობლივია მათი მეორადი ბუნება. თითოეული მათგანი ადრე არსებული სქესობრივი გამრაელების საფუძველზეა წარმოშობილი (*სურ. 6.10*).

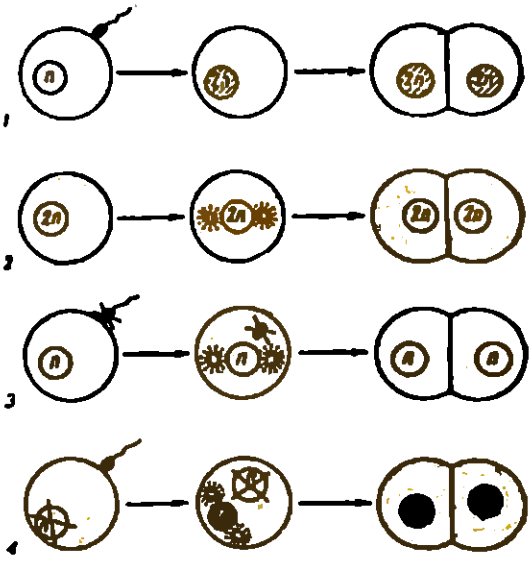
პართენოგენეზი. გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედიდან ჩანასახის განვითარებას პართენოგენეზი ეწოდება. ეს არის სქესობრივი გამრავლება განაყოფიერების გარეშე. პართენოგენეზი გვხვდება როგორც ცხოველებში, ისე მცენარეებში. მცენარეებში გამრაელების ამ ფორმის აღსანიშნავად ტერმინი **„აპომიქსისი"** გამოიყენება. პართენოგენეზი აღწერილია უხერხემლო ცხოველთა ყველა ტიპში, ასევე ხერხემლიან ცხოველებში (გამონაკლისია ძუძუმწოერები). პართენოგენეზის შემთხვევაში უსქესო გამრავლების მსგავსად ახალ ორგანიზმს დასაბამს ერთი ინდივიდი აძლევს. იგი სქესობრივი გამრავლებაა, ვინაიდან ორგანიზმი ვითარდება სასქესო უჯრედებიდან – სახელდობრ, კვერცხუჯრედიდან, ხოლო უსქესო გამრავლების დროს შთამომაელობა სომატური უჯრედებიდან წარმოიქმნება.

პართენოგენეზი შეიძლება იყოს **ფაკულტატური** და **ობლიგატური. ფაკულტატური პართენოგენეზი** გვხვდება ფუტკრებში, ჭიანჭველებში, მხედრებში და სხვ. ამ შემთხვევაში ინდივიდები მრავლდება როგორც პართენოგენეზით, ისე განაყოფიერებით. მდედრი ინდივიდი ორი სახის კვერცხს დებს: განაყოფიერებულს (ვითარდებიან მდედრები) და გაუნაყოფიერებელს (ვითარდებიან მამრები). ამ ცხოველებში პართენოგენეზი ეოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებული ადაპტაციაა. მისი მეშვეობით ხორციელდება სქესის რეგულაცია.

ობლიგატური ანუ ციკლური პართენოგენეზი გვხვდება დაფნიებში, ბუგრებში, ციბრუტელებში და სხვ. მათში პართენოგენეზული და განაყოფიერებით წარმოქმნილი თაობები მორიგეობს. ოპტიმალურ პირობებში – (ჩვეულებრივ ზაფხულში) პართენოგენეზული მდედრების რამდენიმე თაობა ჩნდება. არახელსაყრელ პირობებში (საკვების ნაკლებობა, დაბალი ტემპერატურა და ა. შ.) მდედრები ჰაპლოიდურ კვერცხებს დებენ, საიდანაც მამრები იჩეკებიან. სქესობრივი პროცესის შედეგად მდედრები განაყოფიერებულ დიპლოიდურ კვერცხებს დებენ, საიდანაც მდედრები ვითარდებიან. აღწერილია პოპულაციები (კავკასიური კლდის ხელიკი და სხვ.), რომლებშიც პართენოგენეზი გამრაელების ძირითადი ფორმაა. ისინი მხოლოდ მდედრი ინდივიდებისაგან შედგებიან. ევოლუციის პროცესში ციკლური ანუ ობლიგატური პართენოგენეზი ჩამოყალიბდა როგორც მნიშვნელოვანი ადაპტაცია. იგი გვხვდება ისეთ ცხოველებში, რომლებიც მასიურად იღუპებიან (მაგალითად, ბუგრები, დაფნიები და სხვ.) ანდა როდესაც განსხვავებული სქესის ინდივიდების შეხვედრა გაძნელებულია (მაგალითად, კავკასიური კლდის ხელიკი). ამ გზით პოპულაციაში ინდივიდთა რიცხოვნობის შენარჩუნება ხდება. იგი სახეობის არსებობას განაპირობებს.

ობლიგატური პართენოგენეზი გვხვდება მცენარეთა სამეფოშიც. იგი აღწერილია ბაბუაწვერაში, ხარნუყაში, თამბაქოში და სხვ.

გინოგენეზი. პართენოგენეზის ანალოგიურია გინოგენეზური გამრავლება. პართენოგენეზისაგან განსხვავებით გინოგენეზის დროს გამრავლებაში სპერ-



სურ. 6.10. სქესობრივი გამრავლების ტიპები.
1 – ნორმალური განაყოფიერება, 2 – პართენოგენეზი, 3 – გინოგენეზი, 4 - ანდროგენეზი

მატოზოიდები მონაწილეობს. შეინიშნება **ცრუგანაყოფიერება (ფსევდოგამია)**. კვერცხუჯრედში ხდება სპერმატოზოიდების შეღწევა, მაგრამ არ ხდება მდედრობითი მდედრობითი და მამრობითი პრონუკლეუსის შერწყმა. მამრობითი პრონუკლეუსი მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს კვერცხუჯრედზე და იღუპება, ჩანასახის ფორმირება ხდება მხოლოდ მდედრობითი პრონუკლეუსის ხარჯზე. გინოგენეზი იშვიათად გვხვდება როგორც ცხოველთა, ისე მცენარეთა სამყაროში. იგი აღწერილია ზოგიერთ პერმაფროდიტულ მრგვალ ჭიაში, თევზებში (მაგალითად, ვერცხლისფერი კარჩხანა), მცენარეებიდან ბაიაში (Ranunculus auricomus), მდელოს თივაქასრაში (Poa pratensis) და სხვ.

ანდროგენეზი. იგი გინოგენეზური გამრავლების საპირისპირო მოვლენაა. ანდროგენეზის დროს ჩანასახი ვითარდება მამრობითი პრონუკლეუსის და კვერცხუჯრედის ციტოპლაზმის ხარჯზე. ანდროგენეზური გამრავლება მიმდინარეობს იმ შემთხვევაში, როდესაც კვერცხუჯრედის ბირთვი ამა თუ იმ მიზეზით იღუპება. როდესაც კვერცხუჯრედში ერთი სპერმატოზოიდი შეაღწევს (მონოსპერმია), მაშინ ჩანასახს ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტი აქვს. ასეთი ჩანასახი ნაკლებ სიცოცხლისუნარიანია და მეტწილად იღუპება. ჩანასახი ნორმალურად ვითარდება მაშინ, როდესაც მას ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი აქვს. დიპლოიდური ჩანასახი პოლისპერმიის შემთხვევაში ყალიბდება. კვერცხუჯრედში რამდენიმე სპერმატოზოიდის შეღწევისას ორგანიზმი ვითარდება ორი მამრობითი პრონუკლეუსის ხარჯზე. ზრდასრული ანდროგენეზური ინდივიდების განვითარება აღწერილია თუთის აბრეშუმხვევიასა (Bombix mori) და პარაზიტულ კრაზანაში (Habrabacon juglands). ასევე იშვიათია ანდროგენეზური გამრაველება მცენარეებში. იგი აღნერილია სიმინდსა და თამბაქოში. ცხოველებსა და მცენარეებში შესაძლებელია პართენოგენეზის, გინოგენეზისა და ანდროგენეზის ხელოვნურად გამონვევაც.

6.8. ონტოგენეზი

ონტოგენეზი (**ბერძნ.** ontos – არსება + genos – წარმოშობა, დაბადება) ანუ ორგანიზმის ინდივიდუალური განვითარება წარმოადგენს ორგანიზმის ჩასახვიდან მისი სიცოცხლის ბოლომდე მიმდინარე მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ და ბიოქიმიურ გარდაქმნათა ერთობლიობას. ტერმინი "ონტოგენეზი" შემოიღო 1866 ნელს გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა და ფილოსოფოსმა **ერნსტ ჰეკელმა** (1834-1919).

მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში, რომლებსაც სქესობრივი გამრავლება ახასიათებთ, ახალი ინდივიდის განვითარების დასანყისად განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის – ზიგოტის წარმოქმნა ითვლება. იმ ორგანიზმებში კი, რომლებიც უაქესოდ მრავლდება, ინდივიდუალური განვითარების დასანყისად დედისეული უჯრედის გაყოფის, ანდა დედისეული ორგანიზმიდან გამოცალკევების მომენტი ითვლება.

ონტოგენეზის პროცესში ყოველი ორგანიზმი გადის განვითარების თანამიმდევრულ პერიოდებს, ეტაპებს, სტადიებსა და ფაზებს. იმ მრავალუჯრედიანი ცხოველების ონტოგენეზი, რომლებსაც სქესობრივი გამრავლება ახასიათებთ, ორ ძირითად – **ემბრიონულ** და **პოსტემბრიონულ** პერიოდებად იყოფა. ემბრიონული პერიოდი მოიცავს დროის შუალედს ზიგოტის ნარმოქმნიდან ორგანიზმის დაბადებამდე, ან კვერცხის გარსებიდან გამოსვლამდე. პოსტემბრიონული პერიოდი კი ორგანიზმის დაბადებიდან, ან კვერცხის გარსებიდან გამოსვლიდან სიკვდილამდე.

6.8.1. ემბრიონული განვითარების ძირითადი ეტაპები ცხოველებში

ემბრიონული განვითარების პერიოდში გამოყოფენ სამ ძირითად ეტაპს: **დანაწევრებას, გასტრულაციას და პირველად ორგანოგენეზს**.

დანაწევრება მოიცავს ზიგოტის სწრაფ მიტოზურ გაყოფათა ციკლს, რომლის შედეგად ხდება ერთშრიანი ჩანასახის – **ბლასტულის** (ჩანასახოვანი ბუშტუკის) წარმოქმნა (*სურ. 611*). ამ ეტაპზე ჩანასახი მასისა და მოცულობის მიხედვით ზიგოტისაგან თითქმის არ განსხვავდება. კვერცხი სულ უფრო და უფრო წვრილ უჯრედებად – **ბლასტომერებად** იყოფა. ყოველი გაყოფის შემდეგ წარმოქმნილი ახალი უჯრედების ბირთვი ნორმალური ზომისა რჩება, ხოლო ციტოპლაზმის მოცულობა პროგრესულად მცირდება. დანაწევრების დასაწყისში განვითარებულ მრავალუჯრედიან ჩანასახს **მორულა** (ლათ. morula – თუთა) ეწოდება. ის სფეროს ფორმის სტრუქტურაა და თუთის ნაყოფს წააგავს. შემდგომ ჩანასახს უვითარდება სიღრუე – **ბლასტოცელი**. ჩანასახს ბლასტულა ამ პერიოდიდან ეწოდება.

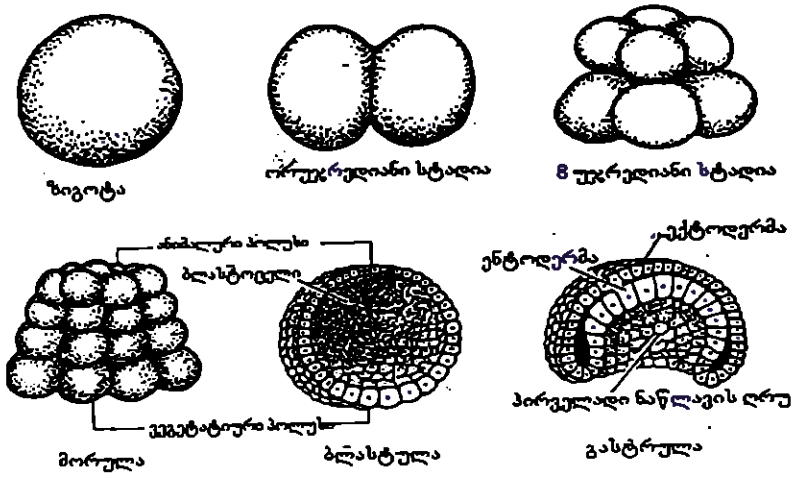
დანაწევრების ტიპი კვერცხში ყვითრის რაოდენობასა და ლოკალიზაციაზეა დამოკიდებული. თუ კვერცხში (ზიგოტაში) ყვითრი მცირე რაოდენობითაა, მაშინ ადგილი აქვს მთელი კვერცხის დანაწევრებას და ერთნაირი ბლასტომერების წარმოქმნას. მას **სრული თანაბარი დანაწევრება** ეწოდება. სრული თანაბარი დანაწევრების შედეგად წარმოიქმნება სფეროს ფორმის ჩანასახი, რომლის კედელი ერთმანეთთან მჭიდროდ მიჯრილი თითქმის ერთი ზომის უჯრედების ერთი შრისაგან შედგება. დანაწევრების ასეთი ტიპი კანეკლიანების, მრგვალი ჭიებისა და ძუძუმწოვრებისთვისაა დამახასიათებელი.

თუ კვერცხში ყვითრი უთანაბროდაა განაწილებული, მაშინ ხდება **სრული უთანაბრო დანაწევრება** – ის ბლასტომერები, რომლებშიც ყვითრია, სხვებთან შედარებით უფრო დიდი ზომისაა. ამ შემთხვევაში წარმოქმნილი ბლასტულის ერთ ე. წ. ანიმალურ პოლუსზე უფრო წვრილი უჯრედებია, მეორე ე. წ. ვეგეტატიურ პოლუსზე კი მსხვილი. ამის გამო ბლასტოცელი ექსცენტრულადაა ლოკალიზებული. დანაწევრების ასეთი ტიპი

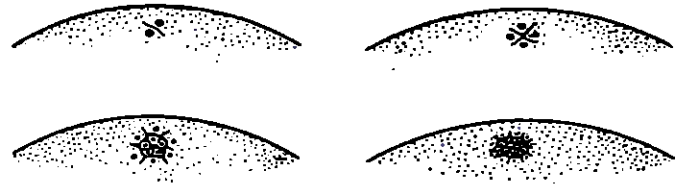
ამფიბიებს ახასიათებს.

არასრული დანაწევრების შემთხვევაში კვერცხში ყვითრის დიდი რაოდენობის გამო დანაწევრებას მისი მხოლოდ ის ნაწილი განიცდის, სადაც ზიგოტის ბირთვია ლოკალიზებული. ასეთი ტიპის, ე. წ. **არასრული დისკოიდური დანაწევრება** დამახასიათებელია ქვეწარმავლებისა და ფრინველებისათვის (*სურ. 6.12*).

ემბრიონული პერიოდის მომდევნო ეტაპია **გასტრულაცია** (*სურ. 6.11*). ამ ეტაპზე უჯრედები პრაქტიკულად არ იყოფა და არც იზრდება. გასტრულაციის ეტაპზე მიმდინარეობს უჯრედების ინვაგინირება და ვითარდება ჩანასახოვანი ფურცლები. ჩანასახს **გასტრულა** (ლათ. gastrula – კუჭი) ეწოდება. ის ორშრიანი ტომსიკია, რომლის სიღრუე – **გასტროცელი** (პირველადი ნაწლავის ღრუ) გარემოსთან ხვრელით – **ბლასტოპორით** (პირველადი პირით) არის დაკავშირებული. ონტოგენეზის პროცესში გასტრულის გარეთა შრის უჯრედებისაგან **ექტოდერმა**, შიგა შრის უჯრედებისგან კი – **ენტოდერმა** ვითარდება. განვითარების შემდგომ ეტაპზე ექტოდერმასა და ენტოდერმას შორის მესამე ჩანასახოვანი ფურცელი – **მეზოდერმა** წარმოიქმნება.



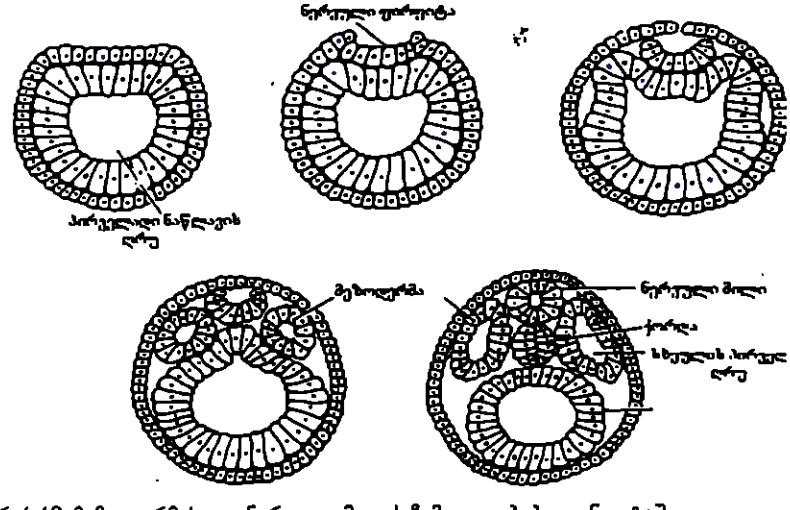
სურ. 6.11. ლანცეტას ჩანასახის განვითარების პირველი სტადიები



სურ. 6.12. ქათმის ემბრიონის ნანილობრივი დანაწევრება.

გასტრულაციის შემდეგ იწყება პირველადი ორგანოგენეზი ანუ ღერძული ორგანოების წარმოქმნა (*სურ. 6.13*). სხვადასხვა ჯგუფის ცხოველებში ეს ეტაპი განსხვავებულად მიმდინარეობს. ქორდიანებში პირველადი ორგანოგენეზის პროცესში მეტად მნიშვნელოვანია ნერვული ლულის, ქორდისა და ნაწლავის ჩამოყალიბება. ნერვული ლულის ჩამოყალიბების პროცესს **ნეირულაცია**, ხოლო ჩანასახს **ნეირულა** ეწოდება. ნეირულაციის პროცესში ექტოდერმიდან ჯერ ნერვული ფირფიტა წარმოიქმნება, რომელიც ჩანასახს ზურგის მხარეს მთელს სიგრძეზე გასდევს. შემდგომ ნერვული ფირფიტის ჩაზნექის შედეგად ნერვყლი ღარი, ბოლოს კი ნერვული მილი ვითარდება. განვითარების მომდევნო ეტაპზე ნერვული მილის წინა ნაწილი ფართოვდება და თავის ტვინი ვითარდება. ნერვული სისტემის გარდა ექტოდერმიდან სხეულის გარეგანი საფარველიც ვითარდება.

ჩანასახის ზურგის მხარეს ნერვულ მილთან მიმდებარე, ენტოდერმით შემოსაზღვრულ უბნიდან ორი ჯიბაკის სახით ხდება მეზოდერმის ჩამოყალიბება. მეზოდერმის ღრუ შემდგომში სხეულის ღრუდ ყალიბდება. ნერვული მილის ქვეშ მეზოდერმიდან ქორდა ვითარდება. მეზოდერმიდან ყალიბდება ძვალ-კუნთოვანი, სისხლძარღვოვანი, გამომყოფი სისტემები და სასქესო ორგანოები.

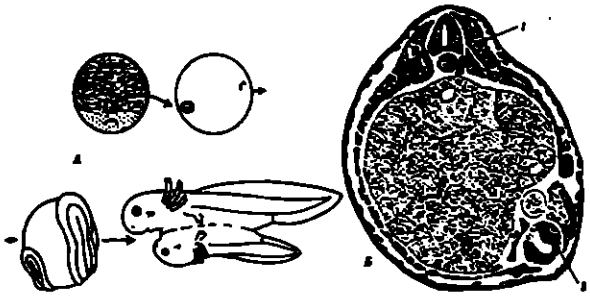


სურ. 6.13. მეზოდერმისა და ნერვული მილის ჩამოყალიბება ლანცეტაში.

პირველადი ნაწლავს და-

საწყისში მილის ფორმა აქვს, მისი წინა და უკანა ნაწილში ნარმოიქმნება პირისა და ანალური ხვრელები. ნაწლავის კედლიდან ვითარდება საჭმლის მომნელებელი ორგანოები. ნაწლავის წინა გამონაზარდიდან ვითარდება რესპირატორული სისტემაც.

ჩანასახის განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს **პირველად ემბრიონულ ინდუქციას**. ემბრიონული ინდუქცია არის ემბრიონის ნაწილთა ურთიერთმოქმედება, რომლის დროსაც ერთი მათგანის უჯრედები განსაზღვრავს მეორის შემდგომი განვითარების მიმართულებას. ეს მოვლენა 1924 წელს ექსპერიმენტულად დაადასტურეს გერმანელმა მეცნიერებმა ჰ. შპემანმა და ჰ. მანგოლდმა. მათ ამფიბიის გასტრულის ბლასტოპორის ბაგის დორსალური უბნიდან (**ნორმალური განვითარებისას ამ უბნის უჯრედები ქორდასა და მეზოდერმას წარმოქმნიან**) ამოკვეთილი ნაწილი გადანერგეს მეორე გასტრულის ვენტრალურ უბანში. გადანერგვის შემდეგ ტრანსპლანტანტის ქსოვილიდან მეორე ქორდა და მეზოდერმა განვითარდა. ამასთანავე რეციპიენტის ექტოდერმიდან დამატებითი ნერვული მილიც განვითარდა, ანუ ერთსა და იმავე ჩანასახში წარმოიქმნა ღერძული ორგანოების ორი კომპლექსი (*სურ. 6.14*). ჩანასახის იმ ნაწილის უჯრედებს, რომლებიც მოქმედებს მეორის განვითარებაზე **ინდუქტორი** (შპემანის მიხედვით კი — **ორგანიზატორი**) ეწოდება, ხოლო იმ ნაწილს, რომელიც ინდუქტორის გავლენას განიცდის – **მორეაგირე** ანუ **რეაქტორი**.



სურ. 6.14. ემბრიონული ინდუქციის ამსახველი სქემა – ექსპერიმენტის სქემა, – ჩანასახის განივი ჭრილი, 1 — პირველადი ჩანასახი, 2 – ინდუცირებული ჩანასახი.

6.8.2. პოსტემბრიონული განვითარება ცხოველებში

პოსტემბრიონული განვითარება იწყება ორგანიზმის კვერცხის გარსებიდან გამოსვლის, ცოცხლადმშობიარე ცხოველებში კი დაბადების მომენტიდან და ორგანიზმის სიკვდილამდე გრძელდება.

განასხვავებენ პოსტემბრიონული განვითარების ორ ძირითად ტიპს **პირდაპირ** და **არაპირდაპირ** ანუ metamorfosis (**ბერძნ.** მეტამორპჰოსის – გარდაქმნა) განვითარებას.

პირდაპირი განვითარებისას კვერცხის გარსებიდან გამოსული ან დაბადებული ნორჩი ორგანიზმი აგებულებით და ცხოვრების ნირით ზრდასრული ინდივიდისაგან თითქმის არ განსხვავდება, მაგრამ მას ზომებით ჩამორჩება და სქესობრივად მოუმწიფებელია. მაგალითად, პირდაპირი პოსტემბრიონული განვითარება დამახასიათებელია ქვენარმავლების, ფრინველებისა და ძუძუმწოვრებისათვის.

არაპირდაპირი, ანუ გარდაქმნით (მეტამორფოზით) განვითარებისას კვერცხიდან გამოდის ლარვა, რომელიც გარეგანი და შინაგანი აგებულების ბევრი ნიშნით, კვების ხასიათით, მოძრაობით, საარსებო გარემოთი და რიგი სხვა თავისებურებით განსხვავდება ზრდასრული ორგანიზმისაგან. სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების ლარვებს, ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა, სასქესო სისტემა არა აქვთ განვითარებული. მეტამორფოზით განვითარება ახასიათებს რგოლოვან ჭიებს, მოლუსკებს, კანეკლიანებს, მწერებს, ზოგიერთ თევზს, ამფიბიებს.

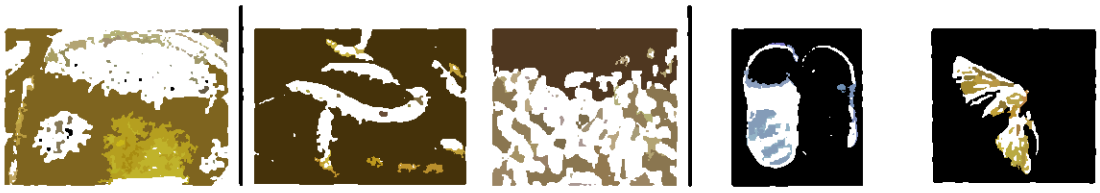
ხშირ შემთხვევაში ზოგი სახეობის ორგანიზმის ლარვას დამოუკიდებელი სახელწოდებაც კი აქვს. მაგალითად: კუდიანი ამფიბიის ამბლისტომის ლარვას აქსოლოტლი ეწოდება, უკუდო ამფიბიების ლარვას – თავკომბალა, ორსაგდულიანი მოლუსკების ლარვას – გლოქიდი, პეპლების ლარვას – მუხლუხი, თასმა ჭიების ლარვას – ონკოსფერა.

მწერებში პოსტემბრიონული განვითარების სტადიების რიცხვის მიხედვით განარჩევენ მეტამორფოზის ორ ძირითად ტიპს – **არასრულ** და **სრულ გარდაქმნას**.

არასრული მეტამორფოზი დამახასიათებელია მწერების შედარებით პრიმიტიული ფორმებისათვის. ასეთებს მიეკუთვნება, მაგალითად: ჭრიჭინები, ბუგრები, ტარაკნები, სწორფრთიანები. არასრული მეტამორფოზი სამ სტადიას მოიცავს. ესენია: კვერცხი, ლარვა და ზრდასრული ინდივიდი, ანუ იმაგო (**ლათ.** imago – ხატი). ლარვა ზრდასრული ინდივიდისაგან გარეგნულად თითქმის არ განსხვავდება. ის რამდენჯერმე იცვლის სხეულის მფარავი ეპითელიუმის ზედაპირზე არსებულ მკვრივ წარმონაქმნს - **კუტიკულას** (**ლათ.** culicula – ტყავი) ანუ სხეულის საფარველს. ამ დროს ლარვა იზდება და საბოლოოდ ზრდასრული ინდივიდი ყალიბდება.

ევოლუციის მოგვიანო სტადიებზე წარმოქმნილ მწერებს, მაგალითად, პეპლებს ახასიათებთ სრული მეტამორფოზით განვითარება, რომელიც ძირითადად ოთხი სტადიისაგან შედგება. ესენია: კვერცხის, მუხლუხის, ჭუპრის და იმაგოს სტადიები (*სურ. 6.15*). მუხლუხი და ჭუპრი ლარვული სტადიებია.პეპლების კვერცხიდან გამოსული მუხლუხი აგებულებით, კვების თავისებურებით და ცხოვრების ნირით მკვეთრად განსხვავდება ზრდასრული ინდივიდებისაგან. მუხლუხები ძირითადად მცენარეთა ფოთლებით იკვებება, მათი პირის აპარატი მღრღნელი ტიპისაა. მუხლუხების სხეულის სეგმენტები ერთგვაროვანია და არ არის მკვეთრად დიფერენცირებული თავის, მკერდის და მუცლის განყოფილებებად. ზრდასრულ პეპლებს კი მწუწნავი პირის აპარატი აქვთ და ნექტარით იკვებებიან. ლარვები და იმაგო სხვადასხვა ეკოლოგიურ ნიშს იკავებენ, რაც მათ შორის კონკურენციას საგრძნობლად ამცირებს.

მუხლუხები ინტენსიურად იკვებებიან, რამდენჯერმე იცვლიან კუტიკულას და ზომაში მატულობენ. კუტიკულის ცვლისა და ზრდის დასრულების შემდეგ მუხლური ჭუპრად გარდაიქმნება. პეპლების (მაგალითად, თუთის აბრეშუმხვევიას) მუხლუხებს აქვთ სპეციალური ჯირკვალი, რომლის სადინარიდან გამოყოფილი



კვერცხები მუხლუხები პარკები პარკი და ჭუპრი იმაგო

სურ. 6.15. თუთის აბრეშუმხვევიას განვითარების სტადიები

თხიერი ნივთიერება ჰაერზე შრება და მტკიცე ძაფი წარმოიქმნება. მუხლუხი დაჭუპრებისას ამ ძაფს სხეულის ირგვლივ იხვევს და საბოლოოდ ყალიბდება პარკი, რომელშიც ჭუპრია მოთავსებული. ჭუპრი უმოძრაოა და არც იკვებება. ამ სტადიაზე ლარვის ანატომიური სტრუქტურა ირღვევა და მიღებული მასალა ზრდასრული ინდივიდის ჩანაყალიბებას ხმარდება, იმაგო პარკიდან გამოდის და დამოუკიდებელ არსებობას იწყებს.

ხერხემლიან ცხოველებში მეტამორფოზით განვითარება ამფიბიებს ახასიათებს (*სურ. 3.12*). მაგალითად, ტბის ბაყაყის განაყოფიერებული ქვირითიდან ვითარდება ლარვა, რომელსაც თავკომბალა ეწოდება. დასაწყისში თაგკომბალას ორსაკნიანი გული, სისხლის მიმოქცევის ერთი წრე, გარეგანი ლაყუჩები, გრძელი კუდი, გეერდითი ხაზის ორგანოები და თევზებისათვის დამახასიათებელი სხვა ნიშან-თვისებები აქვს.

განვითარების სამი-ოთხი თვის შემდეგ თავკომბალას გული სამსაკნიანი უხდება, ჩნდება სისხლის მიმოქცევის კიდევ ერთი წრე, ყალიბდება ფილტვები, ხუთთითიანი კიდურები. საბოლოოდ თავკომბალა მთლიანად ემსგავსება ბაყაყს.

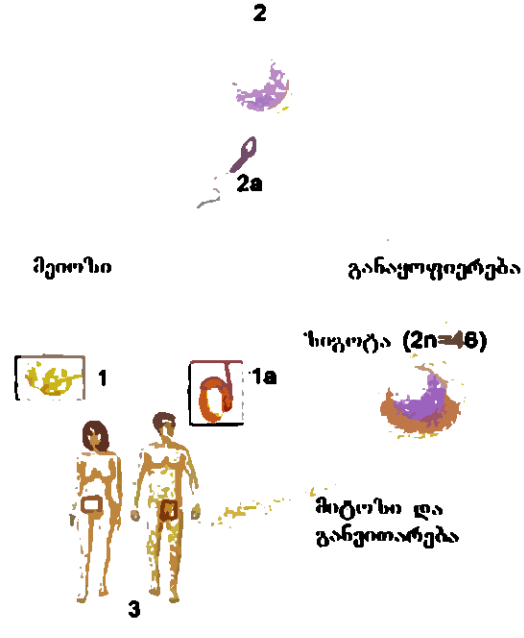
ორგანიზმების ემბრიონული და პოსტემბრიონული განვითარება მრავალი ფაქტორით რეგულირდება. ამ ფაქტორების განხილვა ჩვენს ამოცანას არ წარმოადგენს. მაგალითისათვის აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ პეპლების მეტამორფოზით განვითარებაში მნიშვნელოვან როლს ჰორმონები თამაშობს.

მეტამორფოზული განვითარება ისეთი ადაპტაციაა რომელიც ერთ სახეობას სხვებთან შედარებით მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებს. კერძოდ, 1. როდესაც ერთი და იმავე სახეობის ლარვები და იმაგოები განსხვავებულ გარემოში ბინადრობაენ და სხვადასხვა საჩოთი იკვებებიან (მაგ. ბაყაყი, პეპელა), ისინი ერთმანეთს კონკურენციას ერთიმეორეს კონკურენციას არ უწევენ. 2. მჯდომარე და ნაკლებ მოძრავ ფორმებში (მაგ.: უკბილო, ბონელია) ლარვული სტადია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სახეობის განსახლება — გავრცელებაში.

6.9. ორგანიზმის სასიცოცხლო ციკლი

სასიცოცხლო ციკლი არის განვითარების ფაზათა ერთობლიობა, რომელსაც კონკრეტული სახეობის ინდივიდები ერთი თაობის ზიგოტიდან მომდევნო თაობის ზიგოტამდე გადიან. ყოველი ინდივიდი გაიელის განვითარების გარკვეულ ფაზებს, რომელთა შემდეგ აღნევს ზრდასრულ ფორმას. ამ დროს მას ახალი თაობის წარმოქმნის უნარი უჩნდება. სასიცოცხლო ციკლის მიხედვით სხვადასხვა ტაქსონომური ჯგუფის ორგანიზმები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან. ეუკარიოტების ტიპიური სასიცოცხლო ციკლი შედგება: 1)განაყოფიერებისაგან (მიმდინარეობს პლაზმოგამია – სასქესო უჯრედების ანუ გამეტების შერწყმა, რასაც მოსდევს ბირთვების შერწყმა – კარიოგამია, 2)უჯრედების მიტოზური გამრაელებისაგან 3)მეიოზისაგან (ხდება ქრომოსომათა რედუქცია და რეკომბინაცია) (*სურ. 6.16*).

სქესობრივი გზით გამრავლების უნარის მქონე ორგანიზმების სასიცოცხლო ციკლში ერთმანეთს ენაცვლება ჰაპლოიდური და დიპლოიდური ფაზები. მრავალუჯრედიან ცხოველებში დიპლოფაზა მეტად ხანგრძლივია, ჰაპლოფაზა კი – ხანმოკლე (წარმოდგენილია სპერმატოზოიდითა და კვერცხუჯრედით). დიპლოფაზის განვითარება შეიძლება იყოს მარტივი ან რთული (მეტამორფოზიანი). მეტამორფოზული განვითარებისას ინდივიდი გაიელის ნაირგვარ სტადიებს (მაგ. პეპლები – კვერცხის, ლარვის, ჭუპრის, იმაგოს სტადიებს). ყვავილოვან მცენარეებში ასევე ძალზე რედუ-



სურ. 6.16. ადამიანის სასიცოცხლო ციკლი.
1 საკვერცხე, 1ა – სათესლე,
2 ჰაპლოიდური კვერცხუჯრედი (n = 23), 2ა ჰაპლოიდური სპერმატოზოიდი (n = 23),
3 ზრდასრული დიპლოიდური ინდნენდები (6 = 46)

ცირებულია ჰაპლოფაზის (გამეტოფიტის) ხანგრძლივობა. დიპლოფაზას (სპოროფიტს) კი მთელი მცენარე წარმოადგენს. სასიცოცხლო ციკლი რთულია იმ ორგანიზმებში, სადაც სქესიანი თაობა უსქესო თაობას ენაცვლება. ამ შემთხვევაში აღინიშნება თაობათა მორიგეობა. ზოგიერთ სახეობაში უსქესო და სქესიანი თაობა ორ დამოუკიდებელ ორგანიზმად ვითარდება. ისინი მორფოლოგიურად მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან (მაგ. ბრტყელი ჭიები), ასევე გვიმრანაირებში უსქესო და სქესიანი თაობა (სპოროფიტი და გამეტოფიტი) ორ დამოუკიდებელ, მორფოლოგიურად განსხვავებულ, მცენარედ ვითარდება.

ზრდა

ონტოგენეზის პროცესში ადგილი აქვს ინდივიდის ზრდას. ეს ორი გზით ხდება: უჯრედების რაოდენობის და უჯრედების მოცულობის მატებით. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ზრდის დროს ეს ორი პროცესი შეიძლება ყოველთვის სინქრონულად არ მიმდინარეობდეს. ამ ორ პროცესს შორის გამოხატული კორელაცია არ არსებობს. მაგალითად, დანაწევრებისას მრავალი ბლასტომერი ნარმოიქმნება და ციტოპლაზმის მასის მატება ძალზე სუსტად არის გამოხატული. ზოგიერთ შემთხვევაში ზრდა უჯრედების ციტოპლაზმის მასის გაზრდის ხარჯზე მიმდინარეობს, უჯრედების რაოდენობა კი უცვლელი რჩება.

ზრდა შეიძლება იყოს შეზღუდული და შეუზღუდავი. შეზღუდული ზრდა მიმდინარეობს, მაგალითად, მწერებში, ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებში. შეუზღუდავი ზრდა ახასიათებს თევზებს, რეპტილიებსა და უხერხემლოთა მრავალ სახეობას. შეუზღუდავია მერქნიანი მცენარეების უმრავლესობის, სოკოებისა და წყალმცენარეების ზრდაც.

ზრდა შეიძლება იყოს **იზომეტრული და ალომეტრული.** იზომეტრული ზრდის დროს ინდივიდის რომელიმე ორგანოს ზრდის საშუალო სიჩქარე ისეთივეა, როგორიც სხეულის სხვა ნაწილებისა. ასეთი ზრდის დროს ორგანიზმისა და ორგანოთა ზომების საერთო თანაფარდობა თითქმის არ იცვლება. ალომეტრული ზრდის დროს რომელიმე ორგანო სხეულის დანარჩენი ნაწილებისაგან ზრდისაგან განსხვაეებული სიჩქარით იზრდება. ამ დროს ორგანიზმის პროპორციები იცვლება.

რეგენერაცია

ზრდასრული ორგანიზმის ზოგიერთი უჯრედი ზრდისა და გამრავლების უნარს ინარჩუნებს. ამიტომ ორგანიზმს აქვს დაბერების, ავადმყოფობის, უბედური შემთხვეევების შემდეგ უჯრედებისა და ქსოვილების აღდგენის უნარი. ხდება უჯრედთა გაყოფისა და დიფერენცირების სტიმულირება, რის შედეგადაც ხდება ჭრილობების სღდგენა. ძუძუმწოვრებში ხდება მრავალი ქსოვილის განახლება. მაგალითად, კანის, ნაწლავის ეპითელიუმისა და სისხლის ახალი უჯრედების წარმოქმნა, რაც მთელი სიცოცხლის მანძილზე მიმდინარეობს. ნორმალურ პირობებში ზრდასრული ორგანიზმის ზოგიერთ ორგანოში (ღვიძლში, ფარისებრ ჯირკვალში, პანკრეასში) უჯრედებია გაყოფა არ ხდება, მაგრამ თუ რაიმე მიზეზით მოხდა მათი უჯრედების დაზიანება, მაშინ დარჩენილი უჯრედების გაყოფის ხარჯზე ორგანოები ბუნებრივ ზომებს აღიდგენს. ამ პროცესს **აღდგენითი ზრდა (რეგენერაცია)** ენოდება, ანუ რეგენერაცია არის ორგანიზმის მიერ დაკარგული ან დაზიანებული ორგანოსა და ქსოვილის აღდგენის უნარი. რეგენერაციის უნარი გააჩნია როგორც მცენარეებს, ასევე ცხოველებს.

განასხვაებენ რეგენერაციის ორ სახეს: **ფიზიოლოგიურსა და რეპარაციულს.**

ფიზიოლოგიური რეგენერაცია აუცილებელია ორგანიზმის ჰომეოსტაზის შესანარჩუნებლად. ის განსაკუთრებით ინტენსიურად და სწრაფად მიმდინარეობს თბილსისხლიან ცხოველებში. მაგალითად, წვრილი ნაწლავის ეპითელური უჯრედების მთლიანად განახლება 2 დღის განმავლობაში ხდება. ადამიანის ორგანიზმში ყოველ წამში 4 მილიონი ერითროციტი კვდება და ძვლის ტვინში ამდენივე ახლად წარმოიქმნება.

ორგანიზმის მიერ ორგანოთა იძულებითი დაკარგვის შემთხვევაში მიმდინარე აღდგენითი პროცესები **რეპარაციულ რეგენერაციას** მიეკუთვნება. ის შეიძლება იყოს **ტიპური,** როდესაც აღდგება დაკარგულის მსგავსი ორგანო, და **ატიპური,** როდესაც აღდგენილი ორგანო არ ჰგავს დაკარგულს.

ზოგიერთი მკვლევარი გამოყოფს რეგენერაციის მესამე სახესაც, ე. წ. **რეპარაციულ ემბრიოგენეზს.** ამ შემთხვევაში ახალი ორგანიზმი წარმოიქმნება სომატური უჯრედებიდან ან მათი კომპლექტიდან. მაგალითად, თუ რგოლოვანი ჭიის სხეულს რამდენიმე ნაწილად დაეყოფთ, ყოველი ნაწილი აღიდგენს დაკარგულ ორგანოებს და დამოუკიდებელ ინდივიდად ჩამოყალიბდება.

ზოგ შემთხვევაში ადგილი აქვს პათოლოგიურ რეგენერაციას. ამ დროს დაზიანებული ან დაკარგული ქსოვილის ადგილს შემაერთებელი ქსოვილი იკავებს.

რეგენერაციული პროცესები მჭიდრო კავშირშია ორგანოთა ტრანსპლანტაციასა და იმუნურ პროცესებთან. რეგენერაციის შესწავლის საქმეში დიდი მიღწევების მიუხედავად, მრავალი საკითხი დღემდე გადაუჭრელია.

დაბერება და სიკვდილი

დაბადებისთანავე ყოველი ცოცხალი ინდივიდი უახლოვდება სიკვდილს. ამიტომაც არსებობს გამოთქმა "სიცოცხლის მიზანი სიკვდილია". ყოველ ადამიანს გაცნობიერებული აქვს, რომ დადგება მისი გარდაცვალების დრო. ამასთანავე ყველას ეშინია სიკვდილის. უფრო მეტიც ბევრ პიროვნებას მიცვალებულიც კი აშინებს. ბევრს მიაჩნია, რომ სიკვდილის ცხოველებსაც ეშინიათ და ამის დასამტკიცებლად მაგალითებსაც იშველიებენ. მაგალითად, თუ ურემში შებმულ ცხენს მკვდარ ცხენს დაუდებენ წასაღებად, მაშინ ის იწყებს

ცხრილი 6.2
ზოგიერთი სახეობის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა

ორგანიზმი	სიცოცხლის ხანგრძლივობა
ციანობაქტერია	რამდენიმე საათი
პენიცილიუმი (Penicilium notarum)	რამდენიმე კვირა
აბედა სოკო (Fomes fomentarius)	25 წლამდე
ხორბალი (Trilicum vulgaris)	1 წლამდე
ვაზი (Vitis vinifera)	80-100 წელი
ვაშლი (Malus domestica)	200 წელი
კაკალი (Iuglans regia)	300-400 წელი
ცაცხვი (Tilia grandifolia)	1000 წელი
მუხა (Quercus robur)	1200 წელი
მამონტის ხე (Sequoia gigantea)	5000 წელი
ფუტკარი (Apis mellifera)	5 წლამდე
ლოქო (Silurus glanis)	60 წელი
გომბეშო (Bufo bufo)	36 წლამდე
კუ (Testudo sumeiri)	150 წლამდე
ველური მტრედი (Columba livia)	30 წლამდე
აფრიკული სპილო (Elephus maximus)	60 წელი
გიბონი (Hylobates lar)	32 წლამდე

ნერვიულ ჭიხვინს, კიდურების ქნევას. სასაკლაოზე მიყვანილი საქონელი მომაკვდავი ხარების ხმის გაგონებისას და სისხლის სუნის შეგრძნებისას იწყებენ აფორიაქებას, უჩნდებათ პანიკური შიში, ცრემლის დენა. მკითხველისთვის მიგვინდია იმის განსაზღვრა, თუ რამდენად ვალიდურია მოყვანილი მაგალითები.

სიკვდილი არის ინდივიდუალური განვითარების დამამთავრებელი ეტაპი. ამ დროს ორგანიზმში მთლიანად ირღვევა ნივთიერებათა ცვლის პროცესები. მაღალგანვითარებულ ცხოველებში და ადამიანში განარჩევენ **ბუნებრივ (ფიზიოლოგიურ)** სიკვდილს, რომელიც დაბერებითაა გამოწვეული, და **ადრეულ – პათოლოგიურ** სიკვდილს, რომელიც სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი რომელიმე ორგანოს დაზიანებით ან უბედური შემთხვევით არის გამოწვეული.

დედამიწაზე არსებული ყოველი სახეობის ინდივიდებს სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა ახასიათებს (ცხრ. 6.2). ბევრი სახეობის ცხოველების სიკვდილი დაპროგრამირებულია – ისინი მაშინვე კვდებიან, როგორც კი გამრავლების ერთ ციკლს განახორციელებენ: მამრები კოპულაციის, მდედრები კი – კვერცხის დადების ან ახალი თაობის წარმოქმნის შემდეგ. მრავალჯერ გამრავლების უნარიან ცხოველებში და ადამიანში ბუნებრივ სიკვდილს წინ დაბერება უსწრებს.

დაბერება არის ინდივიდუალური განვითარების სტადია, რომლის დროსაც იცვლება ორგანიზმის ფიზიკური მდგომარეობა, გარეგნობა და ემოციური სფერო. დაბერება უფრო თვალსაჩინოა ონტოგენეზის პოსტრეპროდუქციულ პერიოდში. თუმცა მრავალი ნიშანი, რომელიც დაბერების მახასიათებლად ითვლება, თავს იჩენს რეპროდუქციული ფუნქციის შენყვეტამდეც. ასეთი ნიშნებია: გაჭაღარავება, მხედველობის დაქვეითება და სხვ.

მეცნიერებას, რომელიც დაბერების პროცესებს შეისწავლის **გერონტოლოგია** ეწოდება.

თავი 7. გენეტიკის საფუძვლები

გენეტიკა (ბერძ. genetikos – წარმოშობა, დაბადება) შეისწავლის ცოცხალი სისტემის ორ ძირითად თვისებას – *მემკვიდრეობითობასა* (*მემკვიდრულობა*) და *ცვალებადობას*. გენეტიკა შედარებით ახლად ჩამოყალიბებული მეცნიერებაა, მიუხედავად ამისა, იგი თანამედროვე ბიოლოგიურ მეცნიერებათა საფუძველია. მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებები საყოველთაოა ცოცხალი სისტემებისათვის და მოქმედებს ყველა მათგანში – ვირუსით დაწყებული და ადამიანით დამთავრებული. **მემკვიდრეობითობა არის ორგანიზმის თვისება, გამრავლების პროცესში გადასცეს შთამომავლობას ინფორმაცია ნიშან-თვისებებისა და განვითარების თავისებურებების შესახებ.** მემკვიდრეობითობა განაპირობებს მსგავსებას მშობლებსა და შვილებს, დებსა და ძმებს შორის. მშობელ ორგანიზმს აქვს უნარი გადასცეს ინფორმაცია, რომლის მიხედვითაც შვილებში ნიშან-თვისებათა ჩამოყალიბება ხდება. მაგალითად, ადამიანში მრავალი ნიშანი და თვისება მემკვიდრეობს, როგორიცაა თმის ფერი და ფორმა, თვალის ფერადი გარსის შეფერილობა, ხმის ტემბრი, მუსიკალური სმენა და ა.შ. ამჟამად ცნობილია ადამიანის 4000-მდე მემკვიდრული დაავადება.

ცალკეული ნიშნის ან თვისების ჩამოყალიბებას გენი ახდენს. თაობებს გადაეცემა არა ნიშან-თვისებები, არამედ მისი განმსაზღვრელი გენები. *გენი მემკვიდრულობის დისკრეტული ერთეულია, რომელიც განსაზღვრავს ცალკეული ელემენტარული ნიშნის ან თვისების განვითარებას.*

გენების გადაცემა გამრავლების მეშვეობით ხორციელდება. უსქესო გამრავლებისას მემკვიდრული ინფორმაცია გადაეცემა სომატური უჯრედებითა და სპორებით, რის გამოც მშობლებსა და შვილებს შორის დიდი მსგავსებაა. სქესობრივი გამრავლებისას კი ინფორმაციის გადაცემა ხდება გამეტების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში მშობლებსა და შთამომავალთა შორის მსგავსება გაცილებით ნაკლებია, ვხვდებით დიდ ნაირგვარობას.

მემკვიდრულობასთან ერთად მოქმედებს მისი საწინააღმდეგო და განუყოფელი მოვლენა — ცვალებადობა. მართალია, მშობლები თავის მსგავს შთამომავლობას იძლევიან, მაგრამ ეს მსგავსება აბსოლუტური როდია. შვილები მშობლების ზუსტი ასლები არ არიან. მათ შორის დიდია განსხვავებაც. ასე მაგალითად, ორ ერთნაირ ადამიანს ვერ შეხვდებით. გამონაკლისია მონოზიგოტური ტყუპები (მათ აქვთ იდენტური გენები), მაგრამ განსხვავებულ პირობებში გაზრდილი მონოზიგოტური ტყუპები ერთმანეთისგან მაინც განსხვავდებიან. თაობებს შორის, შვილებს შორის განსხვავებები ცვალებადობის მიმანიშნებელია.

ცვალებადობა არის ცოცხალის ზოგადი თვისება, რაც გამოწვეულია გენების ცვლილებით ან მათი კომბინირებით, ასევე ინდივიდუალური განვითარების პროცესში მათი გამოვლენის ცვლილებით. ამრიგად, ცვალებადობას იწვევს როგორც გენის უშუალო ცვლილება, ისე გენოტიპში ახალი კომბინაციების წარმოქმნა და ინდივიდური განვითარების პროცესში გარემო ფაქტორების მოქმედებით მათი ექსპრესიის ცვლილება. მემკვიდრეობითობა არა მარტო მსგავსების, არამედ ორგანიზმებს შორის განსხვავების შენარჩუნებასაც უზრუნველყოფს.

მემკვიდრულობის კანონზომიერებები და მემკვიდრეობის პრინციპები

გენეტიკის დაფუძნება. მემკვიდრეობის შესახებ საინტერესო შეხედულებები გადმოცემულია ანტიკური ეპოქის ფილოსოფოსთა და ექიმთა ნაშრომებში ჯერ კიდევ V საუკუნეში ჩვ.წ. აღ.-მდე. მათ ჩამოაყალიბეს ორი ძირითადი ჰიპოთეზა *პირდაპირი* და *არაპირდაპირი მემკვიდრეობის* შესახებ. პირდაპირი მემკვიდრეობის მომხრე იყო ჰიპოკრატე. მას მიაჩნდა, რომ რეპროდუქციული მასალა სხეულის ყველა ნაწილიდან იკრიბება და ყველა ორგანო უშუალო გავლენას ახდენს შთამომავალთა ნიშნებზე. ამ ჰიპოთეზამ 23 საუკუნე იარსება.

საწინააღმდეგო მოსაზრებას ავითარებდა არისტოტელე. იგი არაპირდაპირი მემკვიდრეობის მომხრე იყო. მისი აზრით, რეპროდუქციული მასალა სხეულის სხვადასხვა ნაწილიდან კი არ იკრიბება, არამედ საკვები ნივთიერებებიდან წარმოიქმნება და სხეულის სხვადასხვა ნაწილის აგებას ემსახურება.

მენდელამდე გაბატონებული იყო „შერწყმული მემკვიდრეობის" ჰიპოთეზა. ამ ჰიპოთეზის თანახმად, განსხვავებული მშობლიური ფორმების შეჯვარებით მიღებულ შთამომავლებს გენეტიკური მასალის ერთმანეთში შერევის გამო შუალედური ნიშნები უვითარდებათ.

გენეტიკის ფუძემდებლად სამართლიანადაა მიჩნეული გრეგორ მენდელი (1822-1884). მან თავისი კვლევის შედეგები 1865 წელს მოახსენა ქ. ბრიუნის (ამჟამად ქ. ბრნო) ბუნებისმეტყველთა საზოგადოებას, ხოლო ნაშრომი "ცდები მცენარეთა ჰიბრიდებზე" 1866 წელს ამავე საზოგადოების შრომათა კრებულში გამოქვეყნდა. გ. მენდელმა ექსპერიმენტის მეშვეობით დაასაბუთა მემკვიდრეობის დისკრეტულობა. მიუხედავად იმისა, რომ გ. მენდელის ნაშრომს მრავალი მეცნიერი გაეცნო, ამ აღმოჩენას აღიარება არ მოჰყოლია. მართალია, გ. მენდელის გამოკვლევებით საფუძველი ჩაეყარა ბიოლოგიის ახალ დარგს — გენეტიკას, მისი შექმნის ოფი-

ციალურ თარიღად მაინც 1900 წელი ითვლება. ამ წელს გ.მენდელის მივიწყებული შრომა ხელმეორედ იქნა აღმოჩენილი და დადასტურებული ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად სამი მეცნიერის: ჰოლანდიელი ჰუგო დე ფრიზის, გერმანელი კარლ კორენსისა და ავსტრიელი ერიხ ჩერმაკის მიერ.

7.1 მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებები

ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი. გ. მენდელმა[1] მემკვიდრეობის კანონზომიერებათა დადგენა შეძლო გენეტიკური კვლევის სრულიად ახალი, ორიგინალური – ***ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის*** შემუშავებისა და სწორად შერჩეული კვლევის ობიექტის მეშვეობით. მან მემკვიდრეობის რთული პრობლემა გაამარტივა: წინამორბედ მეცნიერთაგან განსხვავებით, იკვლევდა არა მცენარის ყველა ნიშანს ერთად, არამედ ცალკეული საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნის მემკვიდრეობას, კერძოდ, წინასწარ საგანგებოდ შერჩეული ჯერ ერთი, შემდეგ ორი და სამი წყვილი საპირისპირო ნიშნის თაობებში გადაცემის კანონზომიერებებს.

მენდელის მიერ შემუშავებული ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის პრინციპებია: 1. წინასწარ შერჩეული ალტერნატიული ნიშნების მყარი (კონსტანტური) მემკვიდრეობის შემთხვევაში მათი ცდებში გამოყენება; 2. ნიშანი უნდა იყოს მკაფიოდ გამოხატული, შესასნავლად ადვილი; 3. თითოეულ თაობაში შესასწავლი ნიშნების მიხედვით რაოდენობრივი ანალიზის ჩატარება; 4. ცალკეული ჰიბრიდის შთამომავლობის რაოდენობრივი ანალიზი შესასწავლი ნიშნების მიხედვით.

მენდელმა ცდები ჩაატარა მცენარე ბარდაზე. მას ახასიათებს: 1. ჯიშთა დიდი ნაირგვარობა; 2. თვითმტვერია მცენარეა, მაგრამ ადვილად შესაძლებელია მისი ხელოვნური დამტვერვაც; 3. მოეპოვება ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული (ალტერნატიული) ნიშნები. მენდელმა ცდების ჩატარებამდე საგანგებოდ შეამოწმა შერჩეული საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნების მემკვიდრეობა. შერჩეულ ჯიშებს ორი წლის განმავლობაში თვითდამტვერვით ამრავლებდა. მან შეარჩია ისეთი ალტერნატიული ნიშნები, რომლებიც თაობათა მანძილზე უცვლელად მემკვიდრეობდა. ამ გზით მენდელმა გამოიყენა ***წმინდა ხაზები***, რომლებზეც ჩაატარა ჰიბრიდოლოგიური ანალიზი. მენდელმა ცდებში გამოიყენა 7 წყვილი ნიშანი. კერძოდ, მენდელის მიერ გამოყვანილი წმინდა ხაზები განსხვავდებოდა თესლის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (მრგვალი და ნაოჭიანი), თესლის კანის ფერით (რუხი და თეთრი) და მასთან კორელაციური ნიშნით – ყვავილის ფერით (მეწამული და თეთრი), ღეროზე ყვავილთა განლაგებით (კენწრული და იღლიური), მომწიფებული პარკის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (მთლიანი და დატიხრული), ღეროს სიგრძით (მაღალი და ქონდარა).

ჰიბრიდოლოგიური ანალიზის დროს შეჯვარების სქემის ჩასაწერად იყენებენ საყოველთაოდ მიღებულ სიმბოლოებს. აჯვარებენ წინასწარ შერჩეული ნიშნებით განსხვავებულ ინდივიდებს. შეჯვარება გამრავლების (X) ნიშნით აღინიშნება. სქემის შედგენისას პირველად მდედრობითი სქესის ორგანიზმს წერენ. იგი აღინიშნება ♀ (ვენერას სარკე) სიმბოლოთი, შემდეგ კი მამრობითი სქესის ინდივიდს ათავსებენ, რომელიც ♂ (მარსის შუბი და ფარი) სიმბოლოთი აღინიშნება. შესაჯვარებელი ორგანიზმები (მშობლები), რომლებზეც ანალიზს ატარებენ, ლათინური P ასოთი (პირველი ასო ლათინური სიტყვისა Parentale) აღინიშნება. განსხვავებული ნიშან-თვისებების მქონე ორგანიზმების შეჯვარებით მიღებულ შთამომავლობას ***ჰიბრიდული*** ეწოდება, ხოლო ცალკეულ ინდივიდს – ***ჰიბრიდი***. ჰიბრიდული თაობა ლათინური F ასოთი აღინიშნება (პირველი ასო სიტყვისა Filii-შვილები). ასოსთან ციფრობრივი ინდექსი ჰიბრიდულ თაობას გამოხატავს: მაგალითად, F_1 – პირველ თაობას; პირველი თაობის ინდივიდების შეჯვარებით მიიღება მეორე თაობა, რომელიც F_2-ით აღინიშნება; მესამე - F_3-ით და ა. შ.

7.1.1 მონოჰიბრიდული შეჯვარება

პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნის კანონი. ***შეჯვარებას, როდესაც შესაწყვილებელი ინდივიდები ერთმანეთისაგან ერთი წყვილი საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნით განსხვავდებიან, მონოჰიბრიდული ეწოდება.*** მენდელმა შეაჯვარა ინდივიდები, რომლებიც ალტერნატიული ნიშნებით განსხვავდებოდნენ. ცდის ყველა ვარიანტში წყვილი საპირისპირო ნიშნიდან მხოლოდ თითო გამოვლინდა, მეორე კი – არა. ყვავილის ფერით განსხვავებული მშობლების შთამომავლობა მეწამულყვავილიანი აღმოჩნდა, განსხვავებული თესლის ფორმით – გლუვი, თესლის ფერით განსხვავებულის – ყვითელი, ღეროს ზომით განსხვავებულის – მაღალღეროიანი და ა. შ. პირველი ჰიბრიდული თაობა ერთგვაროვანი იყო. ნიშანს, რომელიც ვლინდება პირველ თაობაში, მენდელმა უწოდა ***დომინანტური*** (ლათინ. dominans – გაბატონებული), ხოლო

[1] იოჰან გრეგორ მენდელი (1822-1884) დაიბადა ჰაიცენდორფში (ავსტრო-უნგრეთი, ახლანდ. გინჩიცე, ჩეხეთი). დაწყებითი განათლება ჰაიცენდორფისა და ლიპნიკის სკოლებში მიიღო. 1843 წ. დაამთავრა ოლმიუცის უნ-თან არსებული ფილოსოფიური კლასები. მენდელი იმავე წელს ბერად აღიკვეცა ბრიუნის (ახლანდ. ბრნო) ავგუსტიანელთა წმ. თომას მონასტერში. 1851-1853 წწ. სწავლობდა ვენის უნივერსიტეტში. იგი გულმოდგინედ დაეუფლა ღვთისმეტყველებას, ფიზიკას, ქიმიასა და ბიოლოგიას 1868 წლიდან წმ. თომას მონასტრის წინამძღვარია. 1856- 1865 წწ. ჩაატარა საყოველთაოდ აღიარებული ცდები ბარდაზე. ცდის შედეგები 1965 წ. მოახსენა ბრნოს ბუნებისმეტყველთა საზოგადოებას, ხოლო 1866 წ. შრომის სახით გამოქვეყნდა. ამ გამოკვლეულებს მენდელის სიცოცხლეში აღიარება არ მოპოვნია, თუმცა მრავალი გამოჩენილი მეცნიერისთვის იყო ცნობილი. მენდელის მივიწყებული შრომის სისნორე ჰ. დე ფრიზმა, კ. კორენსმა და ე. ჩერმაკმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად და ერთდროულად (1900) ცდებით დადასტურეს. მიეწყებული მკვლევარი ახალი დარგის – გენეტიკის ფუძემდებლად აღიარეს.

რომელიც ვერ ვლინდება, ***რეცესიული*** (ლათინ. recesius -- უკუქცეული, დათრგუნული). პირველ ჰიბრიდულ თაობაში ერთი ნიშნის მიერ მეორის დახშობის მოვლენას მენდელმა ***დომინირება*** უწოდა. ეს მოვლენა აღმოჩნდა უნივერსალური, რომელიც მოქმედებს მიკროორგანიზმებში, მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანში. ვინაიდან პირველ თაობაში ყველა ჰიბრიდი ერთნაირია, ამ კანონზომიერებას ***მენდელის პირველი კანონი ანუ პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი უწოდეს.***

დათიშვის კანონი. პირველი თაობის ჰიბრიდული მცენარეების თვითდამტვერვით მენდელმა მიიღო მეორე თაობა, რომელშიც დომინანტურ ნიშანთან ერთად რეცესიული ნიშანიც გამოვლინდა. ამჯერად, ორივე მშობლის ნიშნებმა იჩინა თავი. ზოგიერთმა მცენარემ გაიკეთა მეწამული, სხვამ – თეთრი ყვავილები; გაჩნდა მცენარეები როგორც ყვითელი, ისე მწვანე, როგორც გლუვი, ისე ნაოჭიანი თესლებით. ანალოგიური მოვლენა შეინიშნებოდა სხვა ნიშნების მიხედვითაც. დომინანტური და რეცესიული ნიშნის მქონე ინდივიდები გარკვეული რაოდენობრივი თანაფარდობით მიიღება. ინდივიდთა 3/4-ს დომინანტური ნიშანი ჰქონდა, ხოლო 1/4-ს – რეცესიული. ამრიგად, მეორე თაობაში დომინანტური და რეცესიული ნიშნის მიხედეით ხდებოდა დათიშვა, რომელიც გარკვეულ რაოდენობრივ კანონზომიერებებს ექვემდებარებოდა. კერძოდ, თანაფარდობა დაახლოებით იყო 3:1. ***მეორე თაობაში ორივე მშობლის ნიშნის (დომინანტურისა და რეცესიულის) გამოვლენის კანონზომიერებას მენდელის მეორე ანუ დათიშვის კანონი უწოდეს.*** მენდელმა დაამტკიცა, რომ რეცესიული ნიშანი პირველ თაობაში კი არ იკარგება ან დიფუზირდება (ითქვიფება) სხვა ნიშნებში, არამედ პირველ თაობაშივე ითრგუნება და ამიტომაც ვერ ვლინდება.

ალელიზმი. მენდელმა ივარაუდა, რომ მემკვიდრეობს არა ნიშან-თვისებები, არამედ მათი განმსაზღვრელი გენები. ისინი მუდმივი და უცვლელი სახით გადაეცემა შთამომაელობას. გენი წარმოადგენს მემკვიდრულობის ელემენტარულ დისკრეტულ ერთეულს, რომელიც ნიშნის ან თვისების განვითარებას განსაზღვრავს.

მენდელმა შემოიღო გენთა აღნიშვნის სიმბოლიკა. მან დომინანტური გენი აღნიშნა ლათინური ანბანის დიდი (მთავრული) ასოებით (A ან B), ხოლო რეცესიული – პატარათი (a ან b). საპირისპირო (ალტერნატიულ) ნიშანს განსაზღვრავს გენის ერთი წყვილი. ყოველი ინდივიდი ერთ მათგანს დედისაგან იღებს, მეორეს – მამისაგან. ალტერნატიული ნიშნის განმსაზღვრელ წყვილ გენებს ***ალელური წყვილები***, წყვილის თითოეულ ნევრს — ***ალელი***, მოვლენას კი -· ***ალელიზმი*** ეწოდება.

მოცემულ მაგალითებში ყოველ გენს აქვს ორი მდგომარეობა: დომინანტური (მაგ. A) ან რეცესიული (მაგ. a). კერძოდ, ბარდაში თესლის ფორმას ერთი გენის ორი ალელი განსაზღვრავს: დომინანტური A – გლუვს, რეცესიული a – ნაოჭიანს. ამგვარსავე მოვლენას ჰქონდა ადგილი ბარდაში სხვა საპირისპირო ნიშნების შემთხვევაშიც. ამრიგად, ალელი გენის არსებობის ფორმაა. იგი ორგანიზმში მეტწილად ორი ვარიანტით გვხვდება.

ფენოტიპი და გენოტიპი. მენდელმა მიღებული შედეგი ახსნა გამეტათა სიწმინდის ჰიპოთეზით, რომელსაც დასაბუთების შემდეგ გამეტათა სიწმინდის წესს უწოდებენ. დომინანტური ნიშნის (მაგ., გლუვთესლიანობის) განმსაზღვრელი ალელი აღინიშნება A ასოთი, ხოლო რეცესიული ნიშნის (მაგ. ნაოჭიანი თესლის) განმსაზღვრელი – a ასოთი. დომინანტური ნიშნის მქონე ინდივიდს (მაგ., გლუვთესლიანს) ექნება გენის AA ალელები, რეცესიულის მქონეს კი (მაგ., ნაოჭიანთესლიანს) – aa ალელები. გამეტებში წყვილი ალელიდან მხოლოდ თითოა წარმოდგენილი. გლუვთესლიან მცენარეში წარმოიქმნება A ალელის, ხოლო ნაოჭიანთესლიანში a ალელის მქონე გამეტები. *ორგანიზმი, რომელსაც მოეპოვება ერთი და იმავე გენის ერთნაირი ალელები (მაგ., AA ან aa) და იძლევა ერთი ტიპის გამეტებს,* **ჰომოზიგოტური** *ეწოდება. ჰომოზიგოტური ინდივიდი თვითდამტვერვით ან ურთიერთშეჯვარებით გამრავალებისას არ ითიშება.* იგი წმინდა შთამომავლობას იძლევა. განსხვავებული სახის ჰომოზიგოტური მშობლების (მაგ., AA x aa) შეჯვარებით კი მიიღება Aa ალელებიანი ჰიბრიდები. წყვილი ალელიდან ჰიბრიდი ერთს დედისაგან (A-ს), მეორეს კი – მამისაგან (a -ს) იღებს.

პირველ თაობაში მიღებულ ჰიბრიდებს მოეპოვებათ როგორც გლუვი თესლის – A, ისე ნაოჭიანი თესლის — a განმსაზღვრელი ალელები. ვინაიდან A ალელი ახშობს a ალელის მოქმედებას, ამიტომ პირველი თაობის ჰიბრიდები გლუვ თესლს იკეთებენ. ე. ი. მოქმედებს პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი. პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ჰეტეროზიგოტურებია. *ორგანიზმს, რომელიც შეიცავს ერთი და იმავე გენის განსხვავებულ ალელებს (მაგ.,Aa) და წარმოქმნის სხვადასხვა სახის გამეტებს (როგორც A-ს შემცველს, ისე a-ს შემცველსაც),* **ჰეტეროზიგოტური ეწოდება.**

პირველ თაობაში მიღებული (Aa) ჰიბრიდები გარეგნობით გლუვთესლიან (AA) მშობელს ემსგავსებიან, ალელთა შემცველობით კი განსხვავდებიან. *ინდივიდის გარეგან და შინაგან ნიშან-თვისებათა ერთობლიობას* **ფენოტიპი** *ეწოდება, ხოლო ინდივიდში წარმოდგენილ გენთა ერთობლიობას -* **გენოტიპი.**

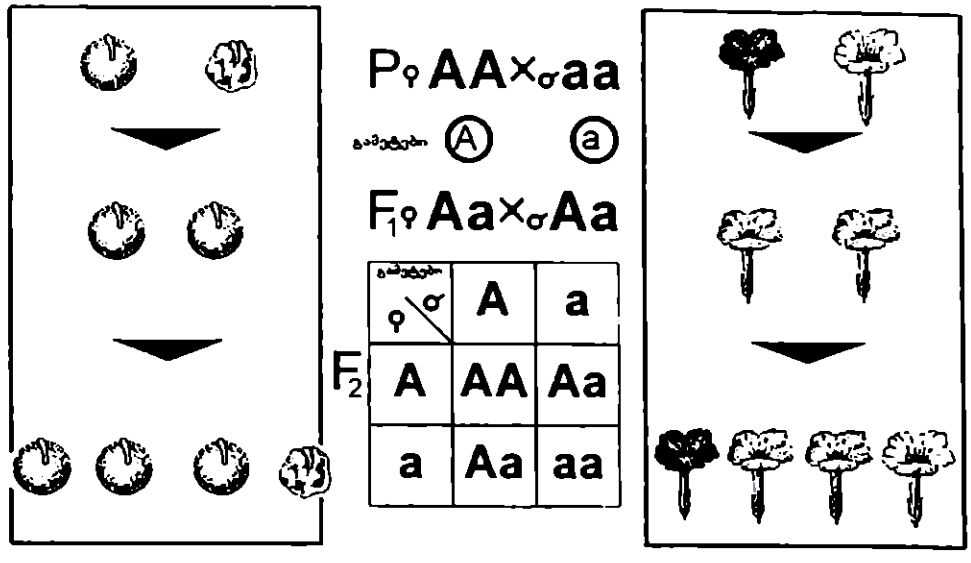
პირველი თაობის ინდივიდები მენდელმა თვითდამტვერვით გაამრავლა და მეორე ჰიბრიდული თაობა მიიღო. მან ივარაუდა, რომ პირველი თაობის ჰეტეროზიგოტურ (Aa) მცენარეებში თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნება ორი ტიპის გამეტები: A ან a ალელის მქონე. იმის გამო, რომ განაყოფიერებისას გამეტების შერწყმა შემთხვევით ხასიათს ატარებს, A ალელის მქონე სპერმიებს თანაბარი ალბათობით შეუძლიათ გაანაყოფიერონ როგორც A, ისე a ალელიანი კვერცხუჯრედები. ასევე, a ალელის მქონე სპერმიებს შეუძლიათ თანაბარი ალბათობით გაანაყოფიერონ ორივე სახის მდედრობითი გამეტები – კვერცხუჯრედები. ალელთა ეს ოთხი შესაძლო კომბინაცია ზიგოტებში თანაბარი ალბათობით რეალიზდება *(სურ. 7. 1).*

როგორც პენეტის ცხრილიდან ჩანს, მეორე თაობაში თანაბარი რაოდენობით მიიღება ინდივიდთა ოთხი კლასი: AA, Aa, Aa, aa. მეორე თაობაში აღინიშნება დათიშვა. თუ მიღებულ შედეგს ფენოტიპის მიხედვით გა-

ვაანალიზებთ, ინდივიდების 3/4 ნაწილი იქნება გლუვთესლიანი, ვინაიდან ისინი გენის დომინანტურ A ალელს შეიცავენ. 1/4 ნაწილი ნაოჭთესლიანი იქნება, რადგან მათ გენის რეცესიული ალელები აქვთ. ამრიგად, მეორე თაობაში ფენოტიპის მიხედვით დათიშვა ქმნის თანაფარდობას 3:1. გენოტიპის მიხედვით დათიშვა განსხვავდება ფენოტიპურისაგან. ინდივიდების ერთი ნაწილი დომინანტური ალელების მიხედვით არის ჰომოზიგოტური (AA), რომლებიც მომდევნო F_3 თაობაში აღარ დაითიშება, ორი ნაწილი ჰეტეროზიგოტურია (Aa), F_3-ში ისინი დაითიშებიან თანაფარდობით 3:1, ერთი ნაწილი კი რეცესიული ჰომოზიგოტი – aa მცენარეებია. მომდევნო თაობაში ისინი აღარ დაითიშებიან. ამრიგად, გენოტიპის მიხედვით დათიშვა არის თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa.

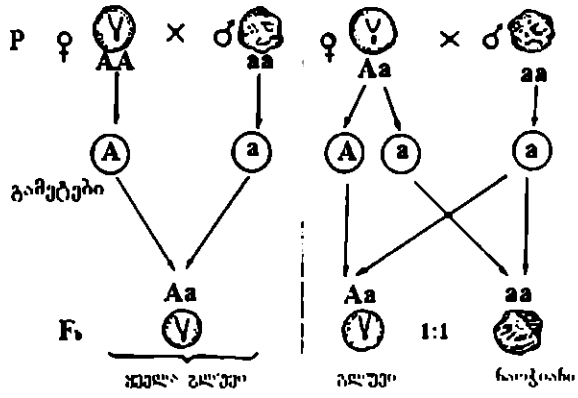
გამეტათა სიწმინდის წესი. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მენდელმა მიღებული შედეგის ასახსნელად წამოაყენა გამეტათა სიწმინდის ჰიპოთეზა, რომელიც მოგვიანებით დადასტურდა. ამჟამად მას გამეტების სიწმინდის წესს უწოდებენ. მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას ნიშნების მემკვიდრეობის ანალიზის საფუძველზე მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება შეიძლება: რადგან პირველი თაობის ჰიბრიდებში წყვილი ალტერნატიული ნიშნიდან მხოლოდ ერთი - დომინანტური - ვლინდება, მეორე თაობაში კი რეცესიული ნიშანი კვლავ წმინდა სახით იჩენს თავს, ბუნებრიცია, პეტეროზიგოტურ – Aa ინდივიდში A და a ალელების ერთმანეთში შერევა ან შერწყმა არ ხდება. ჰიბრიდში ისინი განცალკევებული ,,წმინდა" სახით გვხვდებიან. წყვილი ალელიდან გამეტაში მხოლოდ თითოა. ამიტომ პეტეროზიგოტურ ორგანიზმში ორი სახის A ან a ალელების მქონე გამეტები ყალიბდება. გამეტაში A ალელი ,,წმინდაა". იგი a ალელის არავითარ ნაწილს არ შეიცავს და პირიქით a ალელის მქონე გამეტას A ალელის ნანილი არ გააჩნია. ამდენად, ჰიბრიდში წარმოქმნილი გამეტები არაჰიბრიდულია, ,,წმინდაა". ***ალტერნატიული ნიშნის განმსაზღვრელ ალელთა შეურწყმელობას გამეტათა სიწმინდის წესი ეწოდება.***

არასრული დომინირება. მენდელის მიერ ჩატარებულ ცდებში, როგორც ზემოთ ვნახეთ, გენის ერთი ალელი მთლიანად ახშობდა მეორის მოქმედებას, ე. ი. გვხვდებოდა სრული დომინირება. ამ დროს პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ფენოტიპურად ერთ-ერთი მშობლის მსგავსია. მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანში გამოვლენილია მრავალი ისეთი ნიშანი, რომელთა განმსაზღვრელ გენებში ერთი ალელი მთლიანად ვერ ახშობს მეორის მოქმედებას. ეს შენიშნა მენდელმაც ბარდაში ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობისას. ამ მოვლენას არასრული ანუ შუალედური დომინირება ეწოდება, ვინაიდან პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ორივე მშობელს ემსგავსება – შუალედურია. პირველად ეს მოვლენა შეისწავლეს გულისაბასა და დევისპირაში წითელ და თეთრყვავილებიან მცენარეთა შეჯვარებისას. პირველ თაობაში ჰიბრიდებს (Aa) ვარდისფერი ყვავილები ჰქონდათ. ისინი ორივე მშობლის მსგავსი – შუალედური აღმოჩნდა. მეორე თაობაში ჰიბრიდების ერთ ნანილს (AA) ჰქონდათ წითელი, ორს (Aa) — ვარდისფერი, ერთ ნანილს (aa)კი - თეთრი ყვავილები. ვინაიდან ჰეტეროზიგოტური (Aa) მცენარეები ფენოტიპურად განსხვავდებიან ჰომოზიგოტურებისაგან, მეორე თაობაში დათიშვა ფენოტიპისა და გენოტიპის მიხედვით ერთმანეთს ემთხვევა და არის თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa *(სურ. 7.1)*. არასრული დომინანტობა ფართოდ გავრცელებული მოვლენაა.



სურ. 7.1. მონოჰიბრიდული შეჯვარება ბარდასა (სრული დომინირება) და გულისაბაში (არასრული დომინირება).

გამაანალიზებელი შეჯვარება. რეცესიული გენი მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ვლინდება. ამდენად, თუ ინდივიდს რეცესიული ნიშანი მოეპოვება, ადვილია მისი გენოტიპის განსაზღვრა. დომინანტური ნიშნის მქონე ინდივიდში ფენოტიპის მიხედვით შეუძლებელია გენოტიპის დადგენა. ამიტომ გენოტიპის განსაზღვრას სათანადო გენეტიკური მეთოდით – გამაანალიზებელი შეჯვარებით - ახდენენ. ამ მეთოდის არსი შემდეგია: ინდივიდს, რომლის გენოტიპის განსაზღვრა უნდათ, უჯვარებენ რეცესიული ნიშნის მქონე



სურ. 7.2. გამაანალიზებელი შეჯვარება

ინდივიდს. მაგალითად, გლუვთესლიანი ბარდა შეიძლება იყოს როგორც ჰომოზიგოტური (AA), ისე ჰეტეროზიგოტური (Aa). დავუშვათ, გლუვთესლიანი მცენარე ჰომოზიგოტურია (AA); მასში წარმოიქმნება ერთი სახის A-ალელის მქონე გამეტები, ასევე ერთი სახის გამეტები ყალიბდება ნაოჭთესლიან (aa) მცენარეში. გამეტების შერწყმით მიიღება Aa გენოტიპის ჰიბრიდები. ამრიგად, თუ გამაანალიზებელი შეჯვარებისას მიღებული ჰიბრიდები ერთგვაროვანი აღმოჩნდა, მაშინ უცნობი გენოტიპის მქონე ინდივიდი ჰომოზიგოტურია.

განვიხილოთ საპირისპირო შემთხვევა. დავუშვათ, გლუვთესლიანი ბარდა ჰეტეროზიგოტურია (Aa). მასში ორი ტიპის A და a ალელის მქონე თანაბარი რაოდენობის გამეტები წარმოიქმნება. რეცესიულ (aa) მცენარესთან შეჯვარებით მიიღება თანაბარი რაოდენობის როგორც გლუვთესლიანი (Aa), ისე ნაოჭთესლიანი (aa) ჰიბრიდები. ამრიგად, თუ გასაანალიზებელი ინდივიდი რეცესიულ ორგანიზმთან შეჯვარებისას ითიშება თანაფარდობით 1Aa:1aa, მაშინ იგი ჰეტეროზიგოტურია. გამაანალიზებელი შეჯვარების მეშვეობით, დათიშვის ხასიათის მიხედვით ადგენენ, როგორც გამოსაკვლევი ინდივიდის გენოტიპს, ისე წარმოქმნილი გამეტების ტიპებსა და მათ თანაფარდობას *(იხ. სურ. 7.2)*.

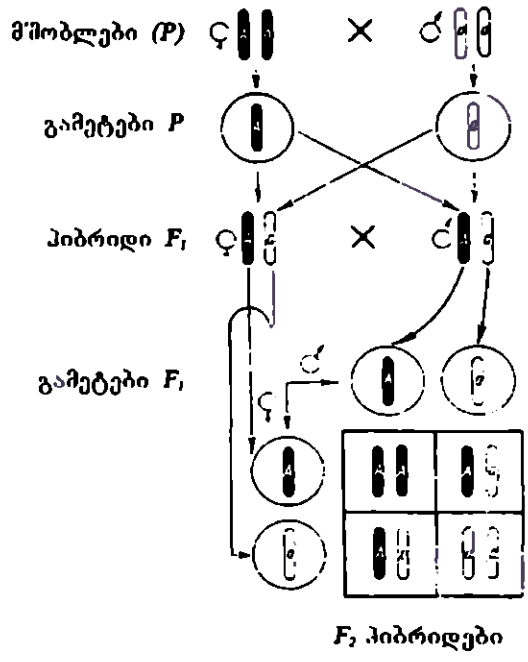
ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ფორმები. ერთი გენის ალელთა შორის დამოკიდებულება არაერთგვაროვანია. განასხვავებენ ალელთა მოქმედების რამდენიმე ფორმას. გამოვლენილია დომინირების შემდეგი სახეები: 1. **სრული დომინირების** დროს გენის ერთი ალელი მთლიანად თრგუნავს მეორის მოქმედებას. ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ეს მოვლენა მენდელმა შესწავლა; 2. **არასრული დომინირების** დროს გენის ერთი ალელი ნაწილობრივ თრგუნავს მეორის მოქმედებას, რის გამოც ჰეტეროზიგოტი ინდივიდი ფენოტიპურად ორივე მშობელს ემსგავსება; 3. **კოდომინირება** ისეთი მოვლენაა, როდესაც გენის ორივე ალელი ტოლფასოვანია – ეკვივალენტურია, დომინანტურ-რეცესიული დამოკიდებულება არ მოქმედებს, ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ორივე ალელი ფუნქციონირებს. 1927 წელს ადამიანში სისხლის MN ჯგუფობრივობა აღმოაჩინეს. ამ სისტემას მე-4 ქრომოსომაში ლოკალიზებული ერთი გენის ორი L^M და L^N კოდომინანტური ალელი განსაზღვრავს. ისინი შესაბამისად M და N მოლეკულის (ანტიგენის) სინთეზს აკონტროლებენ. L^ML^M გენოტიპის ადამიანს ერითროციტების ზედაპირზე M ანტიგენი აქვს, L^NL^N გენოტიპის ადამიანისას კი - N ანტიგენი. ჰეტეროზიგოტური L^ML^N გენოტიპის ადამიანში ორივე ალელი ტოლფასოვანია და ერთნაირად ფუნქციონირებს. ჰეტეროზიგოტაში ორივე სახის ანტიგენი სინთეზირდება და ერითროციტებს M და N ანტიგენი აქვთ. მათ MN ფენოტიპი აღენიშნებათ. 4. **ზედომინირება**: ამ მოვლენის დროს ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში გენის დომინანტი ალელი გაცილებით ძლიერად ფუნქციონირებს და ავლენს თავის მოქმედებას, ვიდრე ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში.

მრავლობითი ალელიზმი. ზემოთ განხილულ მაგალითებში გენი მხოლოდ ორი ალელური ფორმით (A და a ან B და b და ა. შ.) გვხვდებოდა. გამოვლენილია მრავალი ისეთი შემთხვევა, როდესაც გენი ორზე მეტი ვარიანტით – ალელითაა წარმოდგენილი. ამ მოვლენას *მრავლობითი ალელიზმი* ეწოდება. უნდა აღინიშნოს, რომ მრავლობითი სერიის წევრებიდან გამეტაში მხოლოდ ერთი ალელი ხვდება, ცალკეული ორგანიზმი კი მხოლოდ ორ ერთნაირ ან განსხვავებულ (მაგ., a_1a_1 ან a_1a_2 და ა.შ.) ალელს შეიცავს. ამდენად, მრავლობით ალელებში დათიშვა ყოველთვის მონოგენური ხასიათისაა. მრავლობით ალელთა მემკვიდრეობა მხოლოდ პოპულაციებში შეისწავლება.

ადამიანის მე-9 ქრომოსომაში ლოკალიზებული I გენი სისხლის AB0 ჯგუფობრიობას განსაზღვრავს. იგი ერითროციტების ზედაპირზე განლაგებული სპეციფიკური ანტიგენის სინთეზს აკონტროლებს. გენი ალელთა მარტივ სერიას ქმნის და სამი (I^A, I^B, I^0) ალელითაა წარმოდგენილი. I^A და I^B ალელები შესაბამისად A და B ანტიგენის სინთეზს ახდენენ, I^0 ალელს კი ანტიგენის სინთეზის უნარი არ გააჩნია. I^A და I^B ალელები ერთმანეთის მიმართ კოდომინანტურია, ხოლო ორივე მათგანი დომინანტობს I^0-ზე. სისხლის AB0 ჯგუფობრიობის მიხედვით მთელი მოსახლეობა ოთხ ჯგუფად იყოფა: I (0) ჯგუფის ადამიანთა გენოტიპია I^0I^0; II (A) ჯგუფის ადამიანთა გენოტიპებია I^AI^A ან I^AI^0; III (B) ჯგუფის — I^BI^B ან I^BI^0; IV (AB) ჯგუფის — I^AI^B. სისხლის ჯგუფობრიობის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს. სისხლის გადასხმის შემთხვევაში ამ მოვლენის გაუთვალისწინებლობისას ხშირად ვითარდება პემოტრანსფუზიური შოკი, რომელმაც შეიძლება ადამიანის სიკვდილი გამოიწვიოს.

7.1.2 მონოჰიბრიდული შეჯვარების ციტოლოგიური მექანიზმი

მენდელის მოღვაწეობის დროს ჯერ კიდევ არ იყო აღმოჩენილი და შესნავლილი უჯრედის გაყოფის ფორმები, გამეტოგენეზი. მიზეზი იმისა, თუ რა განაპირობებდა პირველ თაობაში ერთგვაროვნებას, რატომ ხდებოდა დათიშვა მეორე თაობაში ან რით იყო გამონვეული ფაქტორთა წყვილადობა და გამეტათა სიწმინდის ბუნება – მენდელისათვის უცნობი დარჩა. მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებების ხელმეორედ აღმოჩენის შემდეგ, 1902-1903 წწ. ამერიკელმა მეცნიერმა უ. სეტონმა და გერმანელმა მკვლევარმა ტ. ბოვერიმ ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად ყურადღება მიაქციეს ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობასა და ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა ქცევას თაობათა მონაცვლეობის პროცესში – მეიოზისა და განაყოფიერების დროს. ამ მნიშვნელოვანი პარალელიზმის საფუძველზე მათ მოგვცეს გამეტათა სიწმინდის ჰიპოთეზის ციტოლოგიური ვერსიფიკაცია.

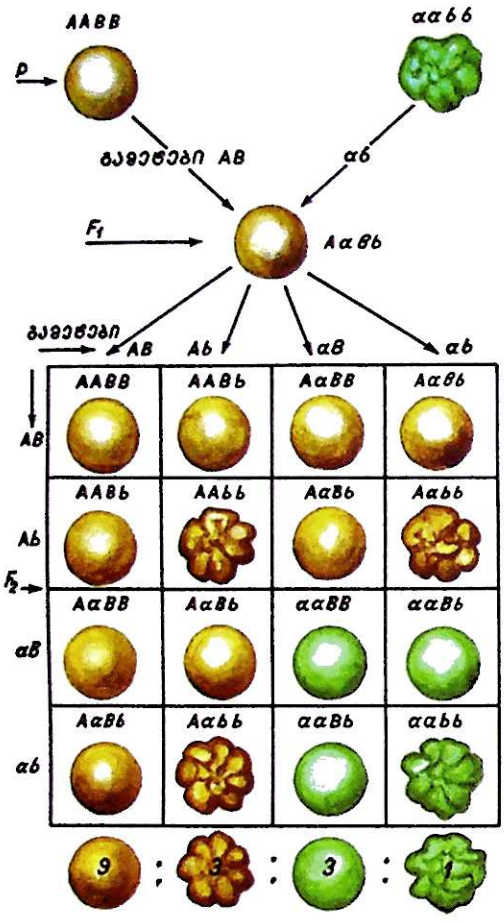


სურ. 7.3. მონოჰიბრიდული შეჯვარების ციტოლოგიური ვერსიფიკაცია.

დავუშვათ, რომ ბარდას სომატური უჯრედები შეიცავს მხოლოდ ქრომოსომათა ერთ ჰომოლოგიურ წყვილს, რომელშიც მოთავსებულია თესლის ფორმის განმსაზღვრელი გენი. ქრომოსომის იმ უბანს, რომელშიც გენია მოთავსებული, *ლოკუსი* ეწოდება. საპირისპირო ნიშნის განმსაზღვრელი გენის ალელები ჰომოლოგიური ქრომოსომების მოპირდაპირე ლოკუსებში არის განლაგებული. ეინაიდან ჰომოლოგიური ქრომოსომები წყვილია, გლუვთესლიან ჰომოზიგოტურ მცენარეს ორი დომინანტი AA ალელი აქვს, ხოლო ნაოჭთესლიანს კი - aa ალელები. მეიოზის შედეგად ხდება ქრომოსომათა რიცხვის განახევრება. გამეტას ჰომოლოგიური წყვილიდან მხოლოდ ერთი ქრომოსომა აქვს და, ბუნებრივია, ერთი ალელი: გლუვთესლიანი მცენარის გამეტებში A ალელიანი, ხოლო ნაოჭთესლიანის გამეტებში a ალელიანი ქრომოსომა აღმოჩნდება. განაყოფიერებისას აღდგება ქრომოსომათა წყვილადობა. ჰიბრიდს ერთ ქრომოსომაში ექნება A, მეორეში კი - a ალელი. მისი გენოტიპი Aa იქნება, ე. ი. ისეთი, როგორიც მენდელმა იუარაუდა. ჰიბრიდულ მცენარეში სასქესო უჯრედების მომწიფებისას, მეიოზში, ჰომოლოგიური ქრომოსომების წევრები ერთმანეთს შორდებიან. A ალელის მქონე ქრომოსომა აღმოჩნდება ერთ გამეტაში, a ალელისა კი – მეორე გამეტაში. ორივე სახის გამეტები თანაბარი რაოდენობით ყალიბდება მცენარის როგორც მდედრობით, ისე მამრობით სასქესო ორგანოებში. ამრიგად, ნათელი ხდება, თუ რატომ წარმოიქმნება ჰიბრიდულ მცენარეში არაჰიბრიდული ანუ წმინდა გამეტები. გამეტების შერწყმა შემთხვევითი ხასიათისაა. განაყოფიერების დროს ორივე ტიპის მდედრობითი და მამრობითი გამეტები თანაბარი ალბათობით ერწყმიან ერთმანეთს, რის გამოც ხორციელდება დათიშვა თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa *(იხ. სურ. 7.3).*

7.1.3 დიჰიბრიდული შეჯვარება

შეჯვარებას, როდესაც სანყისი ინდივიდები ორი წყვილი ალტერნატიული ნიშნით განსხვავდებიან ერთმანეთისგან, დიჰიბრიდული ეწოდება. მენდელმა ერთმანეთს შეუჯვარა ჰომოზიგოტური მცენარეები, რომლებიც ორი სხვადასხვა გენის ალელებით განსხვავდებოდა. განვიხილოთ ერთ-ერთი მისეული კლასიკური ცდა. სანყისი ინდივიდები ერთმანეთისაგან განსხვავდებოდნენ თესლის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (გლუვი და ნაოჭიანი). ერთ-ერთი მშობელი იყო ყვითელ- და გლუვთესლიანი, მეორე კი – მწვანე- და ნაოჭთესლიანი. პირველ თაობაში ჰიბრიდებმა ყვითელი და გლუვი თესლი გაიკეთეს. არ დარღვეულა პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნობის კანონი. პირველი თაობის ჰიბრიდები მენდელმა თვითდამტვერვით გაამრავლა და მიიღო მეორე თაობის ჰიბრიდული თესლი. მიღებული თესლებიდან 315 იყო ყვითელი, გლუვი (9 ნაწილი); 101 – ყვითელი, ნაოჭიანი (3 ნაწილი); 108 – მწვანე, გლუვი (3 ნაწილი); 35 – მწვანე, ნაოჭიანი (1 ნაწილი). ამრიგად, მოხდა დათიშვა თანაფარდობით 9:3:3:1, ანუ უცვლელი დარჩა მეორე (დათიშვის) კანონი. როდესაც მენდელმა მიღებული შედეგები ცალკეული წყვილი ნიშნის მიხედვით გაანალიზა (მეორე წყვილ ნიშანს ყურადღება არ მიაქცია), ასეთი შედეგი მიიღო: 416 თესლი იყო ყვითელი, 140 კი – მწვანე. ეს თანაფარდობა ძალიან ახლოსაა 3:1-თან; ხოლო როდესაც თესლები ფორმის მიხედვით გაანალიზა, 423 იყო გლუვი, 133 კი – ნაოჭიანი; ამ შემთხვევაშიც დათიშვა ქმნის თანაფარდობას 3:1. ამრიგად, ცალკეული წყვილი ალტერნატიული ნიშნის მიხედვით დათიშვა ისეთივე აღმოჩნდა, როგორიც მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას, რის საფუძველზეც მენდელმა ჩამოაყალიბა ნიშან-თვისებათა დამოუკიდებლად მემკვიდრეობის კანონი. მას ამჟამად ***მენდელის მესამე ანუ გენთა დამოუკიდებლად მემკვიდრეობის კანონი ეწოდება.***



სურ. 7.4. თესლის ფერისა და ფორმის მემკვიდრეობა ბარდაში.

მიღებული შედეგის ასახსნელად მენდელმა კვლავ გამეტათა სიწმინდის ჰიპოთეზა გამოიყენა. თესლის ყვითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენი აღნიშნა A ნიშნით; მისი რეცესიული, მწვანე ფერის განმსაზღვრელი ალელი კი - a-თი; გლუვი ფორმის განმსაზღვრელი დომინანტი გენი – B-თი; მისი რეცესიული, ნაოჭიანი ფორმის განმსაზღვრელი ალელი კი - b-თი. ყვითელი გლუვთესლიანი ჰომოზიგოტი მცენარის გენოტიპია AABB, მწვანე გლუვთესლიანის კი – aabb. ვინაიდან გამეტაში წყვილი ალელური გენიდან თითოა, ორივე მშობელი თითო სახის გამეტებს წარმოქმნის: პირველი – AB, მეორე კი – ab ალელებიანს. გამეტების შერწყმით პირველ თაობაში მიიღება AaBb გენოტიპის დიჰეტეროზიგოტური მცენარეები, რომლებიც ყვითელ და გლუვ თესლებს გაიკეთებს. დიჰეტეროზიგოტულ მცენარეებში თანაბარი რაოდენობით ყალიბდება ოთხი სახის – AB, Ab, aB და ab ალელების მქონე გამეტები. ვინაიდან არაალელური გენები დამოუკიდებლად კომბინირებენ, წარმოიქმნება როგორც საწყისი ინდივიდების მსგავსი – AB და ab გამეტები, ისე ახალი კომბინაციები –Ab და aB.

გამეტების შემთხვევითი, თანაბარი ალბათობით შერწყმის გამო მიიღება ზიგოტები გენთა 16 სახის კომბინაციით. მდედრობითი და მამრობითი გამეტების შერწყმით მიღებული ზიგოტების ყველა შესაძლო კომბინაცია, მეორე თაობის ფენოტიპები და გენოტიპები, მათი შეხვედრის სიხშირე მოყვანილია ცხრილში ***(სურ. 7.4).*** როგორც პენეტის ცხრილიდან ჩანს, მის ერთ დიაგონალზე განლაგებულია ორივე გენის მიხედვით ჰომოზიგოტური, ხოლო მეორე დიაგონალზე – დიჰეტეროზიგოტური კომბინაციები. დანარჩენ კვადრატებში მონოჰეტეროზიგოტური კომბინაციებია წარმოდგენილი. ცხრილში მოცემული შედეგის ფენოტიპების მიხედვით ანალიზი ცხადყოფს, რომ 16 კომბინაციიდან 9/16 შეიცავს A და B დომინანტურ ალელებს, რის გამოც თესლები ყვითელი და გლუვია; 3/16 – ყვითელი და ნაოჭიანი, რადგანაც A დომინანტი და b რეცესიული ალელები აქვთ. 3/16 – მწვანე და ნაოჭიანი, მათ a რეცესიული და B დომინანტური ალელები აქვთ; 1/16 კი – მწვანე და ნაოჭიანია, რადგან მათში მხოლოდ გენთა რეცესიული a და b ალელებია წარმოდგენილი. ამრიგად, მეორე თაობაში მიიღება ოთხი ფენოტიპური კლასი თანაფარდობით 9AB:3Ab:3aB:1ab. შესაბამისად, თითოეული წყვილი ალელის მიხედვით დათიშვა 3:1 თანაფარდობით ხდება (12 ყვითელი:4 მწვანე და 12 გლუვი:4 ნაოჭიანი). ამრიგად, დიჰიბრიდული შეჯვარება წარმოადგენს ორი მონოჰიბრიდული შეჯვარების თანწყობის შედეგს.

თუ მეორე თაობაში მიღებულ შედეგს გენოტიპის მიხედვით გავაანალიზებთ, დავინახავთ, რომ ყვითელ გლუვთესლიან ფენოტიპურ კლასში ოთხი განსხვავებული გენოტიპური კლასია გაერთიანებული თანაფარდობით 1AABB: 2AaBB:2AABb:4AaBb; ყვითელ- და ნაოჭთესლიანებში ორი გენოტიპური კლასია თანაფარდობით 1AAbb: 2Aabb; მწვანე- და გლუვთესლიანებში ასევე ორი გენოტიპური კლასია თანაფარდობით 1aaBB: 2aaBb. მწვანე- და ნაოჭთესლიანები ერთი გენოტიპური aabb კლასითაა წარმოდგენილი. მეორე თაობაში გენოტიპის მიხედვით დათიშვაა თანაფარდობით: 1:2:2:4:1:2:1:2:1.

ორგანიზმის ნიშან-თვისებათა ჩამოყალიბება მრავალი გენის მოქმედებით ხდება. ბუნებაში მიმდინარეობს პოლიჰიბრიდული შეჯვარება, რადგანაც მშობლები მრავალი ნიშან-თვისებით და, შესაბამისად, მრავალი გენით განსხვავდებიან. ***შეჯვარებას, როდესაც მშობლები მრავალი წყვილი ალტერნატული ნიშნით განსხვავდებიან, პოლიჰიბრიდული ეწოდება.*** პოლიჰიბრიდული შეჯვარება მრავალი მონოჰიბრიდული შეჯვარების თანწყობის შედეგია. მეორე თაობაშიფენოტიპების რიცხვითი თანაფარდობა ადვილად შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით $(3+1)^n$, სადაც n ნიშანთა წყვილის რაოდენობას გამოხატავს, რითაც განსხვავდებიან შეჯვარებაში მონაწილე მშობლები. ეს თანაფარდობა იქნება დიჰიბრიდისათვის $(3+1)^2 = 9:3:3:1$, ტრიჰიბრიდისათვის $(3+1)^3 = 27:9:9:9:3:3:3:1$ და ა. შ.

ამრიგად, მენდელისეული დათიშვა ანუ ფენოტიპური კლასების რიცხობრივი თანაფარდობა მკაცრი კანონზომიერებით ხდება. კანონზომიერება ვლინდება იმ შემთხვევაში, თუ ორი პირობაა დაცული: კერძოდ, ნიშნების განმსაზღვრელი გენები უნდა იყოს ლოკალიზებული არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში, თითოეული გენი კი სხვა გენებისაგან დამოუკიდებლად უნდა განსაზღვრავდეს ცალკეულ ნიშანს ან თვისებას.

7.2 არაალელურ გენთა ურთიერთქმედება

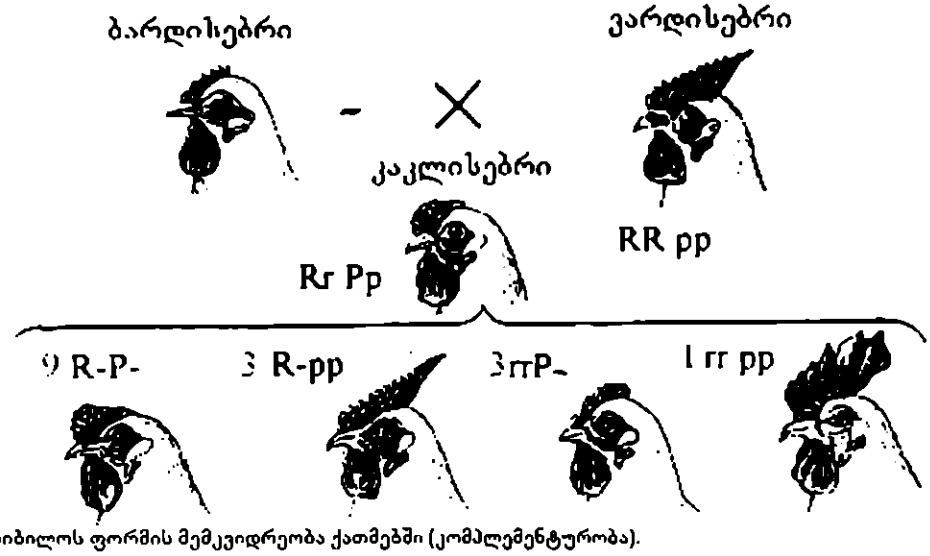
გენეტიკის განვითარების ადრეულ ეტაპზევე დაგროვდა მრავალი ფაქტი, რომელიც მიუთითებდა, რომ ნიშნებსა და მათ განმსაზღვრელ გენებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება ძალზე რთული და მრავალფეროვანია. ნიშნის ჩამოყალიბება ონტოგენეზში არა ერთი გენის, არამედ მათი ერთობლიობით - გენოტიპის - მოქმედებით ხორციელდება. თუ ნიშნის განვითარებაში რამდენიმე გენი მონაწილეობს, ისინი თანამოქმედებენ.

გაირკვა, რომ ერთსა და იმავე გენს შეუძლია გავლენა მოახდინოს რამდენიმე ნიშნის განვითარებასა და ჩამოყალიბებაზე. დადგენილია საპირისპირო მოვლენაც – ნიშან-თვისების ჩამოყალიბება მრავალი გენის ურთიერთქმედებით ხორციელდება. გამოვლენილია არაალელურ გენთა ურთიერთქმედების რამდენიმე ტიპი: ***კომპლემენტური, ეპისტაზური*** და ***პოლიმერული***. კარგადაა, აგრეთვე, შესწავლილი გენის მრავლობითი არუ ***პლეიოტროპული*** მოქმედება.

გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმის დროს ნიშნის მემკვიდრულობა მენდელის მიერ დადგენილ კანონზომიერებებს ემყარება. დადგენილია, რომ ჩნდება მენდელისეული დათიშვის ზოგადი ფორმულის სახეცვლილება, რის მიხედვითაც გენოტიპის სისტემაში გენთა შორის რთულ ურთიერთდამოკიდებულებას ადგენენ.

კომპლემენტურობა. კომპლემენტური ანუ დამატებითი ენოდება ისეთ დომინანტ არაალელურ გენებს, რომლებიც ცალ-ცალკე მოქმედებისას სხვა, გენოტიპში ერთად ყოფნისას კი – სრულიად ახალი ნიშნის განვითარებას ინვევს.

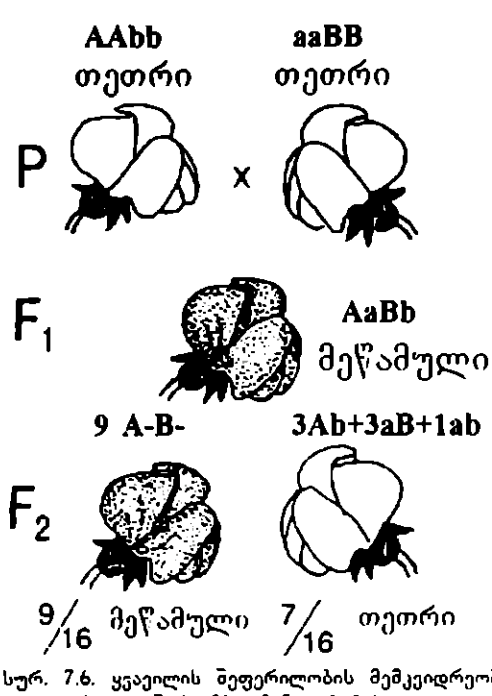
ურთიერთქმედების ეს ფორმა პირველად ვ. ბეტსონმა და რ. პენეტიმ გამოვლიეს და შესწაელეს ქათმებში ბიბილოს ფორმის მემკვიდრეობის ანალიზისას. როგორც გაირკვა, ქათმებში ბიბილოს ფორმას ორი გენი – R და P განსაზღერავს და დამოკიდებულია დომინანტურ/რეცესიულ ალელთა კომბინაციებზე. ორივე ამ გენის რეცესიული ალელები (r და p) განსაზღვრავს ბიბილოს მარტივ ფორმას. ვარდისებრი ფორმის ბიბილოს განვითარებას დომინანტური R ალელი იწვევს. გეხედება, აგრეთვე, ბარდისებრი ფორმის ბიბილო, რომელსაც განსაზღვრავს მეორე, P გენის დომინანტური ალელი. ვარდისებრ-ბიბილოიანი (RRpp) და ბარდისებრ-ბიბილოიანი (rrPP) ქათმების შეჯვარებით F_1-ში მიღებულ ჰიბრიდებს სრულიად ახალი, ე. წ. კაკლისებრი ფორმის ბიბილო აღმოაჩნდათ. გენეტიკურმა ანალიზმა ცხადყო, რომ კაკლისებრი ფორმის ბიბილოს განვითარება გამოიწვია ორი არაალელური გენის დომინანტური ალელების თანაარსებობამ ჰიბრიდებში (RrPp). F_2-ში ბიბილოს ფორმის მიხედვით შთამომაელობა ოთხ ფენოტიპურ კლასად დაიყო: 9 ნანილი იყო კაკლისებრი, 3 – ვარდისებრი, 3 – ბარდისებრი და 1 ნანილი – მარტივი ბიბილოთი. ასეთი თანაფარდობა დიჰიბრიდული შეჯვარებისათვისაა დამახასიათებელი *(სურ. 7.5)*. მიღებული შედეგი მენდელის კლასიკური, დიჰიბრიდული შეჯვარების ცდისაგან იმით განსხვავდება, რომ იგი ერთ ნიშანს - ბიბილოს ფორმას - ეხება. იმ გენოტიპურ კლასს, რომელიც ორივე გენის დომინანტურ (თუნდაც თითო) ალელს შეიცავს, ექნება კაკლისებრი ბიბილო. ასეთია F_1-ში მიღებული



სურ. 7.5. ბიბილოს ფორმის მემკვიდრეობა ქათმებში (კომპლემენტურობა).

დიჰეტეროზიგოტი (RrPp). მეორე თაობაში მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 9R-P-:3R-pp:3rrP-:1rrpp. თითო დომინანტური გენის მქონე ინდივიდებს, შესაბამისად, ვარდისებრი ან ბარდისებრი ბიბილო, ორმაგ რეცესიულ ფორმას კი – მარტივი ბიბილო ექნება. მაშასადამე, დათიშვა თანაფარდობით 9:3:3:1 მაშინ მიიღება, როდესაც დომინანტურ და რეცესიულ გენებს განსხვავებული ფენოტიპური ეფექტი აქვთ.

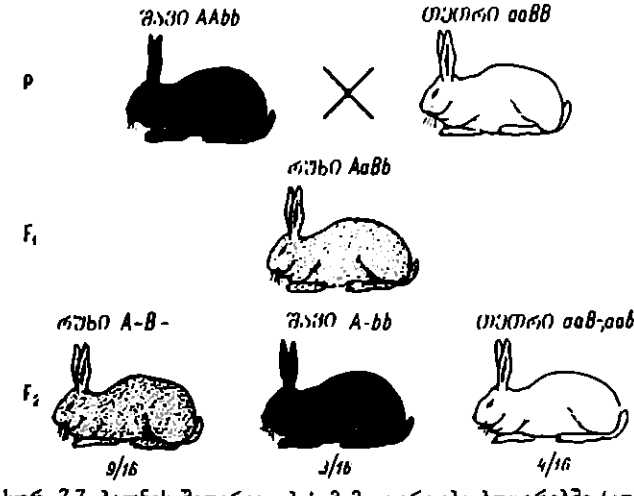
იმ შემთხვევაში, როდესაც ორივე არაალელური დომინანტური და რეცესიული გენები დამოუკიდე-



სურ. 7.6. ყვავილის შეფერილობის მემკვიდრეობა ბაღის არჯაკელში (კომპლემენტურობა).

ბელ ეფექტს არ ავლენს ან მათ მსგავსი მოქმედება აქვთ, მაშინ მენდელის კლასიკური დათიშვის მოდიფიცირების გამო მიიღება თანაფარდობა 9:7. მაგალითად, ბაღის არჯაკელში ორი განსხვავებული თეთრყვავილიანი რასის შეჯვარებისას ჰიბრიდებმა F_1-ში მეწამული ყვავილები გაიკეთეს, F_2-ში კი მცენარეები ორ ფენოტიპურ ჯგუფად დაიყო. პირველმა ჯგუფმა, რომელიც მთელი მცენარეების 9 ნაწილს შეადგენდა, მეწამული ყვავილები გაიკეთა, მეორემ კი, რომლის რაოდენობა დაახლოებით 7 ნაწილი იყო – თეთრი. ვინაიდან F_2-ში მიიღება გენოტიპთა 16 კომბინაცია, აშკარად ფიგურირებს დიგენური მემკვიდრეობა. რადგანაც F_1-ში მიღებული ჰიბრიდები განსხვავდებიან მშობლებისგან, ეს უკანასკნელნი თითო დომინანტ გენს შეიცავენ და მათი გენოტიპებია AAbb და aaBB. F_1-ში ორივე A და B გენის დომინანტური ალელები ერთ გენოტიპში ერთიანდება. მათი ურთიერთქმედების შედეგად მცენარეებში სინთეზდება პიგმენტი, რის გამოც მათ მეწამული ყვავილები გამოაქვთ. მენდელის დათიშვის კანონიდან გამომდინარე, მეორე თაობაში უნდა მოხდეს დათიშვა თანაფარდობით 9A_B_:3A_bb:3aaB_:1aabb. ყველა ის მცენარე, რომელსაც ორივე A და B გენის დომინანტური (თუნდაც თითო) ალელი გენოტიპში ერთად ექნება, მეწამულ ყვავილებს გაიკეთებს. დომინანტური ალელების ცალ-ცალკე გენოტიპში მოხვედრისას ან არარსებობის დროს არ ხდება პიგმენტის სინთეზი – მათ თეთრი ყვავილები ექნებათ. 3Ab + 3aB + 1ab = 7 კლასების გაერთიანების გამო მენდელის კლასიკური ფორმულის მოდიფიცირება ხდება და მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 9:7 *(სურ. 7.6)*.

როდესაც ერთ-ერთი დომინანტური და ორივე რეცესიული გენი ერთნაირ ფენოტიპურ ეფექტს ავლენს, ყალიბდება დათიშვა თანაფარდობით: 9 : 3 : 4. ასე მაგალითად, შავ (AAbb) და თეთრბალნიანი (aaBB) ბოცვრების შთამომავლობა, A და B გენის დომინანტური ალელების ურთიერთქმედების გამო, F_1-ში რუხია (AaBb). F_2-ში მენდელის კლასიკური დათიშვის მოდიფიცირების შედეგად ყალიბდება დათიშვა თანაფარდობით 9 რუხი (A_B_) : 3 შავი (A_bb) : 4 თეთრი (3aaB_+1aabb) *(სურ. 7.7)*.

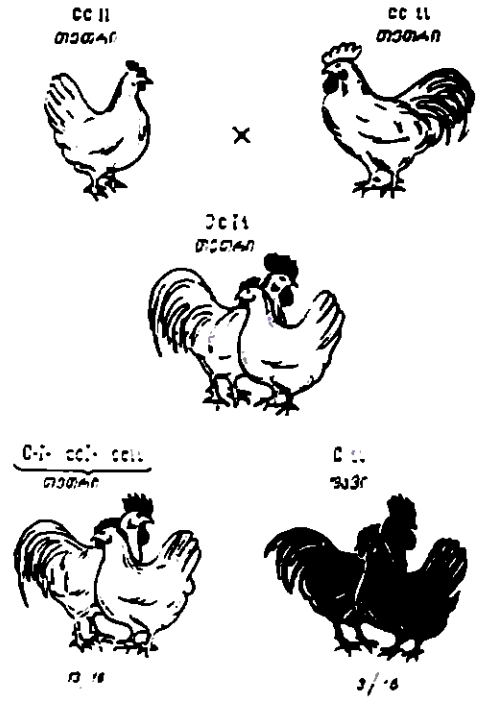


სურ. 7.7. ბალნის შეფერილობის მემკვიდრეობა ბოცვრებში (კომპლემენტურობა).

ეპისტაზი. გენთა ისეთ ურთიერთქმედებას, როდესაც ერთი არაალელური გენი ახშობს მეორე გენის მოქმედებას, ეპისტაზური ეწოდება. დომინანტური ეპისტაზის დროს ერთი დომინანტური გენი თრგუნავს მეორე არაალელური დომინანტური ან რეცესიული გენის მოქმედებას (მაგ., A>B ან b). რეცესიული ეპისტაზის დროს პირუკუ, რეცესიული გენი ახშობს არაალელური დომინანტის ან რეცესიული გენის მოქმედებას (მაგ., a>B ან b). დომინანტური ეპისტაზის შემთხვევაში, როდესაც ინჰიბიტორ გენს დამოუკიდებელი ფენოტიპური ეფექტი არა აქვს, მენდელის კლასიკური ფორმულის მოდიფიცირების გამო მეორე თაობაში მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 13:3.

ქათმებში ორი განსხვავებული ჯიშის თეთრი ინდივიდების შეჯვარებით პირველ თაობაში კვლავ თეთრი შეფერილობის შთამომავლობა მიიღეს. მეორე თაობაში ქათმები შეფერილობით ორ ფენოტიპურ ჯგუფად დაიყო: 13 ნაწილი აღმოჩნდა თეთრი, ხოლო 3 ნაწილი შავი. გენეტიკური ანალიზით დადგინდა, რომ ამ შემთხვევაში თავს იჩენს დიგენური მემკვიდრეობა. მიიღება ზიგოტათა 16 კომბინაცია. მშობლებიდან ერთ-ერთის გენოტიპია CCII, სადაც C გენის დომინანტური ალელი განსაზღვრავს შავი პიგმენტის-მელანინის სინთეზს, მისი რეცესიული c ალელი პიგმენტის სინთეზს ვერ იწვევს. მეორე, ინჰიბიტორი I გენის დომინანტურ ალელს დამოუკიდებელი ფენოტიპური ეფექტი არ გააჩნია. იგი ახშობს C გენის მოქმედებას. რეცესიული i ალელი პიგმენტის სინთეზზე გავლენას არ ახდენს. ქათმის

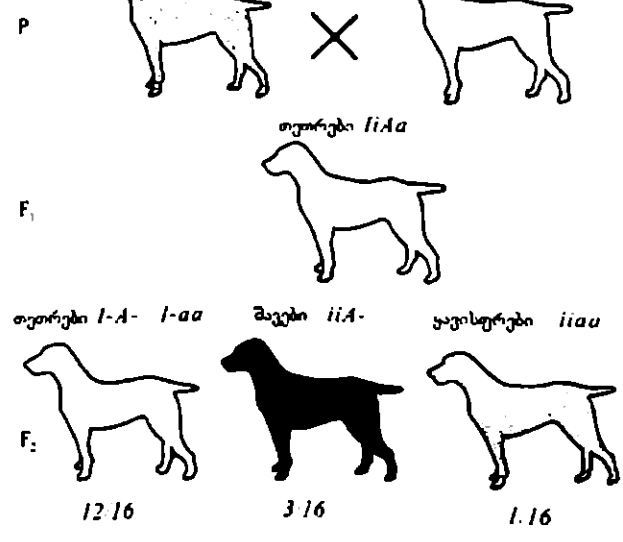
ზემოთ დასახელებული ჯიში (თეთრი ეიანდოტი) გენოტიპში პიგმენტის მასინთეზებელი C გენის დომინანტური ალელის არსებობის მიუხედავად თეთრია, რადგან მის მოქმედებას I გენი ახშობს. მეორე თეთრი მშობელი (თეთრი მინორული) დიჰომოზიგოტური (ccii) რეცესივია. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტი CcIi ფრინველები გენოტიპში I სუპრესორი გენის არსებობის გამო თეთრი შეფერილობისანი არიან. მეორე თაობაში, მენდელის კანონიდან გამომდინარე, უნდა მოხდეს დათიშვა თანაფარდობით 9C_I_:3C_ii:3ccI_:1ccii; წარმოქმნილი კომბინაციებიდან მხოლოდ 3/16C_ii (CCii და Ccii) ექნება შავი შეფერილობა. მათი გენოტიპი არ შეიცავს I სუპრესორს და დომინანტი C ალელი ფუნქციონირებს. გენოტიპთა დანარჩენი კლასები (9C_I_+3ccI_+1ccii=13) შეიცავს მხოლოდ I ალელს ან რეცესიული დიჰომოზიგოტები არიან, მათ ერთნაირი ფენოტიპი აქვთ – თეთრი შეფერილობა, რის გამოც მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 13:3 *(სურ. 7.8)*.



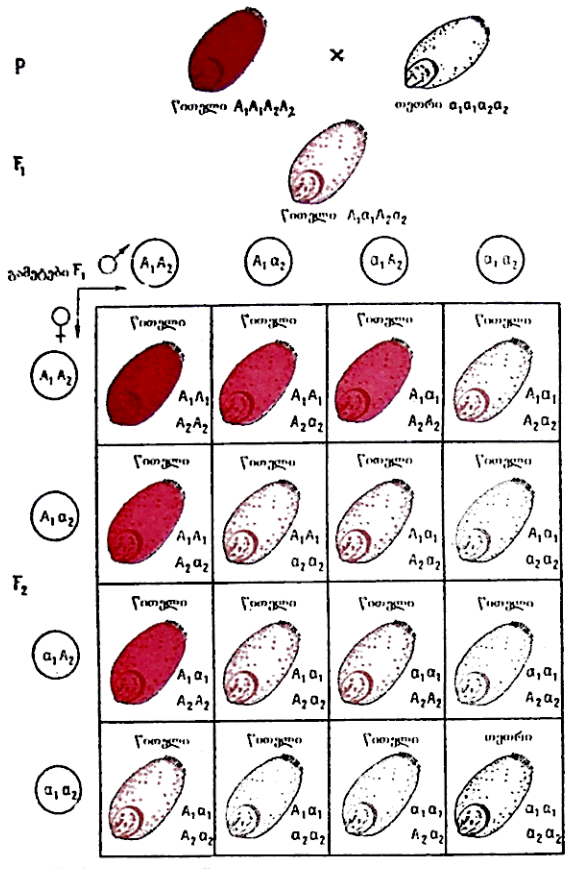
სურ. 7.8. ბუმბულის შეფერილობის მემკვიდრეობა ქათმებში (ეპისტაზი).

დომინანტური ეპისტაზის დროს ფენოტიპური დათიშვა მეორე თაობაში შეიძლება იყოს 12:3:1 [(9+3):3:1]. ამ სახის დათიშვა ხდება მაშინ, როდესაც ორივე რეცესიული გენის მქონე ჰომოზიგოტ ინდივიდს სპეციფიკური ფენოტიპი აქვს. მაგალითად, თეთრი და ყავისფერი ძაღლების შეჯვარებისას პირველ თაობაში პიბრიდებს თეთრი ლეკვები ჰყავთ, მეორე თაობაში ხდება დათიშვა 12 თეთრი: 3 შავი: 1 ყავისფერი. ვინაიდან მეორე თაობაში ზიგოტების 16 კომბინაცია მიიღება, ჩნდება დიგენური მემკვიდრეობა. თუ მიღებულ შედეგს ცალკეული ნიშნის მიხედვით გავაანალიზებთ (შეფერილი და შეუფერავი, შავი და ყავისფერი), ცხადი ხდება, რომ თეთრი შეფერილობა დომინანტურია: 12 თეთრი: 4 შეფერილი, ე. ი. 3:1. დათიშვა 3 შავი: 1 ყავისფერი მიუთითებს, რომ შავ შეფერილობას დომინანტი გენი განსაზღვრავს, ყავისფერს კი – რეცესიული. პიგმენტის სინთეზის ინჰიბირებას იწვევს I გენის დომინანტური ალელი, რისი უნარიც არ გააჩნია i რეცესიულ ალელს. შავ შეფერილობას განსაზღვრავს გენის A ალელი, ყავისფერს კი – რეცესიული ალელი. მშობლების გენოტიპებია IIAA (თეთრი) და iiaa (ყავისფერი). პირველ თაობაში მიღებული პიბრიდების გენოტიპია IiAa; F_2-ში მიიღება დათიშვა 9I_A-+3I-aa თეთრი: 3iiA- შავი: 1iiaa ყავისფერი *(სურ. 7.9)*.

პოლიმერია. მოვლენას, როდესაც რამდენიმე არაალელური გენი ერთი და იმავე ნიშან-თვისების (ფენის) განვითარებას განსაზღვრავს, პოლიმერია ეწოდება. ამ შემთხვევაში სხვადასხვა გენი თითქოს ერთმანეთის მოქმედებას იმეორებენ. ურთიერთმოქმედი პოლიმერული გენებიდან გენოტიპში ნებისმიერი ერთი დომინანტი ალელის არსებობა იწვევს ნიშნის ჩამოყალიბებას. ორი არაალელური დომინანტი გენის მიერ განსაზღვრული ნიშნის განვითარებას დიმერია ეწოდება, სამის მიერ - ტრიმერია და ა. შ. პოლიმერიის მოვლენა ხორბალში პირველად შეისწავლა შვედმა გენეტიკოსმა ნ. ნილსონ-ელემ (1908). ნითელი და თეთრმარცვლიანი მცენარეების შეჯვარებით მიღებული F_1-ის პიბრიდები ნითელმარცვლიანი აღმოჩნდა. მეორე თაობაში კი მან მიიღო ნითელი და თეთრმარცვლიანი მცენარეები თანაფარდობით 15:1. ამავე დროს შეფერილი მარცვლები არაერთფეროვანი იყო და ვარიირებდა მუქი



სურ. 7.9. ბალნის შეფერილობის მემკვიდრეობა ძაღლებში (ეპისტაზი).



სურ. 7.10. მარცვლის შეფერილობის მემკვიდრეობა ხორბალში (ეპისტაზი).

წითლიდან ღია ვარდისფერამდე ე. წ. ხორბლისფერამდე. შეჯვარების ტიპი ძალიან ჰგავს მონოგენურ მემკვიდრეობას, მაგრამ რადგანაც მეორე თაობაში გენოტიპთა 16 კომბინაცია მიიღება, თავს იჩენს დიგენური მემკვიდრეობა, კერძოდ, დიმერიის მოვლენა. ერთსა და იმავე ნიშანზე მოქმედ გენებს ლათინური ანბანის ერთნაირი ასოებით აღნიშნავენ, ოღონდ განასხვავებენ ციფრობრივი ინდექსით. მარცვლის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები აღვნიშნოთ A_1 და A_2 სიმბოლოთი, ხოლო მათი რეცესიული ალელები, რომლებიც მარცვლის თეთრ შეფერილობას იწვევენ, შესაბამისად a_1 და a_2-ით. წითელმარცვლიანი მშობლის გენოტიპია $A_1A_1A_2A_2$, თეთრმარცვლიანისა კი — $a_1a_1a_2a_2$. F_1-ში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური $A_1a_1A_2a_2$ მცენარეები გენოტიპში დომინანტური გენების არსებობის გამო წითელ მარცვლებს იკეთებენ. მეორე თაობაში, მენდელის კანონებიდან გამომდინარე, მიიღება დათიშვა თანაფარდობით: $9A_1A_2$: $3A_1a_2$: $3a_1A_2$: $1a_1a_2$; ვინაიდან გენოტიპთა 15 ნაწილს დომინანტური ალელები აქვს, წითელ მარცვალს გაიკეთებენ. 1 ნაწილს მხოლოდ რეცესიული ალელები აქვს (დიჰომოზიგოტი — $a_1a_1a_2a_2$), მათ თეთრი მარცვლები ექნებათ. მეორე თაობაში მიღებული შეფერილი მარცვლები განსხვავდება ერთმანეთისაგან. რაც მეტია დომინანტური გენები გენოტიპში, მით უფრო მუქია მარცვალი. ვარდისფერმარცვლიანს ერთი დომინანტი გენი აქვს, მუქწითელას კი – ოთხი. გენოტიპური კლასები იძლევა შემდეგ რიგს: 1+4+6+4+1=16 ***(სურ. 7.10).*** ამრიგად, მარცვლის შეფერილობის ხარისხი დომინანტური ალელების რიცხვზეა დამოკიდებული. გენოტიპში დომინანტური ალელების დაგროვება აძლიერებს ეფექტს, ამიტომაც ურთიერთქმედების ამ ფორმას ***კუმულაციური პოლიმერია*** ეწოდება. იგი ხდება გენის არასრული დომინირების დროს.

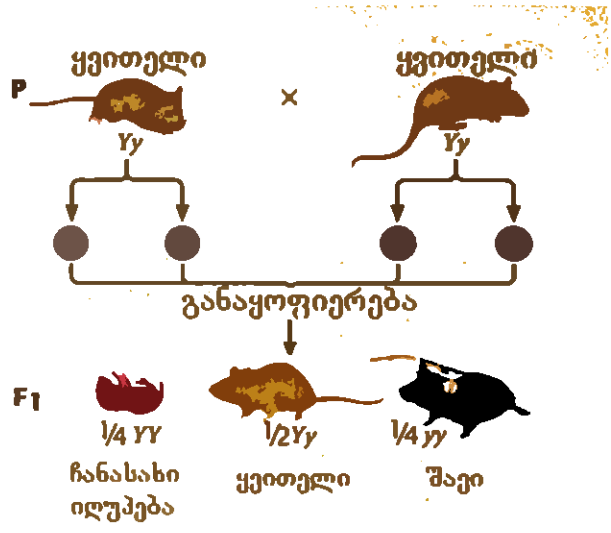
ანალოგიურად მემკვიდრეობს ადამიანის კანის შეფერილობაც. კანის ფერს პიგმენტ მელანინის არსებობა იწვევს. იგი დომინანტური ნიშანია. პიგმენტის სინთეზი 4 (ზოგიერთი მეცნიერის ვარაუდით 5 ან 6) პოლიმერული არაალელური გენით რეალიზდება. რეცესიულ ჰომოზიგოტურ ადამიანში მელანინი არ სინთეზდება. ისინი ალბინოსები არიან. გენოტიპში დომინანტური ალელების დიდი რაოდენობით კუმულაციისას ჭარბად სინთეზდება პიგმენტი და კანი მუქი შეფერილობისაა. გენოტიპში რეცესიული ალელების სიჭარბისას კი პიგმენტი ძლიერ მცირე რაოდენობით სინთეზდება. კავკასიოიდურ რასას და აფრიკის მკვიდრ მოსახლეობას (ნეგროიდული რასა) აქვთ მელანინის მასინთეზებელი დომინანტური ალელები. კავკასოიდებში (ევროპოიდებაში) დომინანტი გენების მინიმუმი გვხვდება. ნეგროიდ და კავკასოიდ მშობლებს მულატები უჩნდებათ, რომელთაც მშობლებთან შედარებით შუალედური შეფერილობის კანი აქვთ. მულატების შთამომავლობაში კი გენოტიპში დომინანტური ალელების რაოდენობის კვალობაზე კანის შეფერილობა ინტენსიურად ვარიირებს თეთრიდან ვიდრე მუქ შავამდე.

კუმულაციური პოლიგენები ასევე განსაზღვრავენ ადამიანის ნიჭის მემკვიდრეობას. პოპულაციაში გვხვდება უნიჭონი, საშუალო ნიჭის მქონენი და გენიოსები (ვუნდერკინდები). პოპულაციაში საშუალო ნიჭის ინდივიდები ჭარბობენ, ვიდრე კიდურა წევრები (უნიჭო და გენიოსები). არაკუმულაციური პოლიმერიის დროს საკმარისია გენოტიპში არსებობდეს დომინანტური გენების ერთი რომელიმე ალელი, რომ ნიშანი სრულად განვითარდეს. პოლიმერული გენები ძირითადად აკონტროლებენ რაოდენობრივი ნიშნების განვითარებას. პოლიმერული გენები განსაზღვრავენ ისეთ მნიშვნელოვან სამეურნეო ნიშნებს, როგორიცაა მცენარის სიმაღლე, ვეგეტაციური პერიოდის ხანგრძლივობა, ცილების შემცველობა თესლში, ვიტამინების შემცველობა ნაყოფში, ცხოველთა ზრდის ტემპი, მასა და ა.შ.

პლეიოტროპიზმი

დადგენილია, რომ ზოგიერთი გენი განსაზღვრავს რამდენიმე განსხვავებული ნიშნის განვითარებას. ასეთ მოვლენას პლეიოტროპიზმი, ხოლო მრავალი განსხვავებული ფენოტიპური ეფექტის მქონე გენს კი პლეიოტროპული გენი ეწოდება. აღწერილია ისეთი შემთხვევა, როდესაც გარეგანი (მორფოლოგიური) ნიშნის

განმსაზღვრელი გენი იმაედროულად მოქმედებს ცხოველმყოფელობაზე და ლეტალურ ეფექტს იწვევს. ყვითელი რასის თაგვების ურთიერთშეჯვარებით მიღებული შთამომაელობა მუდამ შედგებოდა ორი ნაწილი ყვითელი და ერთი ნაწილი შავი ინდივიდებისაგან. ხდებოდა დათიშვა თანაფარდობით 2:1. გამაანალიზებელი შეჯვარებისას (ყვითელი თაგვების ნაჯვარი შავთან) დათიშვა იყო თანაფარდობით 1:1. ყვითელი თაგვები ჰეტეროზიგოტულებია. ამ ნიშანს დომინანტი Y გენი განსაზღვრავს, შავს კი რეცესიული y ალელი. ადგილი აქვს მონოგენურ მემკვიდრეობას. მიღებული შედეგი მენდელისეული კლასიკური შეფარდებისაგან განსხვავდება, დათიშვა 3:1 ნაცვლად არის 2:1. ყვითელი ფერის თაგვები ჰეტეროზიგოტულებია. მათი შეჯვარებით მიიღება გენოტიპთა ოთხი კომბინაცია: 1YY: 2Yy: 1yy. გამოირკვა, რომ ყვითელი შეფერილობის ჰომოზიგოტური ინდივიდები ემბრიონული განვითარების ადრეულ ეტაპზე იღუპებიან. ამრიგად, Y გენი გავლენას ახდენს ორ ნიშანზე: განსაზღვრავს ყვითელ შეფერილობას (დომინანტური ეფექტი) და ცხოველმყოფელობას (რეცესიული ლეტალური ეფექტი. *(სურ. 7.11).*



სურ. 7.11. ბალნის შეფერილობის მემკვიდრეობა თაგვებში (პლეიოტროპია).

როდესაც პლეიოტროპულ გენს ლეტალური ეფექტი არ ახლავს (ე.ი. არ მოქმედებს ცხოველმყოფელობაზე), ამ შემთხვევაში დათიშვა არის თანაფარდობით 3:1 და მენდელის მონოგენური სქემიდან იმით განსხვავდება, რომ მშობლებს ერთის ნაცვლად ამ გენით განსაზღვრული ორი და მეტი საპირისპირო ნიშანი აქვთ. მცენარე წყალიკრეფიაში დომინანტი პლეიოტროპი გენი იწვევს ყვავილის ნითელ შეფერილობას, ფოთლის ზედაპირის ანტოციანით შეფერვას, თესლის მასიურობას, თესლის კანის გამჭვირვალობას და ენდოსპერმის მუქ შეფერილობას.

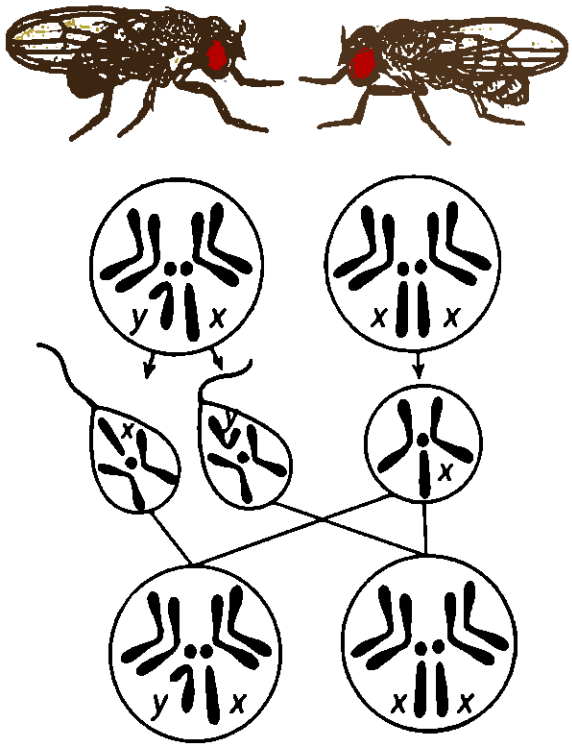
ადამიანში პლეიოტროპული მოქმედება ახასიათებს, მაგალითად, მარფანის სინდრომის გამომწვევ მუტანტურ დომინანტ გენს. იგი გაელენას ახდენს ჩონჩხის განვითარებაზე (ტანმაღლობა, გრძელი წვრილი კიდურები, დეფორმირებული გულ-მკერდი, სქოლიოზი, კიფოსქოლიოზი, არაქნოდაქტილია), იწვევს აგრეთვე თვალის ბროლის დეფექტურ განვითარებას და გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ანომალიას (აორტის გაგანიერება, გულის მანკი).

7.3 მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორია

ჯერ კიდევ XIX საუკუნის ბოლოს ჩამოყალიბდა მოსაზრება, რომ მემკვიდრეობა ბირთვთან, კერძოდ, ქრომოსომებთანაა დაკავშირებული. ამ შეხედულების განვითარებაში დიდი წვლილი მიუძღვის გერმანელ მეცნიერს აგუსტ ვაისმანს. მან იეარაუდა, რომ ქრომოსომებში მოთავსებულია განსაკუთრებული სტრუქტურები, რომლებიც გავლენას ახდენს ორგანიზმის ნაწილების განვითარებაზე. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, 1902-1903 წწ. უ. სეტონმა და ტ. ბოვერიმ ჩამოაყალიბეს მემკვიდრეობის ქრომოსომული პიპოთეზა.

მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის ძირითადი დებულებები XX ს. დასაწყისში მეცნიერულად დაამუშავეს და ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს ამერიკელმა გენეტიკოსმა ტომას ჰანტ მორგანმა[2] და მისმა თანამშრომლებმა. ამ თეორიის მიხედვით, მემკვიდრეობის მატერიალურ საფუძველს ქრომოსომები წარმოადგენს, რომლებშიც ხაზობრივადაა განლაგებული მემკვიდრეობის ელემენტარული დისკრეტული ერთეულები – გენები. მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორია თანამედროვე ბიოლოგიის საფუძველთა საფუძველია.

2 **ტომას ჰანტ მორგანი** (1866-1945) დაიბადა ლექსინგტონში (კენტუკი, აშშ). იგი თანატოლთა შორის დიდი ნიჭიერებით გამოირჩეოდა. 1886წ. დაამთავრა კენტუკის უნივერსიტეტი და ბაკალავრის ხარისხი მიენიჭა. 1888 წ. მორგანმა მუშაობა დაიწყო ბალტიმორის უნივერსიტეტში ექსპერიმენტული ზოოლოგიის კათედრაზე, ემბრიოლოგიის მიმართულებით. მას 1890 წ. მიენიჭა დოქტორის ხარისხი. მორგანი 1904-1928 წწ. კოლუმბიის უნივერსიტეტის (ნიუ-იორკი) პროფესორია. 1908 წლიდან იგი საყოველთაოდ ცნობილ გენეტიკურ გამოკვლევებს ატარებს დროზოფილაზე. ტ. მორგანმა და მისმა მოწაფეებმა კ. ბრიჯესმა, ჰ. მელერმა და ა. სტურტევანტმა დაადგინეს მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორიის ძირითადი კანონზომიერებანი. 1927-1931 წწ. მორგანი აირჩიეს ამერიკის მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტად. 1933 წ. მორგანს მემკვიდრეობაში ქრომოსომების როლის დადგენისათვის ნობელის პრემია მიენიჭა.



სურ. 7.12. სქესის ქრომოსომული განსაზღვრა დროზოფილაში.

სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი

XX ს. დასაწყისში ციტოგენეტიკური გამოკვლევებით დადგინდა ქრომოსომების როლი სქესის განსაზღვრაში, რის საფუძველზეც ჩამოყალიბდა სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული თეორია. სქესის გენეტიკის შემდგომმა გამოკვლევებმა უდიდესი როლი შეასრულა მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორიის დასაბუთებაში. ამ შედეგებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს სოფლის მეურნეობისა და მედიცინისათვის.

სქესი არის ორგანიზმის მორფოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ ნიშან-თვისებათა ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს მის მიერ ახალ თაობათა წარმოქმნას და გამეტების მეშვეობით მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემას. სქესს უდიდესი ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. იგი უზრუნველყოფს მემკვიდრული ინფორმაციის გაცვლას.

ცალსქესიან ცხოველებსა და ორსახლიან მცენარეებში სქესის ქრომოსომული განსაზღვრა განაყოფიერებისას ხდება. სქესის განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ქრომოსომული მექანიზმი. სქესის განვითარება ზიგოტის გენეტიკურ სტრუქტურაზეა დამოკიდებული. მდედრი და მამრი ინდივიდები დაახლოებით თანაბარი რაოდენობით ჩნდებიან (თანაფარდობა არის დაახლოებით 1:1). სქესი ისევე მემკვიდრეობს, როგორც სხვა მენდელისეული ნიშან-თვისება. გამოყოფენ სქესის განსაზღვრის 4 ძირითად ტიპს.

I ტიპი (XX—X). ამ ტიპისთვის დამახასიათებელია მამრობითი სქესის ჰეტეროგამეტულობა და მდედრობითი სქესის ჰომოგამეტურობა. ამ ტიპში არის გაერთიანებული ხილის ბუზი დროზოფილა. განვიხილოთ სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი დროზოფილას მაგალითზე. მდედრი და მამრი დროზოფილას დიპლოიდურ ქრომოსომულ კომპლექტს თუ შევადარებთ, ოთხი წყვილი ქრომოსომიდან სამი ჰომოლოგიური წყვილი ერთნაირი აქვთ, ხოლო ერთი წყვილის წევრები კი მორფოლოგიურად განსხვავებულია (ჰეტერომორფულია).

ქრომოსომებს, რომლებიც მდედრსა და მამრში ერთნაირია, ***აუტოსომები*** (A) ეწოდება. ქრომოსომათა განსხვავებულ წყვილს კი - ***სასქესო ქრომოსომები***. სასქესო ქრომოსომებს, რომლებიც როგორც მდედრობითი, ისე მამრობითი ინდივიდში გვხვდება, X-ით აღნიშნაენ. იმ სასქესო ქრომოსომას კი, რომელიც მხოლოდ ერთ-ერთი სქესის ინდივიდშია — Y-ით. მდედრობით დროზოფილას აქვს ორი ერთნაირი აკროცენტრული X-სასქესო ქრომოსომა, მამრს ერთი X, მეორე კი სუბმეტაცენტრული Y-სასქესო ქრომოსომა. თუ სომატურ უჯრედში დროზოფილას აქვს ქრომოსომული ნაკრები 6A+XX, იგი მდედრია, ხოლო 6A+XY -ის შემთხვევაში – მამრი. ბუნებრივია, მდედრში ერთი (3A+X) სახის გამეტები ყალიბდება *(სურ. 7.12).* იმ ***სქესს, რომლის ინდივიდები შეიცავენ ერთნაირ სასქესო ქრომოსომებს და იძლევიან ერთი ტიპის გამეტებს,*** ჰომოგამეტური ***ეწოდება.*** მამრ დროზოფილაში ყალიბდება თანაბარი რაოდენობით ორი სახის (3A+X) და (3A+Y) გამეტები. ***იმ სქესს, რომელსაც აქვს განსხვავებული სასქესო ქრომოსომები და ორი ტიპის გამეტები უყალიბდება,*** ჰეტეროგამეტურს ***უწოდებენ.***

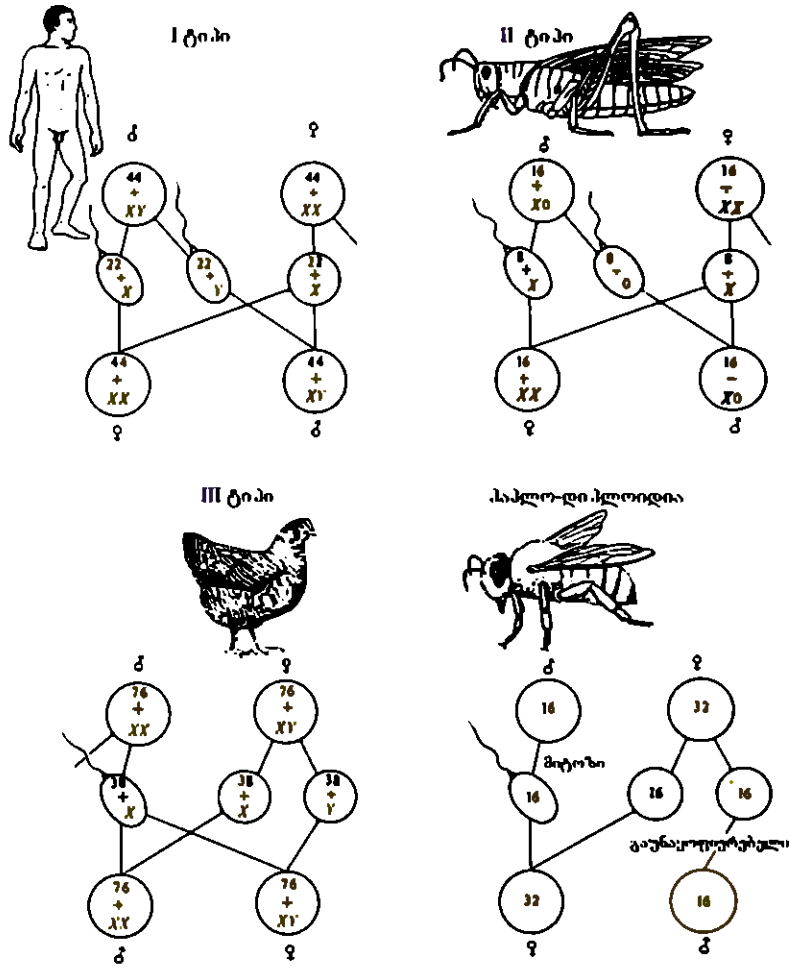
განაყოფიერება შემთხვევითი ხასიათისაა, თანაბარი ალბათობაა, რომ კვერცხუჯრედი განაყოფიერდეს ორივე სახის სპერმატოზოიდით. თუ კვერცხუჯრედს შეერწყა X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდი, მიიღება 6A+XX ქრომოსომების მქონე ზიგოტა. მისგან მდედრი ინდივიდი განვითარდება. Y ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით განაყოფიერებისას კი ზიგოტაში აღმოჩნდება 6A+XY ქრომოსომები, საიდანაც მამრი ვითარდება. ამრიგად, სქესის განსაზღვრა ხდება განაყოფიერების პროცესში და დამოკიდებულია ზიგოტის ქრომოსომულ კომპლექტზე. სქესთა თანაფარდობა არის 1:1.

ანალოგიურად ხდება სქესის განსაზღვრა ადამიანში: ქალი ჰომოგამეტურია, აქვს 44A+XX ქრომოსომა, მამაკაცი კი ჰეტეროგამეტურია — 44A+XY; ყველა კვერცხუჯრედი ერთნაირია და აქვს 22A+X ქრომოსომა, მამაკაცში ორი სახის სპერმატოზოიდი ყალიბდება — 22A+X და 22A+Y. თუ კვერცხუჯრედს გაანაყოფიერებს X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდი, ჩაისახება ქალი, ხოლო Y ქრომოსომიან სპერმატოზოიდთან შერწყმის

შემთხვევაში — ვაჟი.

სქესის განსაზღვრის I ტიპი ფართოდაა გავრცელებული. ცხოველთაგან იგი აღენიშნებათ უმაღლეს ძუძუმწოერებს, მრავალ თევზს, მწერებიდან ორფრთიანებს, მოლუსკებს, კანეკლიანებს, აღწერილია მრავალ ორსახლიან მცენარეში (მაგ., სასტენა, კანაფი, ელოდეა, მუაუნა და სხვ.).

II ტიპი (XX—X0). პირველი ტიპის მსგავსად, მდედრი ჰომოგამეტურია, აქვს XX სასქესო ქრომოსომები, მამრები კი ჰეტეროგამეტურნი არიან. მაგრამ პირველი ტიპისაგან განსხვავებით, მამრს ორის ნაცვლად ერთი სასქესო X ქრომოსომა აქვს. ამ ტიპის წარმომადგენლებს Y ქრომოსომა არ გააჩნიათ და აღნიშნავენ X0 (0 — სიმბოლოს არარსებული Y სასქესო ქრომოსომის აღსანიშნავად იყენებენ). მამრში ყალიბდება ორი ტიპის გამეტები: X ქრომოსომიანი და მხოლოდ აუტოსომებიანი (არ გააჩნიათ სასქესო ქრომოსომა). კვერცხუჯრედები კი ყველა ერთგვაროვანია, მათ X ქრომოსომა აქვთ. X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით კვერცხუჯრედების განაყოფიერებისას ზიგოტიდან მდედრი ვითარდება, ხოლო მხოლოდ აუტოსომების შემცველი სპერმატოზოიდით განაყოფიერებისას – მამრი. ბუნებრივია, მდედრებს ქრომოსომათა ლუნი რიცხვი აქვთ, მამრებს კი — კენტი. ამ ტიპს მიეკუთვნებიან ნემატოდები, კალიები, კუტკალიები, ტარაკანები, ნემსიყლაპიები, ზოგიერთი წყლის ბაღლინჯო, ხოჭოები, კიბოსნაირები, ძუძუმწოერებიდან – კენგურუ და სხვ.



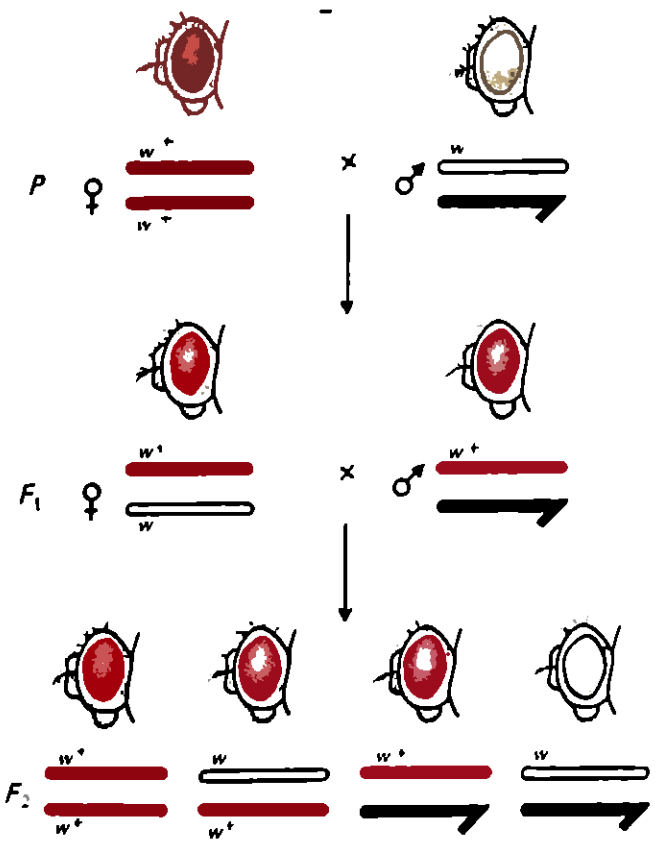
სურ. 7.13. სქესის ქრომოსომული განსაზღვრის ძირითადი ტიპები.

III ტიპი (X—XX). მდედრი ჰეტეროგამეტური, მამრი კი ჰომოგამეტური სქესისაა. მდედრს აქვს XY სასქესო ქრომოსომები. მასში თანაბარი რაოდენობით ორი სახის X ან Y ქრომოსომის მქონე კვერცხუჯრედები ყალიბდება. მამრს აქვს XX სასქესო ქრომოსომა და მათ ერთი სახის (X ქრომოსომიანი) სპერმატოზოიდები აქვთ. სქესის ამგვარი ტიპი აღწერილია ზოგიერთ ფრინველში (ქათამი, ინდაური და სხვ.), რეპტილიებში (გველგესლები), ზოგიერთ ამფიბიაში, თევზებსა და პეპლებში, გეხედება ორსახლიან ყვავილოვან მცენარეებშიც (მაგ., მარწყვში — Flagaria orientalis).

IV ტიპი (X0—XX). ამ ტიპში გაერთიანებული ინდივიდებისათვის ნიშანდობლიეია მდედრობითი სქესის ჰეტეროგამეტურობა, მაგრამ მესამე ტიპისაგან განსხვავებით მდედრს ორის ნაცვლად ერთი სასქესო X ქრომოსომა აქვს. არ აქვს Y სასქესო ქრომოსომა (გამოხატავენ X0-ით), მამრი ინდივიდი ჰომოგამეტურია, აქვს XX სასქესო ქრომოსომები. მეოთხე ტიპს მიეკუთვნება ზოგიერთი მწერი (ჩრჩილი, სწორფრთიანები და სხვ.).

ზემოთ განხილული ტიპებისაგან განსხვავებით, არსებობს სქესის განსაზღვრის კიდევ ერთი მექანიზმი ე. წ. **ჰაპლო-დიპლოიდია**, როდესაც სქესი განისაზღვრება არა ცალკეული ქრომოსომებით, არამედ ქრომოსომების კომპლექტით. კერძოდ, ფუტკარში განაყოფიერებული კვერცხუჯრედიდან მდედრი (დედა და მუშა) ინდივიდები ვითარდებიან. მათ აქვთ ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი (2n=32). გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედიდან (2n=16) პართენოგენეზის გზით მამრები იჩეკებიან. ანალოგიურად ხდება სქესის განსაზღვრა სხვა სიფრიფანაფრთიანებში (ჭიანჭველები, კრაზანები, მხედრები და სხვ.) *(სურ.7.13)*.

ლაბილური სისტემაა სქესის **ფენოტიპური ანუ მოდიფიკაციური განსაზღვრა.** ამ შემთხვევაში მდედრსა და მამრს ერთნაირი ქრომოსომული კომპლექტი აღენიშნებათ. სქესის განსაზღვრა მიმდინარეობს განაყოფიერების შემდეგ. ზიგოტიდან მდედრი ან მამრი ინდივიდების განვითარება გარემო ფაქტორების ზემოქ-



სურ. 7.14. სქესთან შეჭიდული ნიშნის მემკვიდრეობა დროზოფილაში (პირდაპირი შეჯვარება). მშობლები: მდედრი ნითელთვალიანი, მამრი თეთრთვალიანი.

მედებით ხდება. იგი გამოვლენილია ზოგიერთ ქვეწარმავალში (ნიანგი, ალიგატორი, კუ და სხვ). მაგალითად, ალიგატორში კვერცხების დაბალ ტემპერატურაზე (<31^{0}C) ინკუბაციისას მამრები, მაღალზე (>32^{0}C) კი – მდედრები ყალიბდება.

7.3.1 სქესთან შეჭიდულობა

მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა დროზოფილაში აღმოაჩინეს და შეისწავლეს ისეთი ნიშნები, რომელთა მემკვიდრეობაც განსხვავდებოდა მენდელის კლასიკური სქემისაგან. ნითელთვალა მდედრი დროზოფილას თეთრთვალა მამრთან შეჯვარებისას პირველ თაობაში ორივე სქესის ინდივიდი ნითელთვალა აღმოჩნდა. აქედან ნათელია, რომ თვალის ნითელი შეფერილობა დომინანტური ნიშანია, თეთრი კი - რეცესიული. F_2-ში დათიშვა იყო თანაფარდობით: 3 ნითელთვალა: 1 თეთრთვალა. უჩვეულო ის იყო, რომ მეორე თაობაში თეთრთვალა დროზოფილები მხოლოდ მამრები აღმოჩნდა.

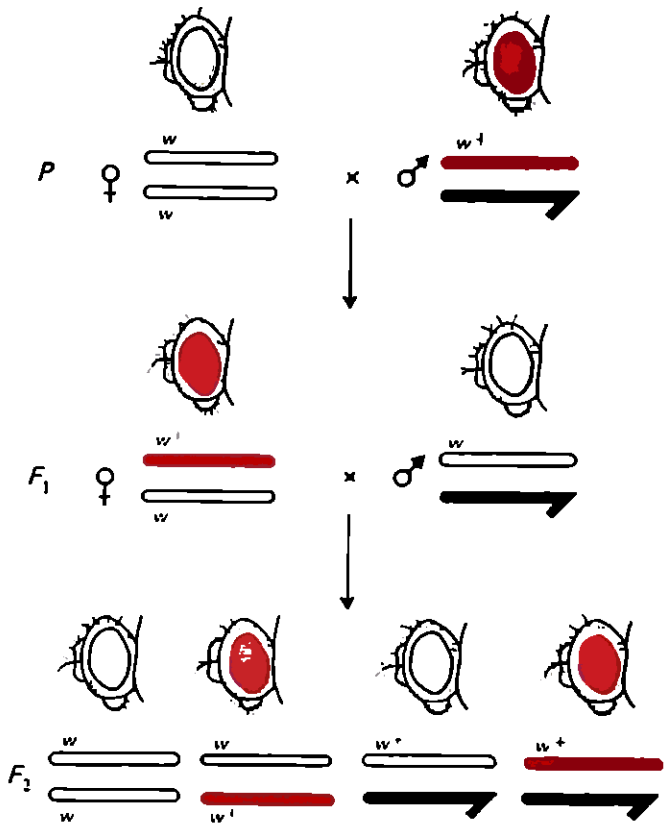
მორგანმა ჩაატარა ***რეციპროკული შეჯვარება.*** ორ შეჯვარებას, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება იმით, თუ რომელი სქესის მშობელს (მდედრს თუ მამრს) შეაქვს ზიგოტაში გენის დომინანტი ან რეცესიული ალელი, რეციპროკული ეწოდება. შეჯვარებიდან ერთ-ერთს პირობითად პირდაპირი ეწოდება, მეორეს კი - შებრუნებული (შექცევადი). შებრუნებული შეჯვარებისას მორგანმა თეთრთვალა მდედრი და ნითელთვალა მამრი დროზოფილა შეაჯვარა. პირველ თაობაში ყველა ჰიბრიდული მამრი აღმოჩნდა თეთრთვალა, მდედრი კი – ნითელთვალა. დათიშვა იყო თანაფარდობით 1:1. ამ სახის მემკვიდრეობას მორგანმა ,,კრის-კროსი" ანუ ჯვარედინი მემკვიდრეობა უწოდა. პირველ თაობაში ხდებოდა მენდელის პირველი კანონიდან გამომდინარე მოსალოდნელი შედეგიდან მკვეთრი გადახრა. მამრები იღებდნენ ნიშანს დედისაგან, ხოლო მდედრები - მამისაგან. მეორე თაობაში თანაბარი რაოდენობით მიიღებოდა ნითელთვალა მდედრები და მამრები, ასევე თეთრთვალა მდედრები და მამრები.

შეჯვარების ამ ვარიანტში არ ვლინდებოდა პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი, ხოლო მეორე თაობაში დათიშვა კლასიკური მონოჰიბრიდული დათიშვისაგან განსხვავდებოდა – 3:1-ის ნაცვლად იყო 1:1. რეციპროკული შეჯვარება განსხვავებულ შედეგს იძლევა. მიღებული შედეგები თითქოს ეწინააღმდეგება მენდელის მიერ დადგენილ კლასიკურ კანონზომიერებებს. მაგრამ ამ შედეგის ახსნა მხოლოდ მენდელიზმზე დაყრდნობით გახდა შესაძლებელი.

მორგანმა დროზოფილაში სასქესო ქრომოსომების მშობლებიდან შვილებში გადაცემის კანონზომიერებები შეუპირისპირა მიღებულ შედეგს და ივარაუდა, რომ თვალის ნითელი და თეთრი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის ალელები სასქესო X ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, Y ქრომოსომა არ შეიცავს თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელ გენს. ასეთი ახსნა სავსებით შეესაბამება მიღებულ შედეგს და მემკვიდრეობის ამ ფორმას სქესთან შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობა უწოდეს. თვალის თეთრი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის რეცესიულ ალელს აღნიშნავენ W-თი, ხოლო მის დომინანტურ ალელს, რომელიც თვალის ნითელ შეფერილობას იწვევს — W+ -ით. ნითელთვალიანი მდედრის ორივე X ქრომოსომაში ლოკალიზებულია გენის დომინანტური ალელი. იგი ჰომოზიგოტურია. თეთრთვალა მამრის X ქრომოსომაში ლოკალიზებულია გენის რეცესიული ალელი, ხოლო Y ქრომოსომაში იგი არაა. მამრი თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის მხოლოდ ერთ ალელს – ერთ დოზას შეიცავს. ისეთ მდგომარეობას, როდესაც წყვილი ალელიდან გენი მხოლოდ ერთი ალელითაა წარმოდგენილი, ჰემიზიგოტური ეწოდება; ორგანიზმს ამგვარი გენოტიპით კი — ***ჰემიზიგოტა.***

ჰომოზიგოტური ნითელთვალა მდედრი მშობლიური ფორმა X ქრომოსომას, მასში ლოკალიზებული დომინანტური გენითურთ, გადასცემს მამრ შთამომავლებს. ეს უკანასკნელი კი თეთრთვალა მამრი მშობლისაგან Y ქრომოსომას იღებს, რომელშიც აღნიშნული გენი არაა, ამიტომაც მამრები ნითელთვალა არიან. პირ-

ეელი თაობის მდედრები ერთ X ქრომოსომას, რომელშიც თეთრთვალიანობის განმსაზღვრელი გენია ლოკალიზებული, იძენენ მამრი მშობლისაგან, ხოლო მეორე X ქრომოსომას, რომელშიც თვალის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელია – მდედრისაგან. თვალის წითელი შეფერილობის დომინირების გამო მდედრებსაც წითელი ფერის თვალი ექნებათ. პირველი თაობის ჰეტეროზიგოტურ მდედრში ორი სახის გამეტა ყალიბდება. ასევე, მამრში, ჰეტეროგამეტურობის გამო, ორი სახის გამეტები წარმოიქმნება. გამეტების შემთხვევითი კომბინირების გამო მეორე თაობაში ინდივიდების 3 ნაწილს აქვს დომინანტური გენის შემცველი X ქრომოსომა. მათ წითელი თვალები ექნებათ. ინდივიდების (მამრების) ერთ ნაწილს კი რეცესიული გენის მქონე X ქრომოსომა და, ბუნებრივია, თეთრი თვალები ექნებათ. ამრიგად, ყველა მდედრი დროზოფილა წითელთვალა, მამრების ერთი ნაწილი (50%) – წითელთვალა, მეორე ნაწილი კი – თეთრთვალა იქნება *(სურ. 7.14)*.



სურ. 7.15. სქესთან შეჭიდული ნიშნის მემკვიდრეობა დროზოფილაში (შებრუნებული შეჯვარება). მშობლები: მდედრი თეთრთვალიანი, მამრი წითელთვალიანი.

რეციპროკული შეჯვარების შებრუნებულ ვარიანტში სრულიად სხვა შედეგი მიიღება. წითელთვალა მამრი მშობლისაგან პირველი თაობის მდედრი დროზოფილები (შთამომავლები) შეიძენენ X ქრომოსომას, რომელშიც ნითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი დომინანტი ალელია ლოკალიზებული, მეორე X ქრომოსომას კი რეცესიული გენითურთ ისინი თეთრთვალა მდედრი მშობლისაგან მიიღებენ. მდედრი შვილები ჰეტეროზიგოტებია, მათ წითელი თვალები აქვთ. მამრი შვილები თეთრთვალიანებია, ვინაიდან X ქრომოსომას, თეთრთვალიანობის განმსაზღვრელი გენით, მდედრი მშობლისაგან, მეორე სასქესო Y ქრომოსომას კი – მამრი მშობლისაგან იძენენ. მამრში რეცესიული W გენი ჰემიზიგოტურ მდგომარეობაშია და იგი ვლინდება. ამრიგად, პირველი თაობის ჰიბრიდული შთამომავლობის ყველა მდედრი წითელთვალაა, მამრი კი – თეთრთვალა. ხორციელდება ე. წ. „ჯვარედინი" (კრის-კროს) მემკვიდრეობა. დედის ნიშანი გადაეცემა მამრ, მამისა კი – მდედრ შვილებს. პირველი თაობის მდედრ დროზოფილაში ჰეტეროზიგოტულობის გამო ორი სახის W+ და W ალელების მქონე გამეტები ყალიბდება. მამრშიც, ჰეტეროგამეტულობის გამო, ასევე ორი სახის გამეტები წარმოიქმნება. სპერმატოზოიდების ნახევარი რეცესიულ W ალელის შემცველი X ქრომოსომის მქონეა, მეორე ნახევარი – Y ქრომოსომისა. გამეტები თანაბარი ალბათობით ერწყმიან ერთმანეთს და მეორე თაობაში გენოტიპთა ოთხი კატეგორია მიიღება *(სურ. 7.15)*. სქემიდან ჩანს, რომ მდედრები ორ თანაბარ ჯგუფად იყოფა: წითელ და თეთრთვალა დროზოფილებად. მამრებიც თანაბარი რაოდენობით, ორი ფენოტიპური ჯგუფითაა წარმოდგენილი: წითელ- და თეთრთვალა. ამრიგად, თითოეულ ჯგუფში დათიშვა არის თანაფარდობით 1:1.

მორგანის თეორიული ვარაუდი სავსებით შეესაბამება მიღებულ შედეგს. ეს ვარაუდი შემდგომ სხვა ექსპერიმენტითაც დადასტურდა. ამრიგად, მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს, რომ გენი ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, რითაც მყარი არგუმენტი იქნა მოპოვებული მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის დასადასტურებლად.

სქესთანაა შეჭიდული ყველა ის ნიშანი, რომლის განმსაზღვრელი გენი X სასქესო ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. გამოვლენილია Y ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენებიც. ისინი მამიდან მამრ შვილებს გადაეცემა. ამგვარ მემკვიდრეობას **ჰოლანდრულს** უწოდებენ.

ადამიანის Y ქრომოსომის მოკლე მხარში ლოკალიზებულია სპეციფიკური SRY (Y ქრომოსომის სქესის განმსაზღვრელი უბანი, იგივეა რაც TDF) გენი. იგი მამრობითი სქესის ჩამოყალიბებას განსაზღვრავს. SRY გენი შეიცავს 35000 ნ.წ. და ჰოლანდრულად მემკვიდრეობს. SRY გენის პროდუქტი იწვევს სქესის განმსაზღვრელი დანარჩენი გენების ექსპრესიას და ჩანასახის მამრობითი ტიპის მიმართულებით განვითარებას.

მეცნიერთა ვარაუდი, რომ X და Y ქრომოსომები მონაწილეობენ სქესის განსაზღვრაში, მორგანმა და მი-

სმა თანამშრომლებმა ზემოთ აღნერილი ცდებით ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს. მათ ჩამოაყალიბეს სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული თეორია.

სქესის გავლენა გენის ექსპრესიაზე (გამოვლენაზე). სქესი გავლენას ახდენს ზოგიერთი გენის ექსპრესიაზე. ნიშნის ჩამოყალიბება მხოლოდ ერთ სქესში ხდება, მეორეში კი ითრგუნება. მათ სქესით განსაზღვრულ ნიშნებს უწოდებენ. ეს გენები ლოკალიზებულია როგორც სასქესო, ისე სხვადასხვა აუტოსომურ ქრომოსომებში. მათ ორივე სქესის ნარმომადგენლები ერთნაირად გადასცემენ როგორც მდედრ, ისე მამრ შვილებს. სქესით განსაზღვრული ნიშნების გამკვიდრეობა მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებით მიმდინარეობს. სასქესო ჰორმონების გავლენით ამ გენების ექსპრესია მხოლოდ ერთ-ერთ სქესში ხდება. დადგენილია ორივე მშობლის ერთნაირი გავლენა: ძროხებში ფურხბოების მერძეულობა და ცხიმიანობა, ტყუპიანობა, ღორებში – ნაყოფიერება, დედლებში - კვერცხმდებლობა.

სქესითაა განსაზღვრული ყველა ის ნიშანი, რომელიც სქესობრივ დიმორფიზმს აპირობებს, კერძოდ, განსხვავება მდედრისა და მამრის სხეულის ზომას, ფორმასა და შეფერილობაში, ზოგიერთ მამრ ძუძუმწოვარში რქების არსებობა (მაგ., ირემი), მამალში ბიბილო, დეზები და სხვ. ადამიანში მეორეული სასქესო ნიშნებია სხეულის კონსტიტუციური თავისებურებები, ჩონჩხის (მენჯის ფორმა და სხვ.), მუსკულატურის, თმის საფარველის (ნვერი, ულვაში), ხმის აპარატის და სხვა ნიშნების განვითარება. ამ ნიშნების განმსაზღვრელი გენები ორივე სქესის ნარმომადგენლებს აქვთ, მაგრამ სასქესო ჰორმონების გავლენით მხოლოდ შესაბამისი გენის ექსპრესია ხდება. მაგ., ქალისათვის დამახასიათებელია ხმის მაღალი (სოპრანო, ალტი), მამაკაცისათვის კი დაბალი (ტენორი, ბარიტონი, ბანი) რეგისტრი. მამაკაცს (ზალალი რეგისტრის განმსაზღვრელი გენებიც აქვს, მაგრამ მამრობითი სასქესო ჰორმონის გავლენით მისი მოქმედება ითრგუნება. ხდება გენოტიპში არსებული მამაკაცისათვის დამახასიათებელი შესაბამისი გენის ექსპრესია. საპირისპირო მოვლენა შეინიშნება ქალებში.

სასქესო ჰორმონები ზოგჯერ გავლენას ახდენენ დომინირებაზე. ზემოთ განხილული მოვლენისაგან განსხვავებით (სადაც მხოლოდ ერთ-ერთ სქესში ხდებოდა ნიშნის გამოვლენა) ნიშანი ორივე სქესში ვლინდება, მაგრამ დომინირებაა შეცვლილი. ასეთ ნიშნებს სქესით კონტროლირებულ ნიშნებს უწოდებენ. მაგ., სიმელოტე დომინანტური ნიშანია კაცებში და რეცესიულია ქალებში. პეტეროზიგოტული მამაკაცი მელოტია, ქალი კი - თმიანი. სიქაჩლე მხოლოდ ჰომოზიგოტურ ქალებში იჩენს თავს. სქეს ზეა დამოკიდებული რქის განვითარება ზოგიერთი ჯიშის ცხვარში. პეტეროზიგოტური ყოჩი რქიანია, ნერბი კი - ურქო. მხოლოდ ჰომოზიგოტურ ნერბებს უვითარდებათ რქები. ამრიგად, რქიანობა დომინირებს ყოჩებში, ხოლო რეცესიულია ნერბებში.

7.3.2 გენთა შეჭიდულობა და კროსინგოვერი

გენთა შეჭიდულობა ერთსა და იმავე ქრომოსომაში განლაგებული განსხვავებული გენების ერთობლივი მემკვიდრეობის მოვლენაა. გენთა დამოუკიდებელი კომბინირება (მენდელის III კანონი) მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხორციელდება, როდესაც არაალელური გენები სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული. თუ დავუშვებთ, რომ ეს კანონი უნივერსალურია, მაშინ გენთა და ქრომოსომათა რაოდენობა ტოლი უნდა იყოს. ყველასათვის ცნობილია, რომ ინდივიდები გენთა საკმაოდ დიდ რაოდენობას შეიცავენ მაშინ, როდესაც სახეობებს ქრომოსომების გაცილებით შეზღუდული რაოდენობა აქვს. მაგალითად, ბოლო დროის მონაცემებით, აღმოჩნდა, რომ ადამიანის გენომს 25000-მდე სტრუქტურული გენი მოეპოვება, მაშინ როდესაც ქრომოსომათა რაოდენობა 46-ია. არის ერთგვარი შეუსაბამობა ქრომოსომათა რაოდენობასა და გენთა რაოდენობას შორის.

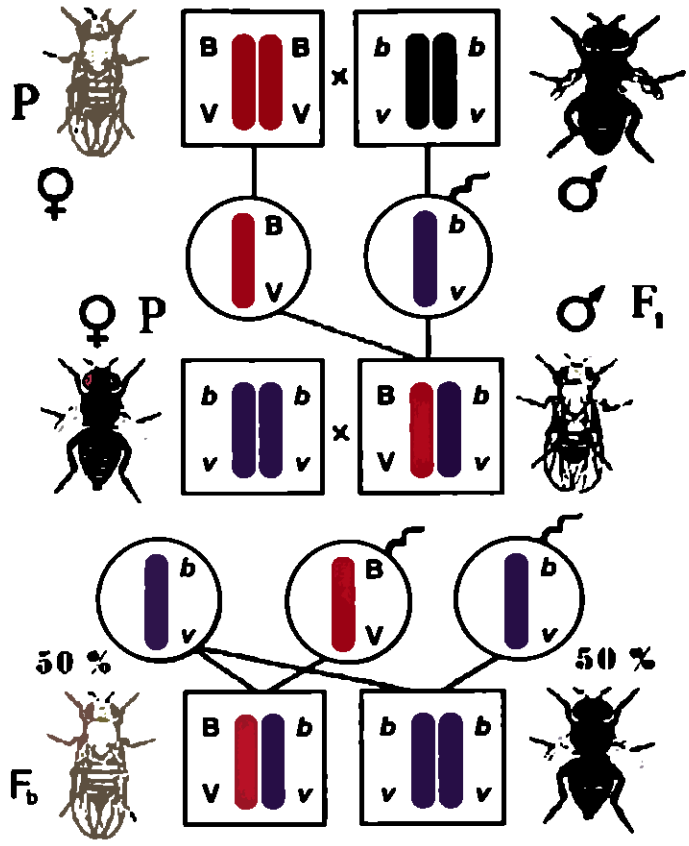
გენთა დამოუკიდებლად მემკვიდრეობის გარდა არსებობს გენების ერთად, შეჭიდულად მემკვიდრეობის შესაძლებლობაც. აღნიშნული მოვლენა ნათელი გახდა თ მორგანისა და მისი თანამშრომლების კლასიკური გამოკვლევების შემდეგ. მათ 1911-1914 წწ. დაადგინეს მრავალი გენის მიმართ ერთად – შეჭიდულად მემკვიდრეობის მოვლენა.

გენთა შეჭიდულობა. დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს, როდესაც მშობლები ჰომოზიგოტებია: AABB და aabb და გენები არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული, მათი შეჯვარებით AaBb დიჰეტეროზიგოტული ინდივიდები მიიღება. პირველი თაობის ჰიბრიდში ოთხი სახის: AB, Ab, aB, ab თანაბარი რაოდენობის გამეტები ნარმოიქმნება. გამაანალიზებელი შეჯვარების შემთხვევაში ანუ რეცესიულ დიჰომოზიგოტურ aabb შეჯვარებისას თანაბარი რაოდენობით მიიღება ინდივიდთა ოთხი ფენოტიპური ჯგუფი (AaBb, Aabb, aaBb, aabb) თითოეული 25%-ის რაოდენობით. ამრიგად, დათიშვა ხდება თანაფარდობით 1:1:1:1; მშობლების მსგავსი ფორმები (AB და ab) და ახალი კომბინაციები (Ab და aB) ერთნაირი სიხშირით ნარმოიქმნება, რაც მენდელის მესამე კანონის მოქმედების შედეგია.

ახლა განვიხილოთ მორგანის მიერ ჩატარებული ერთ-ერთი თავდაპირველი კლასიკური ცდა, რომლითაც გენთა შეჭიდული მემკვიდრეობა იქნა დასაბუთებული. მორგანმა დროზოფილაზე ჩაატარა დიჰიბრიდული შეჯვარება. ერთ-ერთ მშობელს ჰქონდა გრძელი ფრთები და რუხი შეფერილობის სხეული, მეორეს კი - ჩანასახოვანი ფრთები და შავი სხეული. პირველ თაობაში ყველა ბუზს გრძელი ფრთები და რუხი სხეული ჰქონდა. ამრიგად, გრძელფრთიანობასა და რუხსხეულიანობას გენების დომინანტური ალელები განსაზღვრავენ, უცვლელი დარჩა მენდელის პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი. მორგანმა ჩაატარა გამაანალიზებელი შეჯვარება. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური მამრები შეუჯვარა შავ, ჩანასახოვანფრთიან მდედრებს და მიიღო მშობლების მსგავსი შთამომავლობა თანაბარი რაოდენობით: 50% რუხი, გრძელფრთიანი იყო, 50% კი შავი, ჩანასახოვანფრთიანი. ხდება დათიშვა თანაფარდობით 1:1. მართალია, არ შეცვლილა მენდელის მეორე - დათიშვის კანონი, მაგრამ შედეგი იყო განსხვავებული: ახალი კომბინაციები (რუხი, ჩანასახოვანფრთიანი და შავი, გრძელფრთიანი) მორგანმა ვერ მიიღო. შთამომავლობას ფრთის ფორმისა და სხეულის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები ერთად – შეჭიდულად გადაეცემოდა.

მორგანმა ივარაუდა, რომ გენთა ერთად გადაცემა ანუ შეჭიდულობა გამოწვეული იყო იმით, რომ სხეულის შეფერილობისა და ფრთის ფორმის განმსაზღვრელი გენები ერთსა და იმავე ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. მან მიღებული შედეგი ქრომოსომული თეორიით ახსნა და მოგვცა ამ მოვლენის შემდეგი გენეტიკური პოსტულირება *(სურ 7.16)*.

დროზოფილაში სხეულის შავი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელი აღინიშნება b-თი (ინგლ. black), ხოლო მისი დომინანტური, რუხი შეფერილობის ალელი — B-თი. ჩანასახოვანი ფრთის რეცესიული გენი v-თი (ინგლ. vestigial), ხოლო მისი დომინანტური ალელი, გრძელი ფრთების განმსაზღვრელი V-თი. ორი წყვილი შეჭიდული ნიშნით განსხვავებული რუხი გრძელფრთიანი (BBVV) და შავი, ჩანასახოვანფრთიანი (bbvv) ინდივიდის შეჯვარებით პირველ თაობაში მიიღება BbVv გენოტიპის რუხი, გრძელფრთიანი ბუზები. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური მამრი შეუჯვარეს შავ ჩანასახოვანფრთიან (bbvv) მდედრს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გამაანალიზებელი შეჯვარების შედეგად მიიღეს დათიშვა თანაფარდობით 1:1. ამგვარი დათიშვა მიუთითებს, რომ დიჰეტეროზიგოტურ ინდივიდში ოთხის ნაცვლად მხოლოდ ორი ტიპის BV და bv თანაბარი რაოდენობის გამეტები წარმოიქმნება, ვინაიდან ფრთების ფორმისა და სხეულის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები ერთსა და იმავე ქრომოსომაშია ლოკალიზებული.



სურ. 7.16. შეჭიდული ნიშნების მეკვიდრეობა დროზოფილაში (სრული შეჭიდულობა)

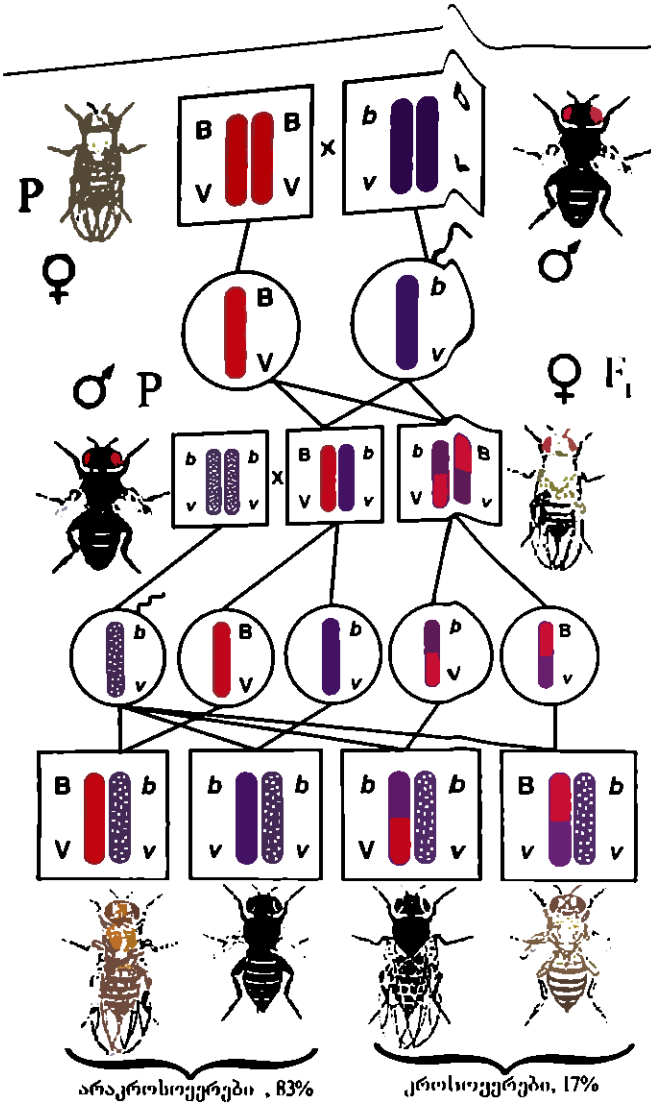
გენთა ერთად მემკვიდრეობას, რომელიც მათ დამოუკიდებელ კომბინირებას ზღუდავს, მორგანმა გენთა შეჭიდულება ანუ შეჭიდული მემკვიდრეობა უწოდა. ამჟამად ამ მოვლენას **მორგანის კანონი** ეწოდება.

გენთა შეჭიდულობის კანონის თანახმად, ერთსა და იმავე ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები მემკვიდრეობენ შეჭიდულად. თითოეულ ქრომოსომაში მოთავსებული გენები ქმნიან შეჭიდულ ჯგუფებს, რომლებიც თაობიდან თაობას შეჭიდულად გადაეცემა, ხოლო სხვადასხვა ჯგუფის გენებს თავისუფალი კომბინირების უნარი აქვთ. ყოველ სახეობაში შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია. მაგალითად, ბარდას აქვს 7, სიმინდს — 10, პომიდორს – 12, (სასქესო ქრომოსომების მქონე ორგანიზმებს შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა ერთით მეტი აქვთ, კერძოდ, დროზოფილაში შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა 5-ის ტოლია; სამ აუტოსომურ ქრომოსომაში არსებულ ჯგუფს დამატებული ორი: X და Y სასქესო ქრომოსომაში არსებული).

კროსინგოვერი. მორგანმა ჩაატარა რეციპროკული შეჯვარება. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური (BbVv) რუხი გრძელფრთიანი მდედრი შეუჯვარა რეცესიულ დიჰომოზიგოტურ (bbvv) მამრს. ცდის ამ ვარიანტში მან ინდივიდების ყველა შესაძლო (ოთხივე) კომბინაცია მიიღო: როგორც მშობლების მსგავსი (რუხი, გრძელფრთიანი და შავი, ჩანასახოვანფრთიანი), ისე ახალი (რუხი, ჩანასახოვანფრთიანი და შავი, გრძელფრთიანი) კომბინაციები. ამასთან, ოთხივე ჯგუფის ინდივიდები თანაბარი რაოდენობით კი არ წარმოიქმნებოდა, როგორც ეს მოსალოდნელი იყო მენდელისეული კანონზომიერებებით, არამედ დათიშეის პროცენტული თანაფარდობა იყო – 41,5:41,5:8,5:8,5. მშობლისმიერი კომბინაციები მიიღებოდა დიდი რაოდენობით – 83% (41,5+41,5), ხოლო ჰიბრიდული კომბინაციები მცირე რაოდენობით – 17% (8,5+8,5). ამ შემთხვევაში ხდება შეჭიდულ გენებს შორის კავშირის გაწყვეტა, რის გამოც შეჭიდულობა არასრული ხასიათისაა.

მორგანმა წამოაყენა პიპოთეზა, რომლის მიხედვითაც მეიოზში ჰომოლოგიური ქრომოსომების კონუგაციისას შესაძლებელია იმ იდენტური უბნების გაცვლა, რომელშიც ფრთის ფორმისა და სხეულის ფერის განმსაზღვრელი გენებია მოთავსებული. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის იდენტური უბნების (მასში ლოკალიზებული გენებითურთ) გაცვლას ***გადაჯვარედინება*** ანუ კროსინგოვერი (ინგლ., crossing-over) ეწოდება. ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე მორგანმა მოგვცა კროსინგოვერის გენეტიკური პოსტულირება *(სურ. 7.17)*.

დიჰეტეროზიგოტ (BbVv) მდედრებში არათანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნება ოთხი ტიპის გამეტები:

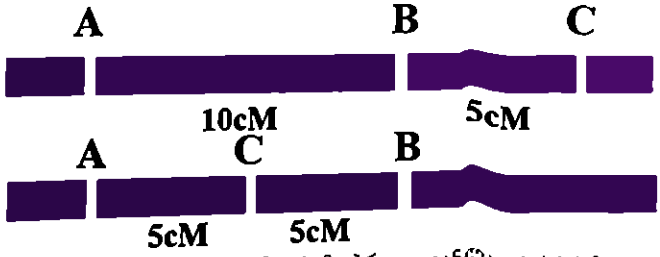


სურ. 7.17. შეჭიდული ნიშნების მეკვიდრეობა დროზოფილაში (არასრული შეჭიდულობა)

კროსინგოვერის მოვლენით აიხსნება ის ფაქტი, რომ bV და bV მცირე, ხოლო BV და bv გენების მქონე გამეტები გაცილებით მეტი რაოდენობით ნარმოიქმნება; მამრში კი მხოლოდ ერთი ტიპის (bv გენების მქონე) გამეტები ყალიბდება, რადგან მამრ დროზოფილაში კროსინგოვერი არ ხდება. განაყოფიერების შედეგად ნარმოქმნილი ზიგოტებიდან ოთხი ფენოტიპური ჯგუფი ვითარდება, რომელთაგან 83% მშობლისმიერი, 17% კი პიბრიდული კომბინაციებია. ვინაიდან ეს უკანასკნელი ჯგუფი კროსინგოვერის შედეგადაა ნარმოქმნილი, მორგანმა მას ***კროსოვერები*** უწოდა. ამრიგად, გენთა შორის შეჭიდულობის გაწყვეტა ზოგიერთ ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის მიმდინარე კროსინგოვერის შედეგია. მშობლების მსგავს კომბინაციებს ***არაკროსოვერებს*** უწოდებენ.

ორგანიზმებში სრული შეჭიდულობა იშვიათად გვხვდება. გამოირკვა, რომ სქესი ზოგიერთი სახეობის ინდივიდში გარკვეულად მოქმედებს კროსინგოვერზე, როგორც ეს გვქონდა მამრი დროზოფილას შემთხვევაში. აქ კროსინგოვერი საერთოდ არ ხდება; ამიტომ ამბობენ, რომ შეჭიდულობა სრულია. მდედრ დროზოფილაში კროსინგოვერი ხდება, რის გამოც შეჭიდულობა მასში არასრულია. ორი ან მეტი გენი შეჭიდულია, თუ შთამომაელობაში გენთა ახალი კომბინაციები (რეკომბინანტები) ნაკლები რაოდენობით გვხვდება მშობლების მსგავს ფენოტიპებთან შედარებით. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის რეგულარულად მიმდინარეობს ალელურ გენთა შორის უბნების გაცვლა. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში მოთავსებული გენები ერთი მეორეს ერევა. კროსინგოვერი და გენთა შეჭიდულობა ზოგადგენეტიკური მოვლენაა. იგი დამახასიათებელია მიკროორგანიზმებისათვის, სოკოებისთვის; ფართოდ არის გავრცელებული მცენარეებსა და ცხოველებში, მათ შორის, ადამიანშიც. კროსინგოვერი უზრუნველყოფს გენთა რეკომბინაციას და მნიშვნელოვნად ზრდის კომბინაციური ცვალებადობის როლს ეოლუციის პროცესში.

ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივად განლაგება. ერთსა და იმავე შეჭიდულ გენებს შორის კროსინგოვერი ერთნაირი სიხშირით ხდება, ხოლო სხვადასხვა შეჭიდულ გენებს შორის იგი განსხვავებულია. მისი სიხშირე გენთა შორის შეფარდებით მანძილს გამოხატავს. ქრომოსომაში ახლომდებარე გენებს შორის უბნების გაცვლა გაძნელებულია, ხოლო შორს მდებარეთა შორის დიდი სიხშირით მიმდინარეობს. ამრიგად, კროსინგოვერის პროცენტი გენთა შეჭიდულობის დონეს გამოხატავს. რამდენადაც მცირეა კროსინგოვერის პროცენტი, მით უფრო ძლიერადაა შეჭიდული გენები. გენთა შორის შეჭიდულობის ძალა მათ შორის მანძილის უკუპროპორციულია. გენთაშორის მანძილის ერთეულად მორგანის პატივსაცემად ***სანტიმორგანიდია*** (cM) მიღებული. კროსინგოვერის 1% უდრის 1 cM-ს.



სურ. 7.18 ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივად განლაგების სქემა.

მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა გადაჭრეს ქრომოსომაში გენების სივრცობრივად განლაგების სა-

კითხიც. კერძოდ, ა. სტერტევანტმა დაადგინა მემკვიდრეობის ადიტიურობის - ***ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივად განლაგების - კანონი.*** დავუშვათ, რომ A,B და C გენები მიეკუთვნება შეჭიდულ გენთა ერთ ჯგუფს. გამოირკვა, რომ მანძილი A და C გენებს შორის უახლოედება AB+BC ან AB-BC, მაშასადამე, ხდება გენთა შორის მანძილის შეკრება ან გამოკლება, რაც ქრომოსომაში გენთა სწორხაზოვნად განლაგების შედეგია. დავუშვათ, რომ მანძილი A და B გენებს შორის 10 cM-ია, ხოლო B და C გენებს შორის - 5 cM. მაშინ B და C გენებს შორის მანძილი 15 ან 5 cM იქნება. პირველ შემთხვევაში გენები განლაგებული იქნება A, B, C, მეორე შემთხვევაში კი A, C, B თანმიმდევრობით *(სურ. 7.18)*. იმაზე დაყრდნობით, რომ კროსინგოვერის სიხშირის მიხედვით შესაძლებელია ვიმსჯელოთ გენთა შორის მანძილზე, ადიტიურობის კანონის საფუძველზე დადგენილია გენთა თანმიმდევრობა ქრომოსომაში. ქრომოსომაში შეჭიდულ გენთა შეფარდებითი განლაგების სქემას ქრომოსომების ***გენეტიკურ რუკას*** უწოდებენ. იგი ასახავს ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივი განლაგების კანონზომიერებას. გენის ლოკალიზაციის ადგილს რუკაზე ***ლოკუსი*** ეწოდება. ლოკუსი შემოკლებული სახელწოდებით აღინიშნება რუკაზე (რუკები შედგენილია გენეტიკურად კარგად შესწავლილ ობიექტებში, როგორიცაა: დროზოფილა, სიმინდი, პომიდორი, ბარდა, თაგვი, ნეიროსპორა, საფუარი, ნანლავის ჩხირი და სხვ.) ადამიანში გამოელენილია ყველა შეჭიდულ გენთა ჯგუფი --- 22 აუტოსომური და 2 სქესთან შეჭიდული (X და Y ქრომოსომაში არსებული), რის საფუძველზეც აგებულია გენეტიკური რუკა.

მემკვიდრეობითობის ქრომოსომული თეორიის ძირითადი დებულებები: გენეტიკის განვითარებაში განუზომლად დიდია მორგანისა და მისი თანამშრომლების დამსახურება. მათ მიერ დადგენილ იქნა სქესთან შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობისა და გენთა შეჭიდულად მემკვიდრეობის კანონები. მორგანის მიერ დადგენილი კანონზომიერებები დამტკიცდა და გაღრმავდა მრავალ ობიექტზე ჩატარებული გამოკვლევებით, რომლებიც განაზოგადეს და მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორია ეწოდება. მისი პრინციპებია:

1. გენი მოთავსებულია ქრომოსომის გარკვეულ უბანში-ლოკუსში. გენები ქრომოსომაში ხაზობრივადაა განლაგებული.

2. ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები ქმნის შეჭიდულ გენთა ჯგუფს, რომლებიც შთამომავლობას ერთობლივად გადაეცემა. ნიშნები, რომლებსაც შეჭიდული გენები განსაზღვრავს, ასევე ერთობლივად (შეჭიდულად) მემკვიდრეობს.

3. შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია.

4. ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის შესაძლოა უბნების გაცვლა – კროსინგოვერი, რის შედეგადაც შეჭიდულ გენებს შორის რეკომბინაცია ხდება.

5. ქრომოსომაში გენთა შორის მანძილი მათ შორის კროსინგოვერის პროცენტის პროპორციულია.

ციტოპლაზმური მემკვიდრეობა

მემკვიდრეობაში ნამყვან როლს ბირთვი, კერძოდ, მასში მოთავსებული ქრომოსომები ასრულებს, რაც ეფუძნება მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორია. გენეტიკის განვითარების ადრეულ პერიოდში დაგროვდა ფაქტები, რომლებიც მიუთითებდა, რომ მემკვიდრეობაში მონაწილეობს, ასევე, ციტოპლაზმის ზოგიერთი სტრუქტურაც. მემკვიდრეობის ამ ფორმას **ციტოპლაზმური მემკვიდრეობითობა** ეწოდება.

დნმ-ს შეიცავენ პლასტიდები და მიტოქონდრიები, რომელთაც აუტორეპროდუქციის უნარი აქვს. ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს უჯრედის მეტაბოლიზმში, აქვთ მემკვიდრული ინფორმაციის შთამომავლობით გადაცემის უნარი. ციტოპლაზმის ეს სტრუქტურები აპირობებენ ციტოპლაზმურ მემკვიდრეობას. მემკვიდრეობის ამ ფორმის გამოვლენას აკონტროლებს ბირთვში არსებული გენეტიკური აპარატი.

ციტოპლაზმური, კერძოდ, პლასტიდური მემკვიდრეობა პირველად აღმოაჩინეს და შეისწავლეს ყვავილოვან მცენარეებში. კერძოდ, კ. კორენსმა (1908) გულისაბაში, ხოლო ე. ბაიერმა (1909) — დევისპირაში. მათ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გაანალიზეს ჭრელფოთლიანობის მემკვიდრულობა და დაადგინეს, რომ ნიშანი დედის მეშვეობით გადაეცემოდა შთამომავლობას. ჭრელფოთლიანი მცენარის ყვავილების მწვანეფოთლიანი მცენარის მტვრით განაყოფიერებისას მიიღებოდა ჭრელფოთლიანი პიბრიდები, რეციპროკული შეჯვარებისას კი - არა. ქლოროპლასტში 40 მკმ ზომის დნმ-ის რგოლური მოლეკულაა მოთავსებული. რგოლურ დნმ-ში ლოკალიზებული ციტოპლაზმური გენებიდან ზოგიერთი აკონტროლებს ქლოროფილის სინთეზს. ასეთი ციტოგენის მუტაციის შედეგად მათში ქლოროფილის სინთეზი არ ხდება. ჭრელფოთლიანი მცენარის უჯრედებში არის როგორც ნორმალური (ქლოროფილიანი), ისე ანომალური (უქლოროფილო) ქლოროპლასტები. ჭრელფოთლიანი მცენარის კვერცხუჯრედი დიდი რაოდენობით შეიცავს ციტოპლაზმას, რომელშიც შეიძლება იყოს მხოლოდ ნორმალური ან ანომალური, ან ორივე სახის ქლოროპლასტები. სპერმიები ციტოპლაზმას თითქმის არ შეიცავს, ბუნებრივია, არ შეიცავს ქლოროპლასტებსაც. ამდენად, ჭრელფოთლიანი მამრობითი გამეტების გაელენა ჭრელფოთლიანობაზე უმნიშვნელოა. იშვიათად შეინიშნება პლასტიდების გადაცემა სამტრე მილითა და სპერმიებით (მაგ., გერანი, წყალნაწყენი და სხვ.).

მიტოქონდრიული მემკვიდრეობა კარგადაა შესწავლილი სოკოებში (საფუარი, ნეიროსპორა და სხვ.). მიტოქონდრიებს აქვთ 20-30 მკმ ზომის რგოლური დნმ-ს მოლეკულები. მათში ლოკალიზებული ციტოგენები აკონტროლებენ სუნთქვით პროცესს და ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადობას. ადამიანის მიტოქონდრია შეიცავს 37 გენს. სოკოებისაგან განსხვავებით ძუძუმწოვრებსა და ადამიანის სპერმატოზოიდში არსებული მიტოქონდრიები ზიგოტაში ვერ ხვდება (ან ელიმინირდება). ჩანასახს ძირითადად დედისგან მიღებული მიტოქონდრიები აქვს. ლებერის (მხედველობის ნერვის ატროფიით გამოწვეული სიბრმავე) და კერნს-საირის სინდრომი

(ახასიათებს პროგრესირებადი კუნთური სისუსტე, კარდიომიოპათია, დიაბეტი) მიტოქონდრიაში ლოკალიზებული ციტოგენების მუტაციის შედეგად ვითარდება.

ყვავილოვან მცენარეებში გვხვდება მამრობითი სტერილობა. იგი აღწერილია მრავალ კულტურულ (სიმინდი, მზესუმზირა, სელი, ხახვი და სხვ.) მცენარეში. სტერილობა გამოწვეულია მტვრის მარცვლის უქონლობით ან მათი განაყოფიერების უუნარობით. გამოვლენილია მამრობითი სტერილობის ისეთი ფორმა, რომელიც ციტოპლაზმითაა დეტერმინირებული და დედის მეშვეობით გადაეცემა შთამომავლობას. სიმინდში მას ციტოპლაზმაში მყოფი პლაზმიდას ტიპის დნმ-ის მოლეკულები იწვევს.

7.4 ცვალებადობის კანონზომიერებები

ცვალებადობა ცოცხალი სისტემის ზოგადი თვისებაა. იგი თან ახლავს გამრავლებას, რის შემდეგაც ორგანიზმები განსხვავებული ფორმებით - ვარიანტებით არსებობენ. იგი მემკვიდრეობითობის საპირისპირო მოვლენაა და ორგანიზმთა ნაირგვარობაში ელინდება. ცვალებადობას ნაირგვარი მიზეზი უდევს საფუძვლად. ფენოტიპის ცვლილებას იწვევს განსხვავებული გენოტიპების ნარმოქმნა, ასევე ერთნაირი გენოტიპის მქონე ინდივიდების განსხვავებულ გარემოში განვითარება. გამოყოფენ ცვალებადობის ორ ძირითად ფორმას: ***არამემკვიდრულს (ფენოტიპურს)*** და ***მემკვიდრულს (გენოტიპურს)***. გენეტიკური მასალის ცვლილებით გამოწვეულ ცვალებადობას მემკვიდრულს უწოდებენ, ხოლო გენოტიპის შეუცვლელად გარემო პირობებზე ორგანიზმის რეაგირებით გამოწვეულ ფენოტიპურ ცვლილებებს – არამემკვიდრულს.

7.4.1 არამემკვიდრული ცვალებადობა

არამემკვიდრული ცვალებადობის დროს ინდივიდის გენოტიპი უცვლელია, იცვლება მხოლოდ ფენოტიპი. ასეთი სახის ცვლილება შთამომავლობას არ გადაეცემა. ორგანიზმის ინდივიდური განვითარების პროცესში ვხვდებით მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ, ბიოქიმიურ და ორგანიზმის სხვა თავისებურებათა კანონზომიერ ცვლილებებს. ამგვარი ცვლილებების დრო და თანმიმდევრობა ონტოგენეზში გენოტიპით მკაცრადაა განსაზღვრული. ცვალებადობის ამ ფორმას ***ასაკობრივს*** ანუ ***ონტოგენეზურს*** უწოდებენ. ცვალებადობის ეს ფორმა თვალნათლივ ვლინდება მეტამორფოზული განვითარების ცხოველთა (ზოგიერთი მწერი, უკუდო ამფიბიები და სხვ.) სასიცოცხლო ციკლში. ასე მაგალითად, ბაყაყის ქვირითიდან იჩეკება თავკომბალა, რომელიც თანდათანობით ზრდასრულ ფორმად ყალიბდება. ***(სურ. 3.12)***. ფენოტიპის ცვლილების მიუხედავად, ბაყაყის გენოტიპი უცვლელია. ადამიანში პერმანენტულად მიმდინარეობს ფიზიკური და გონებრივი განვითარება. ასაკობრივი ცვლილებების მიუხედავად, ინდივიდს ყოველთვის ერთნაირი გენოტიპი გააჩნია. ამდენად, ონტოგენეზური ცვალებადობა არის ინდივიდუალური განვითარების პროცესში გენოტიპით განსაზღვრული ნიშნების რეალიზება. ამ კრიტერიუმით იგი არამემკვიდრული ცვალებადობაა. მაგრამ არსებობს მონაცემები, რომლებიც მიუთითებს, რომ ონტოგენეზში ზოგჯერ ხდება გენეტიკური მასალის ცვლილება, რაც მას აახლოებს მემკვიდრულ ცვალებადობასთან. კერძოდ, ზოგიერთი ორგანიზმის სომატურ უჯრედებში გენეტიკური მასალის მნიშვნელოვანი ნანილი (20-80%) იკარგება. ზოგჯერ, ცვალებადობის ამ ფორმას ცალკე გამოყოფენ, ვინაიდან იგი ცვალებადობის ზემოთ დასახელებულ ორივე ძირითად ფორმას მოიცავს.

სავსებით ერთნაირი გენოტიპის მქონე ინდივიდები განსხვავებულ გარემო პირობებში განვითარებისას, ზოგიერთ შემთხვევაში ფენოტიპით განსხვაედებიან. ერთნაირი გენოტიპის ინდივიდებზე განსხვავებული გარემოს მოქმედებით გამოწვეულ ნაირგვარობას ***მოდიფიკაციურ ცვალებადობას*** უწოდებენ. იგი შემდეგი ნიშნებით ხასიათდება:1. გარემო ფაქტორის მოქმედებით ადეკვატური ცვლილების ნარმოქმნა; 2. ცვლილება მასიურია, ახალ გარემოში პოპულაციის დიდ ნანილს აქვს შეცვლილი ფენოტიპი; 3. ცვლილება შექცევადია, სანყის პირობებში დაბრუნებისას ინდივიდებს უბრუნდებათ თავდაპირველი ფენოტიპი.

ყველა ნიშანი და თვისება მემკვიდრულად დეტერმინებულია. მემკვიდრეობით გადაეცემა არა ნიშნები და თვისებები, არამედ გენები (მემკვიდრული „პროგრამა"), რომლებიც განსაზღვრავს გარკვეული ნიშან-თვისების შესაძლო განვითარებას. ნიშანი, რომ ჩამოყალიბდეს, ანუ გენოტიპის ფენოტიპური რეალიზაცია მოხდეს, აუცილებელია შესაბამისი გარემო პირობები. მცენარის მწვანე შეფერილობა გენოტიპში არა მარტო ქლოროფილის მასინთეზებელი გენების თანაპოვნიერებაზეა დამოკიდებული, არამედ აუცილებელია სინათლეც. ადამიანის ნორმალური განვითარება დამოკიდებულია როგორც გენოტიპზე, რომელიც ნივთიერებათა ცვლის ნორმალურ მიმდინარეობას განსაზღვრავს, ასევე გარემო პირობათა განსაზღვრულ კომპლექსზეც. მაგალითად, ბავშვის საკვებ რაციონში იოდის არარსებობამ შეიძლება გამოიწვიოს ფიზიკური და ფსიქიური განვითარების შეფერხება (კრეტინიზმი). ავიტამინოზი ან ჰიპოვიტამინოზი ორსულ ქალებში აისახება ნაყოფზე და იწვევს „მგლის ხახის" განვითარებას. ნიშნის გამოვლენის ხარისხი გარემო პირობებზე დამოკიდებულების მიხედვით შეიძლება განსხვავებული იყოს. იგი გამოწვეულია იმით, რომ ყოველ გენოტიპს აქვს ცალკეული ნიშნის ე. წ. რეაქციის ნორმის გარკვეული ფარგლები.

ორგანიზმის გენოტიპით განსაზღვრულ უნარს, გარემო პირობების გავლენით ნიშნის გამოვლენის ხარისხი გარკვეულ ფარგლებში რომ შეიცვალოს, რეაქციის ნორმა ეწოდება. ამრიგად, რეაქციის ნორმად მიჩნეულია ის ფარგლები, რომელებშიც შესაძლებელია მოხდეს ფენოტიპის ცვლილება გენოტიპის ცვლილების გარეშე. მოდიფიკაციური ცვლილების ხასიათი გამომწვევ ფაქტორზეა დამოკიდებული. იგი ორგანიზმის

ცალსახა რეაქციაა გარემოს მოქმედებაზე.

მოდიფიკაციის გამოვლენის ხარისხი, წესისამებრ, გარემო ფაქტორის სიძლიერესა და ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული. მაგალითად, ადამიანში ჭორფლიანობას იწვევს დომინანტი გენი, მისი გამოვლენის ხარისხი მზიან გარემოში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული. კანის შეფერილობას პოლიმერული გენები განსაზღვრავს, ერთსა და იმავე ადამიანს მზის სხივების ზემოქმედების ხანგრძლივობის მიხედვით ნამზეურობის ხარისხი განსხვავებული აქვს. ფიზიკური ვარჯიში დიდ გავლენას ახდენს ძვლოვანი და კუნთოვანი სისტემის განვითარებაზე.

ზოგიერთი ნიშნის გამოვლენის ვარიაციის ფარგლები საკმაოდ ფართოა, ზოგის კი — ვიწრო, ზოგჯერ ნიშანს ერთჯერადი რეაქციის ნორმა გააჩნია. უკანასკნელ შემთხვევაში გენოტიპს მხოლოდ ერთი ფენოტიპი შეესაბამება. ასეთია ადამიანსა და ზოგიერთ ცხოველში სისხლის ჯგუფობრიობა. მაგ., თუ ადამიანს I^AI^A გენოტიპი აქვს, მაშინ მას A ჯგუფის სისხლი აქვს, I^BI^B გენოტიპისას კი B-ჯგუფისა.

მოდიფიკაციის გამომწვევი ფაქტორები (განათება, ტემპერატურა, ტენიანობა და სხვ.) მოქმედებს ორგანიზმის შინაგან გარემოზე (ფერმენტების, ჰორმონების დონეზე) და ცელის ნიშნის ჩამოყალიბების მიმდინარეობას. ამრიგად, მოდიფიკაცია გენის ექსპრესიის ცვლილების შედეგია. ნიშნის ვარიაცია გენოტიპით განსაზღვრული რეაქციის ნორმის საზღვრებში ხდება. მაგ., ჩინურ ფურისულაში (Primula sinensis) დომინანტური P ალელის მქონე მცენარეები დაბალ ტემპერატურაზე (14-20°C) ნითელ, მაღალ ტემპერატურაზე კი (30-35°C) თეთრ ყვავილს იქეთებენ. ასევე, ტემპერატურაზეა დამოკიდებული ყარაყუმული (ჰიმალაიური) ჯიშის ბოცვერში ბალნის შეფერილობა. წესისამებრ 20°C ტემპერატურაზე გაზრდილი ბოცვერი თეთრბალნიანია, მათ მხოლოდ თათები, კუდი, ტუჩი და ყურები აქვს შავი. 30°C ტემპერატურაზე გაზრდილი ბოცვერი მთლიანად თეთრია. ფურისულასა და ჰიმალაურ ბოცვერში მემკვიდრეობს სხვადასხვა ტემპერატურაზე ნაირგვარი შეფერილობის წარმოქმნის უნარი.

კლასიკური მაგალითია ზოგიერთ ორგანიზმში სქესის მოდიფიკაციური განსაზღვრა, რომელსაც ხერხემლიანებიდან ზოგიერთ ქვენარმავალში ეხდებით. *(იხ. თავი 7.3)*. იგი გაცილებით ხშირია უხერხემლო ცხოველებში. მოვიყვანთ ერთ სანიმუშო მაგალითს, კერძოდ, ზღვის ბინადარ ჭიას ბონელიას (Bonellia viridis) ზიგოტიდან განვითარებული ბისექსუალური ლარვა მდედრის ხორთუმზე მოხვედრისას ჩადის საშვილოსნოში და ხორთუმის მიერ გამოყოფილი ნივთიერებების (ჰორმონები) გაელენით მამრად ყალიბდება, ზღვის ფსკერზე მოხვედრისას კი - მდედრად. მსგავს მოვლენას ეხედებით მცენარე არესემაში (Arisaema japonica). მცენარის სქესი დამოკიდებულია მშობლის მიერ წარმოქმნილი ტუბერის ზომაზე. დიდი ზომის, საკვებით მდიდარი ტუბერიდან მდედრობითი, ხოლო პატარა, საკვებით ღარიბი (ფშუტე) ტუბერიდან მამრობითი სქესის მცენარეები ვითარდება.

მოდიფიკაციური ცვალებადობა შეიძლება იყოს შეგუებითი ტიპის. ორგანიზმი მისი მეშვეობით ადვილად ეგუება შეცვლილ პირობებს და დიდი რაოდენობით ტოევებს შთამომავლობას. მაგ., წყლის მცენარე ისარას (Sagittaria sagittariafolia) ფოთლის ფორმა მკვეთრად ვარირებს განვითარების პირობების მიხედვით: წყალში განვითარებული ფოთლის ფირფიტა ლენტისებურია, წყლის ზედაპირზე — ოვალური, წყლის გარეშე კი — ისრის ბუნიკის ფორმისა. ამგვარი ვარიაცია სინათლის მოქმედების შედეგია. ზოგიერთ მწერს, თევზს, ამფიბიას, ქვენარმავალსა და რიგ სხვა ცხოველს გარემო ფონის შესაბამისად ეცვლებათ სხეულის შეფერილობა. მოდიფიკაციის შედეგია ზოგიერთ ცხოველში შეფერილობის სეზონური ცვლა. მაგ. თეთრი გნოლი, თეთრი კურდღელი, ყარსაღი ზამთარში თეთრია, ზაფხულში კი — არა. *(სურ. 11.13)*.

მოდიფიკაცია უმეტეს შემთხვევაში შექცეადია, როდესაც გამომწვევი ფაქტორი აღარ მოქმედებს, ცვლილება თანდათანობით ქრება. აეიტამინოზით გამოწვეული დაავადებები (მაგ., სურაეანდი, ბერი-ბერი და სხვ.) ვიტამინებით მდიდარი საკვების მიღების შემდეგ იკურნება. ნამზეურობა ქრება, როდესაც კანზე მზის სხივები აღარ მოქმედებს. მაღალ მთაში ყოფნისას მომატებულია ერითროციტები, ბარში ჩამოსულის შემდეგ კი სანყის ნორმას სწრაფად უბრუნდება. ზოგჯერ ორგანიზმი ცვლილებას მთელი სიცოცხლის მანძილზე ინარჩუნებს. მაგალითად, მატლიდან სხვადასხვაგვარი გამოკვებით დედა ან მუშა ფუტკარი ყალიბდება და მთელი სიცოცხლის მანძილზე ასეთებად რჩებიან. თუ ბავშვში D ვიტამინის ნაკლებობით (რაქიტი) მოხდა ქვედა კიდურების დეფორმაცია, ადამიანი მთელი სიცოცხლე მრუდეფეხებიანი რჩება.

მოდიფიკაციური ცვალებადობის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. მისი ცოდნა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სოფლის მეურნეობის პრაქტიკისათვის. კულტურულ მცენარეებსა და შინაურ ცხოველებში პროდუქტიულობის გაზრდა შესაძლებელია როგორც ახალი მაღალპროდუქტიული ჯიშების გამოყვანის მეშვეობით, ისე მათ შესაძლებლობათა მაქსიმალური გამოვლენის გზით.

მოდიფიკაციური ცვალებადობის კანონზომიერებათა ცოდნა აუცილებელია მედიცინაში. ამჟამად ჯანმრთელი ადამიანის აღზრდისათვის საჭიროა კვების, გამონრთობის, ფიზიკური ვარჯიშის სწორი რეჟიმი და ჰიგიენური მოთხოვნილებების ცოდნა. სწორი რეჟიმის დაცვის შემთხვევაში განვითარების პროცესში ყალიბდება ჯანმრთელი ადამიანისათვის დამახასიათებელი ფენოტიპი.

7.4.2 მემკვიდრული ცვალებადობა

მემკვიდრული ცვალებადობის შემთხვევაში ნიშან-თვისების შეცვლას გენოტიპში მომხდარი ცვლილება განაპირობებს, რომელიც შთამომავლობას გადაეცემა. გენოტიპის ცვლილების გამო ხდება ფენოტიპის შეცვლა. გამოყოფენ მემკვიდრული ცვალებადობის ორ ფორმას: **კომბინაციურსა და მუტაციურს.** მშობლებში არსებული განსხვავებული ალელების მქონე ქრომოსომების ხელახალი გადანაწილება ნაირგვარი გენოტიპების

ჩამოყალიბებას ინვევს, რაც ორგანიზმთა (შთამომავალთა) ნაირგვაროვნების – კომბინაციური ცვალებადობის წყაროა. მუტაციური ცვალებადობა კი გენეტიკური მასალის დისკრეტული ერთეულების ახალი ვარიანტების – ალელების წარმოქმნის შედეგია.

კომბინაციური ცვალებადობა

გენთა რეკომბინაციის მეშვეობით ხორციელდება მშობლებში არსებული გენეტიკური მასალის შთამომავლებში გადანაწილება, რაც კომბინაციური ცვალებადობის საფუძველია. რეკომბინაცია არის უნივერსალური ბიოლოგიური მექანიზმი, რომელიც მთელ ცოცხალ სისტემას ახასიათებს. გენების ახალი თანწყობა და მათი ახალი კომბინაციები ცვლის გენოტიპს. გენოტიპში გაერთიანებულ გენებს შორის რთული და ნაირგვარი ურთიერთდამოკიდებულება ყალიბდება. ეუკარიოტებში კომბინაციური ცვალებადობა სამი მნიშვნელოვანი პროცესის შედეგად ხდება: 1. მეიოზის დროს ქრომოსომათა შემთხვევითი და დამოუკიდებელი გადანაწილებით, რის გამოც ქრომოსომათა კომბინაციების მიხედვით განსხვავებული გამეტები ყალიბდება; 2. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის მონაკვეთების რეციპროკული გაცვლით – კროსინგოვერით, რითაც შეჭიდულ გენთა ჯგუფებში გაერთიანებული ალელების გადანაწილება და ჯგუფების ახალი ვარიანტების ჩამოყალიბება ხდება; 3. განაყოფიერების დროს მამრობითი და მდედრობითი გამეტების შემთხვევითი შერწყმით.

გენთა რეკომბინაცია გარკვეული კანონზომიერებებით მიმდინარეობს, რომლებიც გამოავლინეს და შეისწავლეს გ. მენდელმა, ასევე ტ. მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა. სხვადასხვა არაალელურ გენთა გენოტიპში გაერთიანება ზოგ შემთხვევაში მათ ურთიერთქმედებას ინვევს. ყველა ეს მოვლენა ჩვენ მიერ წინა პარაგრაფებშია განხილული.

მუტაციური ცვალებადობა

ცოცხალი სისტემის მემკვიდრული ინფორმაციის შემცველი სტრუქტურის-გენოტიპის ცვლილებას, რომლის დროსაც ხდება გენის, ქრომოსომის სტრუქტურის ან მათი რიცხვის ცვლილება, ***მუტაციური ცვალებადობა*** ენოდება.

მუტაციური თეორიის ფუძემდებელია ჰუგო დე ფრიზი (1901-1903). მისი კვლევის ობიექტი იყო მცენარე ენოთერა. მანვე შემოიღო ტერმინი ***„მუტაცია"***. დე ფრიზმა მემკვიდრული ნიშნის ნახტომისებურ, წყვეტილ, მდგრად ცვლილებას მუტაცია უწოდა. დე ფრიზის მუტაციური თეორიის ძირითადი დებულებები დღესაც არ კარგავს მნიშვნელობას.

მუტაცია ცოცხალი სისტემის უნივერსალური თვისებაა. იგი მიმდინარეობს ვირუსებიდან მოყოლებული უმაღლეს მცენარეებსა და ცხოველებში, თვით ადამიანის ჩათვლით. ამდენად, მუტაციური ცვალებადობა, როგორც უეცარი თვისობრივი ცვლილების პროცესი, საყოველთაოა ყველა ორგანიზმისათვის. იგი ეხება ორგანიზმის ყველა ნიშანს. მასთან დაკავშირებულია გენის ახალი ვარიანტების ალელების წარმოქმნა, შესაბამისად, ახალი ნიშან-თვისებების ჩამოყალიბება.

ვინაიდან საყოველთაოდ მიღებული კლასიფიკაცია სადღეისოდ არ არის შემუშავებული, მუტაციის ტიპების დაჯგუფება რამდენიმე პრინციპით ხორციელდება:

I. ***გენომის ცვლილების მიხედვით:*** 1. გენური მუტაციები; 2. ქრომოსომული მუტაციები-ქრომოსომის სტრუქტურის ცვლილება; 3. გენომური მუტაციები-ქრომოსომების რიცხვის ცვლილება.

II. ***ჰეტეროზიგოტაში გამოვლენის მიხედვით:*** 1. დომინანტური; 2. ნახევრადდომინანტური; 3. რეცესიული.

III. ***მუტაციის გამომწვევი მიზეზების მიხედვით:*** 1. სპონტანური-წარმოიშობა ბუნებრივად, აშკარა მიზეზის გარეშე; 2 .ინდუცირებული –ექსპერიმენტატორის მიერ ინდუქციის გამოწვევა ხელოვნურად, ამგვარი უნარის მქონე ფაქტორის (მუტაგენის) ზემოქმედებით.

IV ***უჯრედში ლოკალიზაციის მიხედვით.*** 1. ბირთვული; 2. ციტოპლაზმური-იგულისხმება არაბირთვული გენების მუტაცია.

V. ***ნორმიდან (ველური ტიპიდან) გადახრის მიხედვით.*** 1.პირდაპირი; 2.შებრუნებული ანუ რევერსია.

VI. შესაძლო მემკვიდრეობის მიხედვით: 1. გენერაციული-სასქესო უჯრედებსა და სპორებში მომხდარი, რომელიც მემკვიდრეობს; 2.სომატური - - სხეულის სომატურ უჯრედებში წარმოქმნილი, იგი არამემკვიდრულია. იწვევს სხეულის მოზაიკურობას (მუტაცია სხეულის უჯრედების მხოლოდ ნაწილს აქვს). მისი შენარჩუნება ვეგეტატიური გამრავლებით ან უჯრედული ინჟინერიის გზითაა შესაძლებელი.

I. გენური მუტაციები

ამ ტიპის მუტაციის დროს ხდება ცალკეული გენის სტრუქტურის ცვლილება. იგი სხვა ტიპის მუტაციათა შორის ყველაზე მაღალი სიხშირით წარმოიქმნება და იწვევს ორგანიზმის მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური ნიშნების ცვლილებას. გენურ მუტაციებს იწვევს სამი მნიშვნელოვანი პროცესიდან რომელიმეს – რეპლიკაციის, რეპარაციის ან რეკომბინაციის დარღვევები. გენური მუტაციები წარმოიქმნება როგორც სპონტანურად, ისე მუტაგენების ზემოქმედების შედეგად. გენური მუტაციის დროს გენი ერთი ალელური მდგომარეობიდან ნახტომისებურად გადადის მეორე ალელურ მდგომარეობაში. რიგ შემთხვევაში გენი შეიძლება სხვადასხვა მიმართულებით შეიცვალოს და მრავლობით ალელთა სერია წარმოქმნას. დნმ-ის მოლეკულაში ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის (ან რნმ-ში ნუკლეოტიდის) ცვლილებას წერტილოვან მუტაციას უწოდებენ. გე-

ნური მუტაციების დაჯგუფებას ახდენენ: 1. **კოდის სტრუქტურის ცვლილების მიხედვით არჩევენ რამდენიმე ფორმას:**

ტრანზიცია — მარტივი შეცვლა, როდესაც ერთი პურინის ფუძე იცვლება მეორეთი A⟷G, ან პირიმიდინი თავისსავე ანალოგით T⟷C (მიიღება ოთხი ვარიანტი).

ტრანსვერსია — რთული შეცვლა, როდესაც პურინის ფუძე იცვლება პირიმიდინით ან პირუკუ: A⟷T; A⟷C; G⟷C; G⟷T (მიიღება 8 ვარიანტი).

ჩართვა — ნუკლეოტიდის ზედმეტი ნყვილის ჩართვა დნმ-ის მოლეკულაში.

ამოვარდნა — ნუკლეოტიდის ნყვილის ამოვარდნა დნმ-ის მოლეკულიდან.

2. კოდის ინფორმაციის ცვლილების მიხედვით არჩევენ რამდენიმე ფორმას:

ა. საილენთი -კოდის სტრუქტურის ცვლილება ინფორმაციის შეცვლას არ იწვევს. მაგ., რნმ-ის GCU-კოდონის GCA-თი შეცვლის შემთხვევაში სინთეზირებულ პოლიპეპტიდში იმავე ამინომჟავას ჩართვა მოხდება, ვინაიდან ორივე კოდონით ხდება ალანინის კოდირება. ხშირად მასში აერთიანებენ არამკოდირებელ უბნებში (გენის გარეთ ან ინტრონებში) ინდუცირებულ ცვლილებებს.

ბ. მისენსი-კოდის სტრუქტურის ცვლილება იწვევს ინფორმაციის შინაარსის შეცვლას. მაკოდირებელი ტრიპლეტის შეცვლის გამო პოლიპეპტიდში ერთი ამინომჟავა სხვა სახის ამინომჟავათი იცვლება. მაგ., UGU-კოდონი თუ შეიცვალა UGG-თი, მაშინ პოლიპეპტიდში ცისტეინის ადგილს ამინომჟავა ტრიფტოფანი დაიკავებს.

გ. ნონსენსი -წარმოიქმნება უაზრო კოდონი, რომელიც არც ერთ ამინომჟავას არ კოდირებს. მაგ., თიროზინის მაკოდირებელი UAC-კოდონის ნაცვლად UAA-ს წარმოქმნა. ამ სახის კოდონები აჩერებენ პოლიპეპტიდის სინთეზს.

დ. ფრეიმშიფტი — ათვლის ჩარჩოს გადაადგილება. ერთი ან რამდენიმე ნუკლეოტიდთა ნყვილის ამოვარდნა ან ჩართვა იწვევს ათვლის ჩარჩოს გადაადგილებას და, შესაბამისად, ტრიპლეტების აზრის ცვლილებასაც.

გენურ მუტაციებს ფათოდ იყენებენ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის კანონზომიერებათა შესწავლისას. დროზოფილაში კარგადაა შესწავლილი მუტაციები, რომლებიც იწვევს სხვადასხვა ნიშნის ცვლილებას, კერძოდ, როგორიცაა ფრთის ფორმა (მაგ., ჩანასახოვანფრთიანი, უფრთო), თვალის ფერი და ფორმა (მაგ. თეთრი, ყავისფერი, ზოლისებრი, უთვალო), სხეულის ფერი (მაგ., შავი, ყვითელი) და სხვ. ალბინიზმი ცხოველებში გენური მუტაციის შედეგია. ასევე ბარდაში თესლის ყვითელი და მწვანე შეფერილობა, გლუვი და ნაოჭიანი ფორმა, ყვავილის თეთრი და მენამული შეფერილობა გენური მუტაციის შედეგადაა წარმოქმნილი.

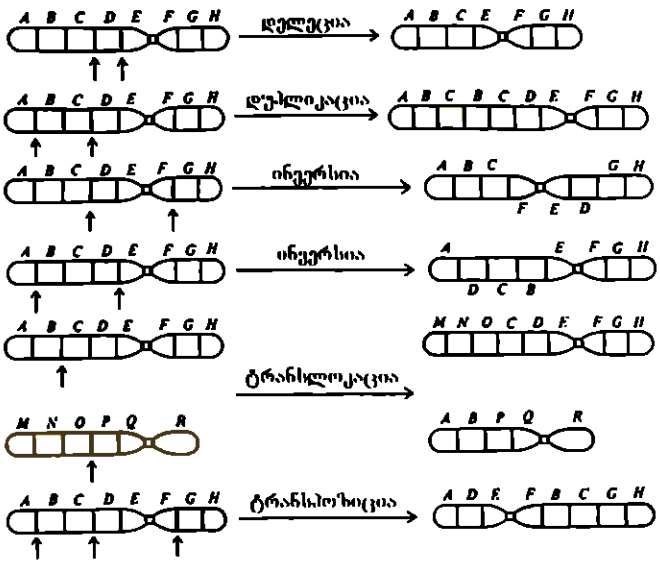
სპონტანური მუტაციების წარმოქმნა დნმ-ის მატრიცული სინთეზის პროცესში მონაწილე ფერმენტების მიერ მოქმედების პროცესში დაშვებული შეცდომების შედეგია. მათი წარმოქმნა მეტად დაბალი სიხშირით მიმდინარეობს. ალელები მუტაციის სიხშირით განსხვავდებიან. იგი სხვადასხვა გენისათვის განსხვავებულია. უნდა აღინიშნოს, რომ ორგანიზმებში ერთი და იმავე გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირე მეტნაკლებად მუდმივია და საშუალოდ ეს მაჩვენებელი 10^{-5}-10^{-7} ფარგლებში ეარირებს. იმის გამო, რომ გენთა რაოდენობა ორგანიზმში საკმაოდ დიდია, მუტაციათა საერთო რიცხვი არც თუ მცირეა. მაგალითად, უმაღლეს მცენარეებსა და ცხოველებში გამეტების დაახლოებით 10% სპონტანურად წარმოქმნილ ახალ მუტაციებს შეიცავს.

II. ქრომოსომული მუტაციები

ამ ტიპის მუტაციებს ქრომოსომულ აბერაციებსაც უწოდებენ. ხდება ქრომოსომების სტრუქტურის ცვლილება. ამგვარმა გარდაქმნებმა შეიძლება მოიცვას როგორც ერთი ქრომოსომის მონაკვეთები, ისე სხვადასხვა (არაჰომოლოგიური) ქრომოსომების უბნები. გამოყოფენ ***შიდაქრომოსომულ*** (დეფიშენსი, დელეცია, დუპლიკაცია, ინვერსია) და ***ქრომოსომათშორის*** (ტრანსლოკაცია) სტრუქტურულ დარღვევებს. შუალედური ადგილი უჭირავს ***ტრანსპოზიციას,*** რომელიც მიმდინარეობს როგორც არაჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის, ისე ერთი და იმავე ქრომოსომის ფარგალში.

ქრომოსომის ბოლო მონაკვეთების მოწყვეტასა და დაკარგვას ***დეფიშენსი*** ეწოდება. ქრომოსომას აღარ გააჩნია ტელომერული უბანი და მიმდებარე მონაკვეთი. ზოგჯერ ქრომოსომის შუა (არა ცენტრომერული) მონაკვეთი იკარგება. ასეთ ცვლილებას ***დელეცია*** ეწოდება. დანაკლისის შედეგად ქრომოსომა მოკლდება. ქრომოსომის ერთ ჰომოლოგში მონაკვეთის დაკარგვა, მეორე ნორმალურ ჰომოლოგის შესაბამის მონაკვეთში გენთა ჰემიზიგოტურობას იწვევს. თუ ჰეტეროზიგოტაში დომინანტური გენების მქონე მონაკვეთი დაიკარგა, მაშინ მათი ყველა რეცესიული ალელი ფენოტიპურად გამოვლინდება. ქრომოსომის დიდი მონაკვეთის დაკარგვა ორგანიზმისათვის ლეტალურია – ინდივიდი იღუპება. მცირე მონაკვეთების დაკარგვა კი ქრომოსომის გენეტიკური სისტემის დარღვევას იწვევს, იცვლება გენთა განლაგების ხასიათი და ურთიერთკავშირი, ირღვევა გენთა მოქმედების თანაფარდობა. დელეციები, რომლებიც სასიცოცხლო მნიშვნელობის გენების დაკარგვას იწვევს, ლეტალურია. მოკლე დელეციები ჰეტეროზიგოტაში ყოველთვის არ იწვევს სიცოცხლისუნარიანობის დარღვევას. დუპლიკაცია და დელეცია ქრომოსომის განყვეტის შემდეგ წარმოიქმნება, რომელსაც მაიონიზებელი რადიაცია, ზოგიერთი ქიმიური ნივთიერება ან ვირუსის მოქმედება იწვევს.

აღწერილია ადამიანის მძიმე მემკვიდრული დაავადება, ე. წ. „კატის ქნავილის" სინდრომი. ამ დაავადებამ სახელწოდება ბავშვის სპეციფიკური ტირილის გამო მიიღო. ავადმყოფებს აღენიშნებათ გონებრივი ჩამორჩენა, მთვარისებრი სახე, ზრდაში ჩამორჩენა, ჰიპერტელორიზმი და ზოგი სხვა ანომალია. მას იწვევს



სურ. 7.19. ქრომოსომული მუტაციის ფორმები

მე-5 ქრომოსომის მოკლე მხრის დელეცია. ამჟამად, ეს დაავადება ამ სახელწოდებით მოიხსენიება. დაავადებული ბავშვები მეტწილად ადრეულ ასაკში იღუპებიან.

ქრომოსომაში ან სხვადასხვა არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში ერთზე მეტი ანალოგიური მონაკვეთის არსებობას ***დუპლიკაცია*** ეწოდება. პირდაპირი მნიშვნელობით იგი ქრომოსომის ერთი და იმავე მონაკვეთის გაორმაგებას გულისხმობს. ცნობილია მრავალჯერადი განმეორების შემთხვევები, რომლებსაც **მულტიპლიკაცია** (ამპლიფიკაცია) ეწოდება. დუპლიკაცია ქრომოსომის გასწვრივ ხდება და გენეტიკური მასალის ასლები (ერთი და იგივე გენები) ერთმანეთის გვერდითაა განლაგებული. ზოგჯერ ხდება ასლის გადატანა ანუ ტრანსპოზიცია იმავე ქრომოსომის სხვა უბანში ან სხვა არაჰომოლოგიურ ქრომოსომაში. მობილურ ელემენტს, რომელსაც ქრომოსომის ერთი მონაკეეთიდან სხვა უბანში გადაადგილების უნარი აქვს, ***ტრანსპოზონი*** ეწოდება.

პოლიმერული გენების წარმოშობას რომელიმე დომინანტი გენის დუპლიკაცია და მისი სხვა ქრომოსომაში ტრანსპოზიცია იწვევს. დათიშვის სურათი შესაბამისი ნიშნის მიხედვით იცვლება. ასეთი დიპლოიდური მუტანტის ამავე გენის რეცესიული ალელის მქონე ინდივიდთან შეჯვარებით მონოგენური 3:1 დათიშვის ნაცვლად მიიღება პოლიმერული (კერძოდ, 15:1) დათიშვა.

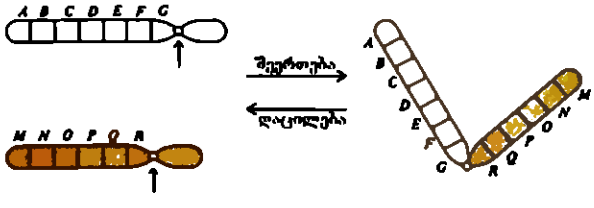
დუპლიკაციურ ცვლილებას იწვევს არათანაბარი კროსინგოვერი. იგი გენომის ევოლუციაში დიდ როლს თამაშობს. დუპლიკაციით იქმნება დამატებითი გენეტიკური მასალა, შემდგომში ისინი გენური მუტაციისა და ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად შესაძლოა შეიცვალოს *(იხ. სურ. 7.19)*.

ქრომოსომის მონაკვეთის 180°-ით შემობრუნებას ***ინვერსია*** ეწოდება. ამ ტიპის აბერაციები კროსინგოვერის პროცესის დარღვევის შედეგად წარმოიქმნება, რის გამოც ქრომოსომაში გენთა თანმიმდევრობა იცვლება, ხოლო მათი რაოდენობა იგივე რჩება. ინვერსია გენეტიკური მასალის გარდაქმნის ფართოდ გავრცელებული საშუალებაა. გენთა შეჭიდულ ჯგუფში იწვევს გენთა თანმიმდევრობის შეცვლას. არაჰომოლოგიური ქრომოსომის მონაკვეთის სხვა ქრომოსომაზე მიმაგრება იწვევს აბერაციულ ცვლილებას, რომელსაც ***ტრანსლოკაცია*** ეწოდება. ვინაიდან ერთი ქრომოსომის გენების ნაწილი სრულიად სხვა შეჭიდულ გენთა ჯგუფში ერთიანდება, ამ სახის ცვლილება იწვევს გენთა შეჭიდული ჯგუფების დარღვევას და შეცვლას. ჰომოზიგოტებში ტრანსლოკაცია მეტწილად ლეტალურ ეფექტს იწვევს. იგი დიდ გავლენას ახდენს გენთა გამოვლენაზე. ტრანსლოკაცია ჰეტეროზიგოტურ ცხოველებში იშვიათია, მცენარეებში კი ფართოდ გავრცელებული მოვლენაა.

III. გენომური მუტაციები

ქრომოსომათა ფორმა, ზომა და რიცხვი ყოველი სახეობისათვის მნიშვნელოვანი სისტემატიკური ნიშანია. ***გენომი*** არის ქრომოსომათა ჰაპლოიდური ნაკრები მასში ლოკალიზებული გენებით. მუტაციის შედეგად, როგორც გენები და ქრომოსომთა სტრუქტურა, ისე გენომი იცვლება. გენომური მუტაციების შედეგად იცვლება, აგრეთვე, ქრომოსომათა რაოდენობა. გამოყოფენ გენომური მუტაციების შემდეგ ფორმებს: 1. ცენტრული შერწყმა და ცენტრული გათიშვა; 2. პოლიპლოიდია; 3. ანეუპლოიდია.

ცენტრული შერწყმის დროს არაჰომოლოგიური ორი ქრომოსომა ზოგჯერ უკავშირდება ერთიმეორეს და მიიღება ერთი ქრომოსომა. ცენტრული დაცილების დროს ქრომოსომა ნყდება და ორი დამოუკიდებელი არაჰომოლოგიური ქრომოსომა ყალიბდება *(სურ. 7.20)*. ეს მოვლენა ზოგჯერ, პირველად მომჩენის პატივსაცემად, მოიხსენიება რობერტსონული ტრანსლოკაციის სახელწოდებით. იგი მცენარეთა და ცხოველთა ნებისმიერ დიდ სისტემატიკურ ჯგუფში გვხვდება.

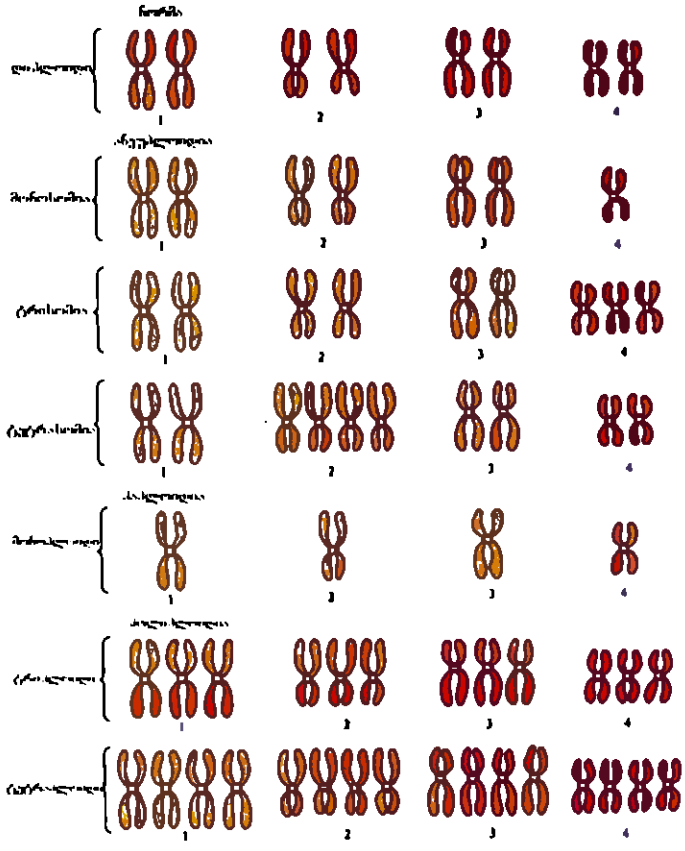


სურ. 7.20. ქრომოსომათა ცენტრული შერწყმა და დაცილება.

ეუკარიოტული ორგანიზმის სასიცოცხლო ციკლში ხდება ქრომოსომათა ჰაპლოიდური კომპლექტის რიცხვთა რეგულარული ცვლილება (n⟷2n). მიტოზი და

მეიოზი უჯრედის გაყოფის ზუსტი მექანიზმებია, რომლებიც უზრუნველყოფს ქრომოსომათა რიცხვის მუდმივობას. ზოგჯერ მიტოზის ან მეიოზის პროცესი ირღვევა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ქრომოსომათა შეცვლილი რაოდენობის მქონე უჯრედების წარმოქმნა.

უჯრედში ქრომოსომათა რიცხვის ჰაპლოიდური კომპლექტის (n) პროპორციულად (ჯერადად) ზრდას ***პოლიპლოიდია*** ეწოდება, ცალკეული ან რამდენიმე ქრომოსომის რიცხობრივ ცვლილებას კი ***ანეუპლოიდია*** უწოდებენ *(სურ. 7.21)*.



სურ. 7.21. გენომური მუტაციის ფორმები.

როგორც აღვნიშნეთ, პოლიპლოიდიის დროს ქრომოსომათა რიცხვი (ჰაპლოიდური კომპლექტი) უჯრედში პროპორციულად იზრდება. სამი ასეთი კომპლექტის მქონე ორგანიზმს ენოდება ტრიპლოიდი (3n), ოთხისას - ტეტრაპლოიდი (4n), ხუთისას - პენტაპლოიდი (5n) და ა.შ. ცხოველთა სამეფოში პოლიპლოიდია იშვიათია. მცენარეთა სამყაროში პოლიპლოიდია ფართოდ და არათანაბრადაა გავრცელებული. მაღალი სიხშირით გვხვდება ფარულთესლოვანებსა (47% პოლიპლოიდებია) და გვიმრებში, იშვიათია შიშველთესლოვანებში. კულტურულ მცენარეთა შორის მრავალია ბუნებრივი პოლიპლოიდური ფორმები (ხორბალი, კარტოფილი, შერია, მარწყვი, ქლიავი, ვაშლი, მსხალი და სხვ.). პოლიპლოიდები ადვილად ეგუებიან მკაცრ გარემო პირობებს. ჩრდილოეთ და ეკვატორის განედის, ასევე მაღალმთიანი რაიონების ყვავილოვან მცენარეთა დიდი ნანილი (მაგ., გრენლანდიაში 72%, პამირში 86%) პოლიპლოიდებია. პოლიპლოიდია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მცენარეთა ეეოლუციის პროცესში. იგი ახალ ფორმათა და სახეობათა წარმოშობის მნიშვნელოვანი გზაა.

ისეთ ინდივიდებს, რომლებშიც პროპორციულად არის გაზრდილი ერთი და იგივე გენომი, ***აუტოპლოიდები*** ეწოდება. ქრომოსომების რიცხვის ზრდა ზოგჯერ იწვევს უჯრედების ზომის გადიდებას, რის გამოც მთლიანად მცენარის ზომა იზრდება. კულტურულ მცენარეთა პოლიპლოიდებში რიგ შემთხვევაში გაზრდილია მოსაელიანობა (მაგ., წინიბურა, ჭარხალი, ჭეაი და ა.შ.).

ინდივიდებს, რომლებშიც განსხვავებული გენომებია ჯერადად გადიდებული, ***ალოპლოიდები*** ეწოდება. ისინი სახეობათა შორის ჰიბრიდებს წარმოადგენს მათ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ბუნებრივი ალოპლოიდებია ხორბალი, ქლიავი და მისთ. ხელოვნურად ალოპლოიდი პირველად გ. კარპეჩენკომ მიიღო კომბოსტოსა და ბოლოკის შეჯვარებით წარმოქმნილ ჰიბრიდებში. მიღებულია მრავალი ალოპლოიდი. მაგ., ჭვავისა და ხორბლის (ტრიტიკალე); ჭანგასა და ხორბლის; ხორბლისა და ქერის ჰიბრიდი და სხვ. ბოლო პერიოდში ამ მიზნით ფართოდ იყენებენ უჯრედულ ინჟინერიას.

ანეუპლოიდიის (პეტეროპლოიდიის) დროს დიპლოიდურ კომპლექტს აკლია ან მეტი აქვს ერთი ან იშვიათად ერთზე მეტი ქრომოსომა. ამ მოვლენას იწვევს მეიოზის დროს ქრომოსომების განურიდებლობა. დიპლოიდურ კომპლექტში ერთ-ერთი ჰომოლოგის სამი ქრომოსომით წარმოდგენას ***ტრისომია*** (2n+1) ეწოდება; თუ ჰომოლოგიურ წყვილს ერთი ქრომოსომა აკლია — ***მონოსომია*** (2n-1). თითქმის ყველა ანეუპლოიდი დაბალი სიცოცხლისუნარიანობით და ნაყოფიერებით გამოირჩევა, ქრომოსომების მომატება ან დაკარგვა ორგანიზმის განვითარებაში შესამჩნევ ცვლილებებს იწვევს.

ინდუცირებული მუტაგენეზი. მუტაცია შეიძლება წარმოიქმნას სპონტანურად ან ხელოვნურად (ინდუცირებულად) მუტაგენების ზემოქმედებით. ცნება „მუტაცია" ორი მნიშვნელობით — ცვალებადობის წარმოქმნისა და თვით ცვლილების აღსანიშნავად იხმარება. მუტაციის წარმოქმნის პროცესს ***მუტაგენეზი*** ეწოდება, ხოლო ცვლილების გამომწვევ ფაქტორს — ***მუტაგენი***. ამ პროცესის შედეგად შეცვლილ ინდივიდს, რომელშიც ფენოტიპურადაა გამოვლენილი მემკვიდრული ცვლილება, ***მუტანტი*** ეწოდება.

მუტაციის ინდუცირებას ფიზიკური და ქიმიური ფაქტორების ზემოქმედებით ახდენენ. მუტაგენურ ფაქტორს წარმოადგენს ყველა სახის მაიონიზებელი (რენტგენის სხივები, γ - გამოსხივება, ნეიტრონები და ა.

შ.) რადიაცია და ულტრაიისფერი სხივები. რადიაციის ზემოქმედებით ინდუცირებული მუტაციები უმდაბლეს სოკოებში პირველად მიიღეს და შეისწავლეს გ.ნადსონმა და გ. ფილიპოემა (1925). ამერიკელმა გენეტიკოსმა ჰ. მელერმა (1927) დროზოფილაზე რენტგენის სხივების ზემოქმედებით მიიღო და შეისწავლა სხვადასხვა სახის მუტაციები. მანვე შეიმუშავა ამჟამად კლასიკურად აღიარებული მუტაციის რაოდენობრივი აღრიცხვის მეთოდები. ლ. სტადლერმა (1928) ქერსა და სიმინდში რენტგენის სხივების ზემოქმედების გენეტიკური ეფექტი შეისწავლა.

თავდაპირველად მიაჩნდათ, რომ მაიონიზებელი რადიაცია უშუალოდ მოქმედებს გენეტიკურ მასალაზე და ცვლის მის სტრუქტურას (ე.წ. „სამიზნის" თეორია). დადგენილია, რომ რადიაციის უშუალო მოქმედებით დნმ-ის მოლეკულებში წარმოიქმნება ნაირგვარი დარღვევები. ასევე დადგენილია, რომ რადიაცია არაპირდაპირი გზითაც მოქმედებს დნმ-ის სტრუქტურაზე. წყლის რაგიოლიზის შედეგად წარმოქმნილი ქიმიურად მაღალაქტიური პროდუქტები ზემოქმედებენ დნმ-ზე და მის ცვლილებას იწვევენ. მაიონიზებელი რადიაცია მოქმედების ფართო სპექტრით არის ცნობილი. ინდუცირდება მუტაციის ყველა სახე, რომელიც იწვევს ორგანიზმის ნებისმიერი ნიშნის ნაირგვარ ცვლილებას. რადიაციის მოქმედებას ქვედა ზღურბლი არ გააჩნია, ნებისმიერი დოზა ახდენს მუტაციის ინდუქციას.

სხვადასხვა სახეობა განსხვავებული რადიორეზისტენტულობით გამოირჩევა. მცენარეები ბევრად უფრო რადიორეზისტენტულებია, ვიდრე ცხოველები. თუ ორგანიზმი ხანგრძლივად ექვემდებარება რადიაციის მეტად დაბალი დოზის ზემოქმედებას, იგი უკვალოდ არ ქრება, მისი მოქმედება გროვდება იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ბუნებრივი რადიოაქტიური ფონი დაბალია ადამიანი მთელი სიცოცხლის მანძილზე, ჯამურად, დაახლოებით 0,03 გრეი დოზას იღებს.

ფიზიკურ მუტაგენს მიეკუთვნება ულტრაიისფერი სხივები. მათი ქსოვილში შეღწევადობა ძალიან დაბალია. იგი ძლიერ მუტაგენურ მოქმედებას აელენს ერთუჯრედიან ორგანიზმებში, მტვრის მარცვლებსა და სპორებში. ულტრაიისფერი სხივები ძირითადად გენურ მუტაციებს წარმოქმნის. იგი დნმ-ის მოლეკულაში ორი მეზობელი პირიმიდინის ფუძეების დიმერიზაციას იწვევს, რაც პოტენციური მუტაციური ცვლილებაა.

ძლიერი მოქმედების ქიმიური მუტაგენები 1946 წელს რუსეთში ი. რაპოპორტმა (ეთილენიმინი) და ინგლისში შ. აუერბახმა და ჯ. რობსონმა (იპრიტი) გამოავლინეს. ამჟამად მიღებულია ნაირგვარი ჯგუფის ქიმიური მუტაგენები, რომლებიც სპეციფიკური მოქმედების ფართო სპექტრით გამოირჩევიან. ისინი მოქმედებენ დნმ-ის მოლეკულაზე და მათში ცვლილებებს იწვევენ. ქიმიურ მუტაგენებს მიეკუთვნება აზოტოვანი ფუძის ანალოგები (5-ბრომურაცილი, 2-ამინოპურინი). რეპლიკაციის პროცესში ხდება ბუნებრივი ფუძეების ნაცვლად მათი ჩართვა. აზოტოვანი მჟავა და ჰიდროქსილამინი, რომლებიც აზოტოვანი ფუძის მოდიფიცირებას იწვევენ, აკრიდინი და მისი წარმოებულები, რომელთა ინტერკალირება ხდება დნმ-ის მოლეკულაში, ზოგიერთი მუტაგენი იწვევს აზოტოვანი ფუძეების ალკილირებას (მაგ.ეთილენიმინი, ეთილმეთანსულფონატი და სხვა). გამოვლენილია ბიოლოგიური მუტაგენები (ვირუსები, ეგზოგენური დნმ, ზოგიერთი ობის სოკოს მიერ გამოყოფილი ტოქსინი და სხვა). ფიზიკური და ქიმიური მუტაგენები ფართოდ გამოიყენება სასოფლო-სამეურნეო პრაქტიკაში. მიღებული მუტანტები ითელება მნიშვნელოვან სანყის მასალად მცენარეთა სელექციისათვის. მათი გამოყენებით მიღებულია დაავადებისადმი გამძლე და უხვმოსავლიანი მცენარეთა ჯიშები. მიკროორგანიზმებში მიღებულია მაღალპროდუქტიული (ანტიბიოტიკები, ვიტამინები, ციღები და სხვ.) შტამები.

გარემოს მუტაგენები. *სამეცნიერო-ტექნიკურმა პროგრესმა კაცობრიობის წინაშე წამოჭრა გარემოს დაცვის პრობლემა უარყოფითი ხანგრძლივი და შეუქცევადი ცვლილებებისაგან. ადამიანის საქმიანობამ გამოიწვია ბუნებრივი ლანდშაფტების დიდი ფართობების მკვეთრი შემცირება" მდინარეების, ზღვებისა და ოკეანეების, ატმოსფეროს, ნიადაგების გაჭუჭყიანება. ბოლო ათწლეულებში ამ პროცესებმა გლობალური მასშტაბები შეიძინა.*

მეცნიერთა აზრით, საშიშ ფაქტორებად არის მიჩნეული შემდეგი (დალაგებულია სტრესული ზემოქმედების სიძლიერის მიხედვით): 1. პესტიციდები; 2 მძიმე მეტალები; 3.ნახშირბადის (II) ოქსიდი; 4. გოგირდის (II) ოქსიდი და მისი დაჟანგვის პროდუქტები; 5. დაღვრილი ნავთობი; 6. სანარმოებიდან ჩანადენი წყლები; 7. ქიმიური სასუქები; 8.ორგანული ნარჩენები; 9. აზოტის ოქსიდები; 10. რადიოაქტიური ნარჩენები; 11. ქალაქის ნაგავი; 12. ატომური ელექტროსადგურების რადიაციული ნარჩენები; 13. ფოტოქიმიური ოქსიდანტები; 14. პაერის ნახშირწყალბადები; 15. ნახშირბადის (IV) ოქსიდი; 16. ქალაქის ხმაური.

ჩამონათვალი გვიჩვენებს თუ რარიგ მრავალფეროვანია ადამიანის ზემოქმედება ბუნებაზე. დედამიწაზე არ მოიპოვება უბანი, სადაც ასეთ ზემოქმედებას მეტნაკლები ინტენსიურობით არ ექვემდებარებოდეს ცოცხალი სისტემა. გარემოს გამაჭუჭყიანებელ მრავალ ფაქტორს გენეტიკური აქტიურობა (იგივე, მუტაგენური ეფექტი) აღმოაჩნდა. გარემოში მუტაგენების გავრცელება მუტაციის სიხშირის გაზრდას იწვევს. ნარმოქმნილი მუტაციები მეტწილად რეცესიული და საზიანოა (იზრდება გენეტიკური ტვირთი). იგი არღვევს ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებული ორგანიზმის ერთიან გენეტიკურ სისტემას. საფრთხე ემუქრება როგორც ადამიანის ამჟამინდელ და მომდევნო თაობებს, ისე მთელ ბიოსფეროს. ამ საფრთხემ განაპირობა ახალი დარგის, გენეტიკური ტოქსიკოლოგიის ჩამოყალიბება.

იგი იკვლევს ანთროპოგენური ფაქტორების მუტაგენურ აქტიურობას, უმთავრესად შეისწავლის ქიმიურ ნივთიერებათა გენეტიკურ აქტიურობას, შეიმუშავებს მათი განსაზღვრის მეთოდებსა და შეფასების საშუალებებს, მიზნად ისახავს მინიმუმამდე დაიყვანოს მუტაგენური ზემოქმედების რისკი, უკიდურესად შეზღუდოს ადამიანის ისეთი საქმიანობა, რომელიც გენეტიკური ცვლილებების გამონვევის საფრთხეს ატარებს.

7.5 მემკვიდრეობითობის მოლეკულური საფუძვლები

7.5.1 ნუკლეინის მჟავების როლი მემკვიდრეობაში

მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორიის მიხედვით, მემკვიდრეობის დისკრეტული ერთეული – გენი ლოკალიზებულია ქრომოსომაში. ქრომოსომები შედგება ცილებისა და ნუკლეინის მჟავებისაგან. რომელი მათგანია მემკვიდრეობის მატერიალური საფუძველი? რომელი შეიცავს მემკვიდრულ ინფორმაციას? აღნიშნული საკითხი ინვევდა აზრთა სხვადასხვაობას. ამჟამად ეს საკითხი გადაწყვეტილია: ნუკლეინის მჟავები – ესაა მემკვიდრეობის მატერიალური სუბსტრატი. არსებობს ამის დამამტკიცებელი პირდაპირი და არაპირდაპირი არგუმენტები.

არაპირდაპირი არგუმენტები შემდეგია. სხვადასხვა ორგანიზმს დნმ-ის განსხვავებული რაოდენობა აქვს. ერთსა და იმავე ორგანიზმის სხვადასხვა სომატური უჯრედების ბირთვში მისი რაოდენობა თანაბარია: სასქესო უჯრედებში ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე სომატურში. გამეტების წარმოქმნის დროს მისი რაოდენობა ნახევრდება, ზიგოტაში კი ორმაგდება. მეიოზი და განაყოფიერება არეგულირებს დნმ-ის რაოდენობას გამეტებსა და ზიგოტაში, რაც მიუთითებს, რომ მემკვიდრეობის სუბსტრატი არის დნმ.

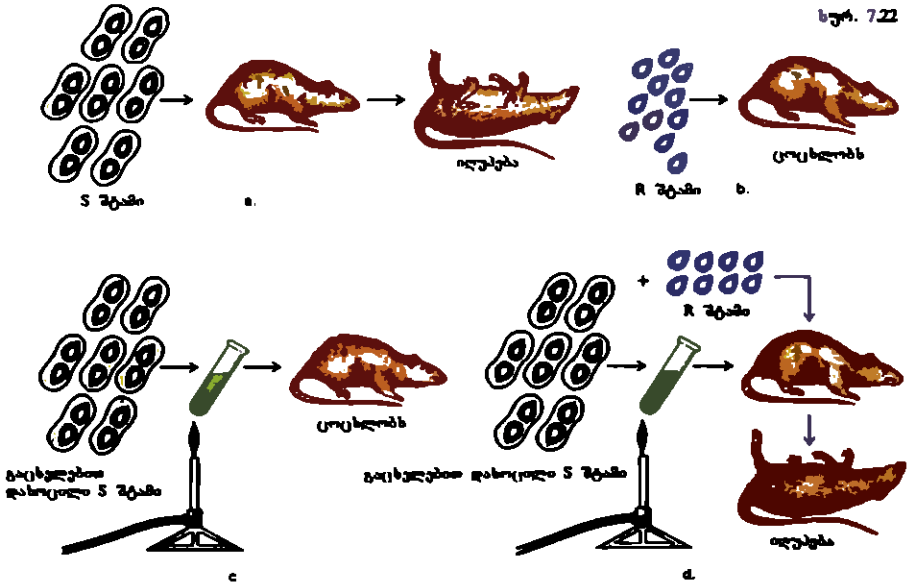
ულტრაიისფერი სხივები მუტაგენური ფაქტორია. ცილებსა და დნმ-ს ამ სხივების შთანთქმის განსხვავებული სპექტრი მოეპოება. მუტაგენური მოქმედების სპექტრი შეესაბამება დნმ-ის შთანთქმის სპექტრს, რაც მნიშვნელოვანი არგუმენტია, რომ მემკვიდრული თვისებები დაკავშირებული ყოფილა დნმ-თან.

დნმ-ის გენეტიკურ როლზე პირველი პირდაპირი სარწმუნო არგუმენტია ფ. გრიფითის მიერ დიპლოკოკებში (Diplococcus pneumoniae) აღმოჩენილი ტრანსფორმაციის მოვლენა.

ბაქტერიების ტრანსფორმაცია. ცნობილია პნევმოკოკების ორი შტამი. ისინი განსხვავდებიან კოლონიის ფორმით, ზომით, აგრეთვე უჯრედის გარსის გარეთ მკვრივი პოლისაქარიდული კაფსულის თანაპოვნიერებით. ეს უკანასკნელი ბაქტერიას იცავს ფაგოციტოზისაგან. S ფორმის შტამს აქვს მკვრივი კაფსულა და მყარ არეზე ვითარდება როგორც დიდი ზომის, პრიალა გლუვზედაპირიანი კოლონია. იგი ვირულენტურია. ბაქტერიის ეს შტამი ინვევს პნევმონიას ადამიანში და ძუძუმწოვრებში, ბუნებრივია, თაგვებშიც, რაზედაც ცდები ფ. გრიფითმა ჩაატარა. ზოგჯერ S ფორმა მუტაციის შედეგად გარდაიქმნება სხვა შტამად – R ფორმად. R ფორმა უკაფსულოა, ავირულენტურია. მყარ საკვებ არეზე იგი იძლევა პატარა ზომის, ხორკლიანი ზედაპირის მქონე კოლონიას.

ფ. გრიფითმა დაადგინა, რომ 65°C ტემპერატურაზე გაცხელებით დახოცილი S ფორმის ან ცოცხალი R ფორმის შეყვანა თაგვებში დაავადებას არ იწვევდა, ხოლო S ფორმის ცოცხალი უჯრედები დაავადებას იწვევდა. მოულოდნელი აღმოჩნდა ცდის შედეგი, როდესაც თაგვებში შეპყავდათ დახოცილი S და ცოცხალი R ფორმის ბაქტერიების ნარევი. ისინი ავადდებოდნენ თაგვებს პნევმონიით და მათი ნაწილი იღუპებოდა. დახოცილი თაგვები შეიცავდნენ S ფორმის ბაქტერიებს *(სურ. 7.22)*.

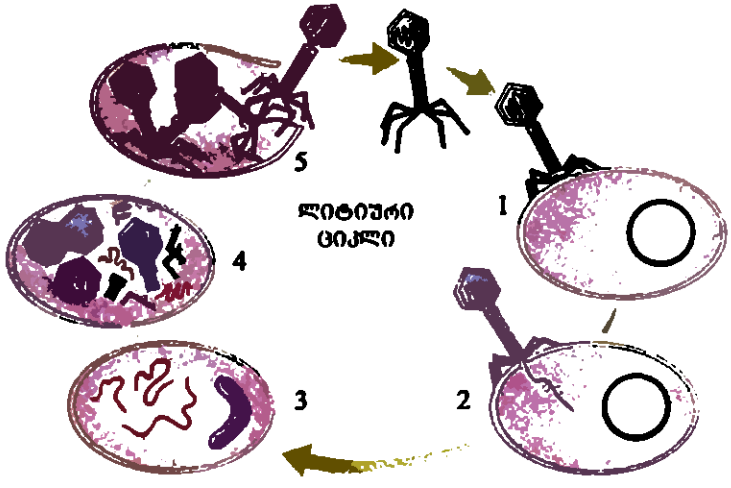
გამოკვლევის შემდეგი ეტაპი დაკავშირებულია ო. ეივერისა და მისი თანამშრომლების გამოკვლევებთან. 1944 წ. მათ დაადგინეს, რომ მატრანსფორმირებელ აგენტს დნმ წარმოადგენს. მართლაც, როდესაც R ფორმის შტამის მოზარდ უჯრედებს უმატებდნენ S შტამიდან გამოყოფილ დნმ-ს, ხდებოდა უჯრედების გარკვეული ნაწილის ტრანსფორმირება. ექსტრაქტის დამუშავება ფერმენტით (დეზოქსირიბონუკლეაზით, რომელიც სპეციფიკურად შლის დნმ-ს) თრგუნავდა აღნიშნულ პროცესს. გამოირკვა, რომ გენეტიკური ინფორმაციის-გენების შემცველი დნმ-ის ფრაგმენტები ადსორბირდებიან R შტამის უჯრედებზე, შემდეგ კი



სურ. 7.22. ტრანსფორმაცია. a. ცოცხალი S-შტამით ვირთაგვები აავადდებიან. b. R-შტამი ვირთაგვებს არ აავადებს. c. თერმული ზემოქმედებით დახოცილი (65°C ტემპერატურა) S-შტამი ვირთაგვებს არ აავადებს. d. თერმული ზემოქმედებით დახოცილი S-შტამისა და ცოცხალი R-შტამის ნარევით ვირთაგვები აავადდებიან.

შედიან უჯრედში. ხდება კროსინგოვერის გზით მათი ჩაშენება (ინტეგრაცია) ბაქტერიის ქრომოსომაში.

ბაქტერიოფაგების გამრავლება. ნუკლეინის მჟავების გენეტიკური როლის დამასაბუთებელ მეორე მნიშვნელოვან არგუმენტს ნარმოადგენს ბაქტერიოფაგის გამრავლება. ა.ჰერშმა და მ.ჩეიზმა 1952 წელს შეისნავლეს T2 ფაგის გამრავლება. იგი ნაწლავის ჩხირის (Escherechia coli-ს) ვირუსია, მცირე ზომისაა, შედგება პექსაგონური ფორმის თავისაგან (მასში მოთავსებულია დნმ-ის მოლეკულა) და გრძელი კუდისაგან. ფაგი გარედან დაფარულია ცილოვანი გარსით — კაფსიდით. კუდი ცილინდრული ფორმისაა და ბოლოვდება ბაზალური ფირფიტით. იგი აღჭურვილია ექვსი კბილაკით, რომლიდანაც გამოდის თითო ფიბრილი. ე.ი. ფაგი ორი მაკრომოლეკულური კომპონენტისაგან ცილისა და დნმ-გან შედგება *(სურ. 4.41).*



სურ. 7.23. ფაგის გამრავლება. 1. ფაგის ფიქსაცია ბაქტერიაზე. 2. ფაგის დნმ-ის შეჭრა ბაქტერიაში. 3. ფაგის დნმ-ის რეპლიკაცია და მრავალი ასლის მიღება. 4. ფაგის ნანილების წარმოქმნა. 5. ბაქტერის ლიზისი და ფაგების გარემოში გამოსვლა.

ცდებში ა. ჰერშმა და მ. ჩეიზმა ბაქტერიოფაგის ცილა მონიშნეს ^{35}S რადიაქტიური იზოტოპით. გოგირდს შეიცავს ცილის შემადგენლობაში შემავალი ორი ამინომჟავა – ცისტეინი და მეთიონინი. დნმ კი მონიშნეს ^{32}P ფოსფორის იზოტოპით. ფოსფორის 99% T2 ფაგის დნმ-შია მოთავსებული. იზოტოპებით მონიშნული ფაგით დაასნებოვნეს ბაქტერიები. საწყისი პერიოდის (ბაქტერიაზე ფაგის ადსორბციის) შემდეგ ფაგები ჩამორეცხვით ჩამოაცილეს ბაქტერიებს. ამდაგვარი პროცედურით ^{35}S-ის 80% სცილდება ბაქტერიებს და ფაგის შემდგომ განვითარებაზე გავლენას არ ახდენს. ^{32}P-ის ძირითადი მასა არ სცილდება უჯრედებს, ვინაიდან უკვე უჯრედშია შეჭრილი.

გამოირკვა, რომ ბაქტერიაზე ფაგის ადსორბციის პროცესში, ეს უკანასკნელი კუდით ემაგრება ბაქტერიის ზედაპირს. კუდზე არსებული ფერმენტი შლის ბაქტერიის გარსის უბანს, ფაგის კუდის შალითა იკუმშება, ცენტრალური მილი იჭრება უჯრედში და ფაგის თავში არსებული დნმ მილის გავლით გადადის ბაქტერიის უჯრედში. ინფიცირებიდან 20 წუთის შემდეგ უჯრედი იშლება და საშუალოდ გამოთავისუფლდება 100-მდე შვილეული ფაგის ნანილაკი *(სურ. 7.23).*

ამ ექსპერიმენტით დამტკიცდა, რომ დნმ-ს აქვს თვითნარმოქმნის უნარი: ბაქტერიულ უჯრედში შედის დნმ-ის ერთი მოლეკულა, ხოლო დაშლილი ბაქტერიიდან გამოდის ფაგის მრავალი ნანილაკი, რომლებიც შეიცავს დნმ-ის თითო მოლეკულას. ამასთან, დნმ შეიცავს მემკვიდრულ ინფორმაციას: დნმ-ში არსებული ინფორმაციის მიხედვით, უჯრედში სინთეზირებულ თითოეულ ფაგს აქვს ისეთივე აგებულებისა და ქიმიური შედგენილობის ცილის გარსი, როგორიც საწყის ნანილაკს.

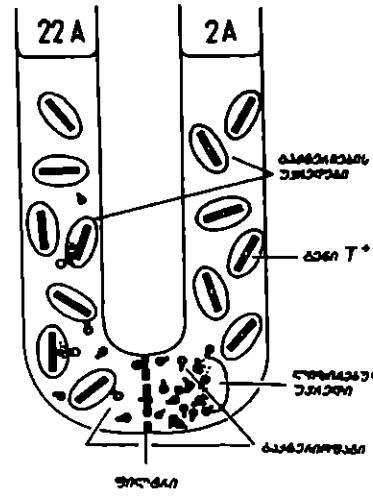
ტრანსდუქცია. დნმ-ის გენეტიკური ფუნქციის სარწმუნო პირდაპირ არგუმენტია ტრანსდუქციის მოვლენა, რომელიც 1951 წ. აღმოაჩინა ნ. ზინდერმა და ჯ.ლედერბერგმა. ტრანსდუქციას უწოდებენ ერთი ბაქტერიული უჯრედიდან ფაგის მეშვეობით მეორეში დნმ-ის მონაკვეთის (გენის) გადატანას. ფაგები ორ კატეგორიად იყოფა: ვირულენტური და ზომიერი. ვირულენტური ფაგი უჯრედში შეჭრისას იწვევს ლიტიკურ რეაქციას. ინფექციური ნანილაკები მრავლდებიან, მწიფდებიან და ფაგის შეჭრიდან 20 წუთის შემდეგ უჯრედს შლიან. ზომიერი ფაგი იწვევს როგორც ლიტიკურ, ისე ლიზოგენურ რეაქციას. ლიზოგენური რეაქციის დროს ფაგი გადადის პროფაგის მდგომარეობაში; ბაქტერიაში შეჭრილი ფაგის დნმ ინტეგრირდება ბაქტერიის ქრომოსომაში და მასთან ერთად სინქრონულად რეპლიცირდება.

ბაქტერიას, რომელიც შეიცავს პროფაგს, *ლიზოგენურს* უწოდებენ. ასეთი ბაქტერია რეზისტენტული ხდება იმ ფაგების მიმართ, რომლებმაც ლიზოგენურობა გამოიწვიეს. ზოგჯერ შეინიშნება ლიზოგენურ ბაქტერიებში ფაგის ინფექციური ნანილაკების მომწიფება და უჯრედის ლიზისი.

ტრანსდუქციის მოვლენა ქვემოაღწერილი ექსპერიმენტით აღმოაჩინეს: U-ს ფორმის მილის (შუაში გამიჯნულია ბაქტერიული ფილტრით) ერთ ნახევარში მოათავსეს სალმონელის Salmonella lyphimurium 22A შტამი (იგი ვერ ახდენდა ტრიპტოფანის (trp-) სინთეზს), ხოლო მეორე მხარეს 2A შტამი, რომელიც ასინთეზებდა ამ ამინმჟავას (trp+).

U-ს მაგვარ მილში ამ ორი შტამის ინკუბაციის შემდეგ 22A შტამი დათესეს მყარ არეზე. გამოირკვა, რომ ზოგიერთმა ბაქტერიულმა უჯრედმა შეიძინა ტრიფტოფანის სინთეზის უნარი. ასეთი უჯრედები 1x105 სიხშირით ნარმოიქმნებოდა. გამოირკვა, რომ 2A შტამის ლიზოგენურ უჯრედებში ფაგის დნმ-ის დეინტეგრაციის დროს ხდებოდა ტრიფტოფანის მასინთეზებელი დომინანტი გენის წარტაცება ბაქტერიის ქრომოსომიდან. ბა-

ქტერიოფაგი თავისუფლად გადიოდა ბაქტერიულ ფილტრში, იჭრებოდა 22A შტამის უჯრედში და მასში შეჰქონდა ქრომოსომის მონაკვეთი, რომელშიც trp+ გენი იყო მოთავსებული. გენეტიკური რეკომბინაციით ხდებოდა ამ მონაკვეთის ინტეგრაცია ბაქტერიულ ქრომოსომაში, რის გამოც ზოგიერთი ბაქტერიული უჯრედი ტრიპტოფანის სინთეზის უნარს იძენდა *(სურ. 7.24)*.

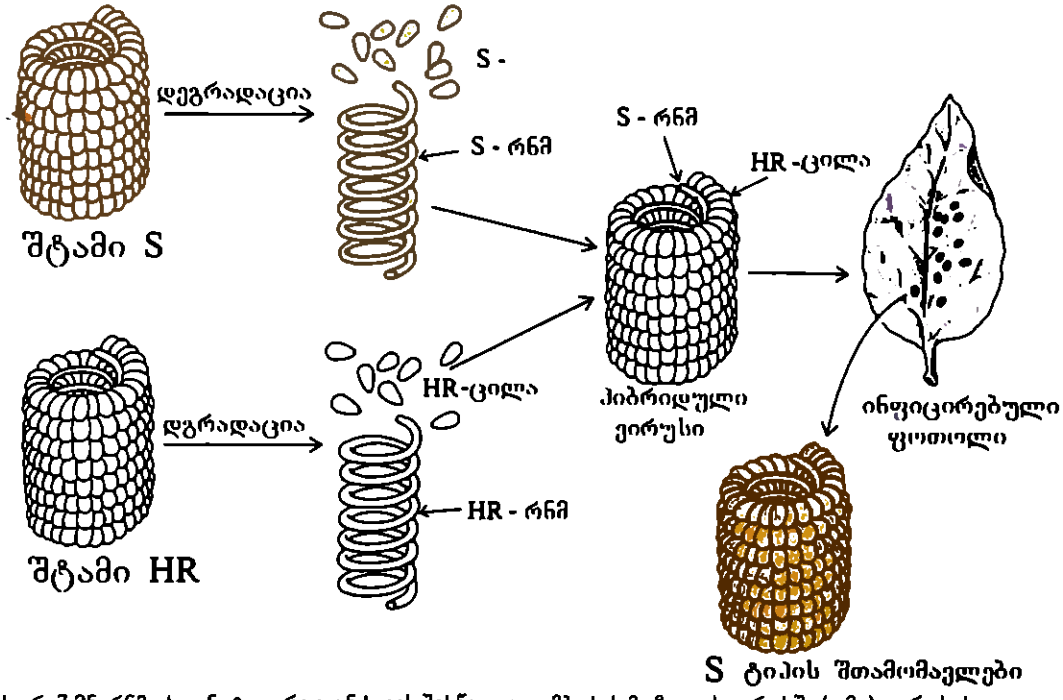


სურ. 7.24. ტრანსდუქციის მოვლენის ამსახველი სქემა. ბაქტერიის 22A შტამი ვერ ახდენს ტრიფტოფანის სინთეზს. 22A შტამი აახდენს ტრიფტოფანის სინთეზს.

რნმ-ის გენეტიკური ფუნქცია. როგორც პრო-, ისე ეუკარიოტულ ორგანიზმებში მემკვიდრული ფუნქციის გენეტიკურ მასალას მხოლოდ დნმ ნარმოადგენს. გამონაკლისია ზოგიერთი ვირუსი (მაგ., თამბაქოს მოზაიკის ვირუსი – თმვ, პოლიომიელიტისა და ენცეფალიტის გამომწვევ ვირუსებში, რეტროვირუსებში, ზოგიერთ ბაქტერიოფაგში მემკვიდრულ ინფორმაციას რნმ შეიცავს).

ცდებით დამტკიცდა, რომ ამ სახის ვირუსებში მემკვიდრულობის ფუნქცია რნმ-თანაა დაკავშირებული. ცდები ჩაატარეს თმვ-ზე. იგი ცილინდრული ფორმისაა, შუაში მოთავსებულია რნმ-ის სპირალურად დახვეული მოლეკულა, ხოლო გარს აკრავს ცილოვანი გარსი. რნმ-ისა და ცილის გარსის დაცილება ადვილად ხდება. თუ თამბაქოს ფოთოლს ვირუსის ცილის ფრაქციით დავამუშავებთ, იგი ინფექციას არ ინვევს. რნმ-ის ფრაქციით დამუშავებისას კი ფოთლებს ნეკროზული ლაქები უჩნდებათ.

თმვ-ის ორი განსხვავებული შტამიდან გ. ფრანკლინ-კონრადმა შექმნა ორი ჰიბრიდული ვირუსი: ერთი სახის ჰიბრიდულ ვირუსს პირველი შტამის გარსი და მეორე შტამის რნმ გააჩნდა, ხოლო მეორე სახის ჰიბრიდულ ვირუსს, პირიქით – პირველი შტამის რნმ და მეორე შტამის ცილა. თამბაქოს ფოთლის დასნებოვნებისას ხდებოდა ვირუსული ნაწილაკების რეპროდუცირება. სინთეზირებული ჰიბრიდები



სურ. 7.25. რნმ-ის გენეტიკური ფუნქციის შესწავლა თამბაქოს მოზაიკის ვირუსში (თმვ). ვირუსის დაყოფა (დეგრადაცია) რნმ-სა და ცილის ფრაქციათ. S და R შტამების რნმ-სა და ცილებისგან ჰიბრიდული ვირუსის რეკონსტრუირება. ინფიცირებულ მცენარიდან მიღებულ შთამომავლობაში კაპსიდის ცილის სტრუქტურას რნმ განსაზღვრავს. ჰიბრიდული თმვ-ის ცილის თვისებები შთამომავლობას არ გადაეცემა.

ახდენდნენ ისეთი შედგენილობის ცილის გარსის სინთეზს, რომლიდანაც იყო აღებული რნმ. ჰიბრიდული შტამების რეპროდუქცია არ ხდებოდა *(სურ. 7.25)*.

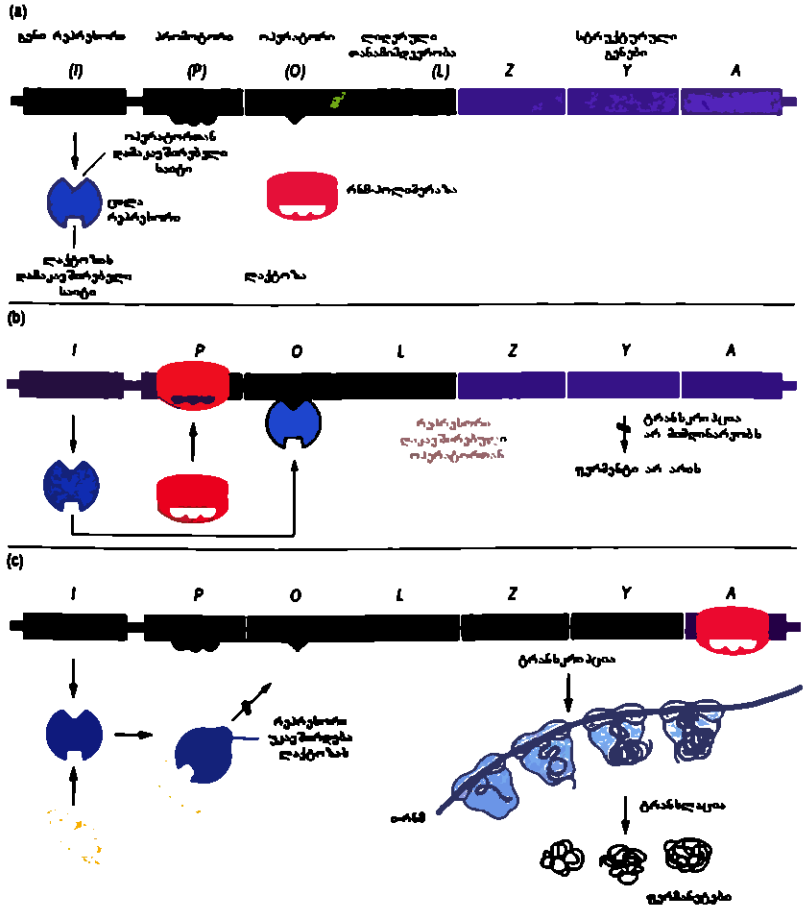
7.5.2 გენის მოქმედების რეგულაცია

მრავალუჯრედიანი ორგანიზმის სომატურ უჯრედებს ქრომოსომათა ერთნაირი კომპლექტი და, ბუნებრივია, ერთნაირი გენები აქვს. მიუხედავად ამისა, მათ სტრუქტურულად და ფუნქციურად განსხვავებული უჯრედები გააჩნიათ. კუჭქვეშა ჯირკვლის ზოგიერთი უჯრედი გამოიმუშავებს ინსულინს, ხოლო ადრენალინის სინთეზს არ ახდენს, თუმცა მისი მასინთეზირებელი გენი მოეპოვება. გამოირკვა, რომ მრავალუჯრედიან ეუკარიოტებში დიფერენცირებულად ხდება გენების ექსპრესია. ერთი ტიპის უჯრედებში გარკვეული გენთა ჯგუფია ექსპრესირებული, სხვა ტიპის უჯრედებში კი – სრულიად სხვა ჯგუფი. ამიტომაც ერთი უჯრედიდან — ზიგოტიდან განსხვავებული სტრუქტურისა და ფუნქციის უჯრედები ყალიბდება. გენთა ექსპრესიის რეგულაციის პროცესში არ ხდება გენოტიპიდან „გამოუყენებელი" გენების ელიმინაცია.

გენები დიფერენცირებულად მოქმედებს პროკარიოტებშიც. ბაქტერია E.coli-ს უჯრედს 4000-მდე განსხვავებული ცილა აქვს. მათ სხვადასხვა გენები აკოდირებს. უჯრედში ყველა იმ სახის ცილის სინთეზი ერთდროულად არ ხდება, რომლის ნარმოქმნაც მას შეუძლია. მაშასადამე, ადგილი აქვს ცილის სინთეზის რეგულაციას.

ბაქტერიაში გენების ერთი ჯგუფი, განუწყვეტლივ ფუნქციონირებს და სინთეზდება (მაგ., გლიკოლიზში მონაწილე) ფერმენტები. ფერმენტებს, რომლებიც ამ გზით სინთეზდება, ***კონსტიტუციურს*** უწოდებენ. გენების მეორე ჯგუფი მოქმედებს მხოლოდ მაშინ, როდესაც უჯრედში არის სათანადო სუბსტრატი (მაგ., ლაქტოზა), სხვა შემთხვევაში გენები რეპრესირებულია. ნიშანდობლივია ფერმენტების ინდუქციური სინთეზი. ამდაგვარ ფერმენტებს ***ინდუცირებადი*** ეწოდება.

პროკარიოტებში გენეტიკური აქტიურობის ყველაზე მარტივი და ეფექტური კონტროლი ტრანსკრიპციის დონეზე ხორციელდება. აღნიშნული ტიპის რეგულაციის კლასიკური მაგალითია გალაქტოზის დამშლელი ფერმენტების სინთეზის რეგულაციის სისტემა. ლაქტოზის შეთვისების გენეტიკური კონტროლი შეისნავლეს ფ. ჟაკობმა და ჟ. მონომ (1961) და ჩამოაყალიბეს ოპერონის თეორია. ამ მოდელის მიხედვით, ლაქტოზის ოპერონი (lac-ოპერონი) ორი, სტრუქტურული და ფუნქციური ნანილისგან შედგება. სტრუქტურულ ნანილში სამი შეჭიდული (Z,Y,A) გენია გაერთიანებული, რომლებიც ფუნქციური ნანილის მარჯვნივაა განლაგებული. Z გენი კოდირებს ფერმენტ β-გალაქტოზიდაზას. იგი ლაქტოზას მონომერებად (გალაქტოზად და გლუკოზად) ხლეჩს. Y გენი კოდირებს ფერმენტ პერმეაზას, რომელიც გარემოდან უჯრედში ლაქტოზას ტრანსპორტს ანხორციელებს. A გენი კოდირებს აცეტილაზას, რომლის ფიზიოლოგიური როლი უცნობია. ვარაუდობენ, რომ მას უჯრედიდან გამოაქვს ლაქტოზის დაშლის შედეგად ნარმოქმნილი ტოქსიკური პროდუქტები.



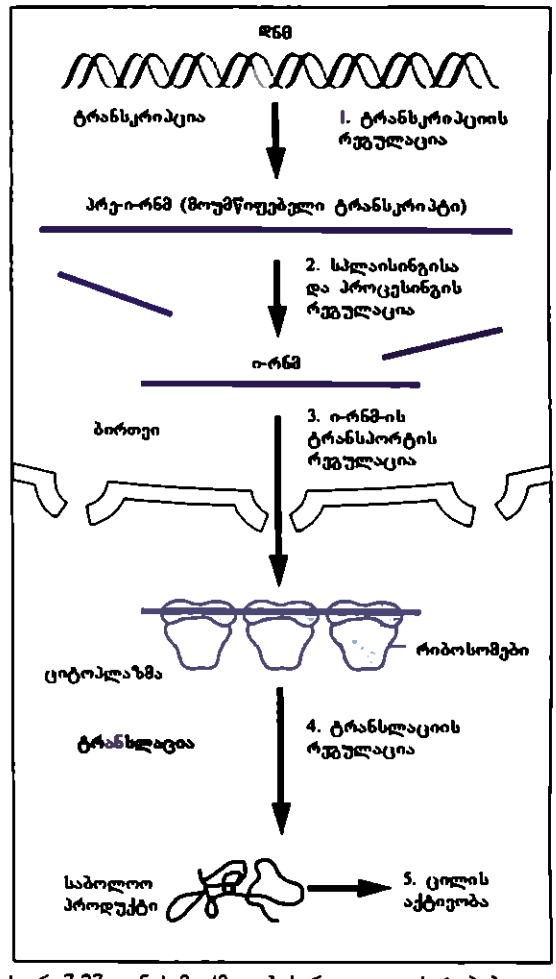
სურ. 7.26. გენის მოქმედების რეგულაცია პროკარიოტებში. a. lac-ოპერონი და რეგულაციაში მონაწილე კომპონენტები. b. როდესაც უჯრედში არ არის ლაქტოზა რეპრესორი დაკავშირებულია ოპერატორთან და ტრასკრიპცია ბლოკირებულია. c. როდესაც უჯრედში არის ლაქტოზა, იგი უკავშირდება რეპრესორს. რეპრესორი სცილდება ოპერატორს და რნმ-პოლიმერაზა ახდენს ტრანსკრიპციას.

ოპერონის ფუნქციური ნანილი პრომოტორისა (P) და ოპერატორს (O) აერთიანებს. ამრიგად, სტრუქტურული გენების (Z,Y,A), პრომოტორისა (P) და ოპერატორის (O) უბნების ერთობლიობა ნარმოქმნის ოპერონს. R – **გენი-რეგულატორი** (I - რეპრესორი) ამ სისტემის მნიშვნელოვანი

კომპონენტია. ჩვეულებრივ, იგი ოპერონის გარეთაა ლოკალიზებული, თუმცა ზოგჯერ შესაძლებელია ოპერონის შემადგენლობაშიც შედიოდეს. სტრუქტურული გენების ექსპრესიაში R – გენი-რეგულატორი (I - რეპრესორი) მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. იგი ალოსტერულ რეპრესორულ ცილას კოდირებს. (ალოსტერულია ცილა, რომლის აქტივობაც სხვა მოლეკულებით, ამ კონკრეტულ შემთხვევაში ლაქტოზით რეგულირდება. როდესაც ლაქტოზა უკავშირდება რეპრესორს, ამ უკანასკნელს კონფორმარაცია და, შესაბამისად, თვისებები ეცვლება).

ავტორების შეხედულებით, სტრუქტურული გენების მოქმედება ოპერატორით (O) რეგულირდება. იგი განსაზღვრავს სტრუქტურული გენების ექსპრესიის ხარისხს და ასრულებს ორ ფუნქციას: მისგან იწყება დნმ-ის მოლეკულის ერთი ჯაჭვის გასწერივ ი-რნმ-ის სინთეზი და, მეორე მხრივ, ურთიერთქმედებს ცილა რეპრესორთან. დნმ-ის პრომოტორულ (P) უბანთან ფერმენტი რნმ-პოლიმერაზა არის დაკავშირებული *(სურ. 7.26)*

რეგულატორული გენის მოქმედების ეფექტი გარემოზეა დამოკიდებული. E.coli-თვის ნახშირბადის ერთადერთი წყარო შაქრებია. როდესაც გარემოში არ არის ლაქტოზა, ცილა-რეპროსორი დაკავშირებულია ოპერატორთან და ტრანსკრიფცია რეპრესირებულია. ნაწლაქის ჩხირი ლაქტოზიან არეში მოხვედრისას შაქარს მაშინვე ვერ შლის და, ბუნებრივია, ვერ მრავლდება. გარკვეული დრო სჭირდება ადაპტაციას. ეს პერიოდი ფერმენტების ინდუქციურ სინთეზს ხმარდება. ინდუქტორი (ლაქტოზა) მტკიცედ უკავშირდება რეპრესორს და ეს უკანასკნელი ნყდება ოპერატორს. აღმოჩნდა, რომ რეპრესორს მოეპოება ინდუქტორისა და ოპერატორის დაკავშირების ცენტრები. ინდუქტორის დაკავშირებისას ცილა-რეპრესორის კონფორმაცია ისე იცვლება, რომ ოპერატორი ვეღარ შეიცნობს დაკავშირების საკუთარ ცენტრს რეპრესორზე და ეღარ უკავშირდება. მიმდინარეობს ტრანსკრიფცია. სინთეზირებული ი-რნმ სამივე (Z,Y,A) ფერმენტის ინფორმაციას ფლობს.



სურ. 7.27. გენის მოქმედების რეგულაცის ტიპები ეუკარიოტებში.

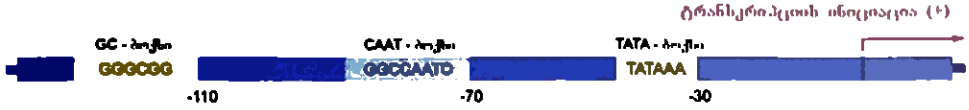
lac-რეპრესორი წარმოადგენს ნეგატიური რეგულატორის ტიპურ მაგალითს. lac-ოპერონში სტრუქტურული გენების ექსპრესია პოზიტიური რეგულაციის გზითაც კონტროლდება. მისი მოქმედება გლუკოზით რეგულირდება. უნდა აღინიშნოს, რომ თვით გლუკოზა არ ნარმოადგენს ინპიბიტორს. გლუკოზის ეფექტზე პასუხისმგებელია შუამავალი მოლეკულა c-AMP (ციკლური ადენოზინმონოფოსფატი). უჯრედში მისი შემცველობა რეგულირდება ორი ფერმენტით: სინთეზი – ადენილატციკლაზათი, ხოლო დეგრადაცია – ფოსფოდიესთერაზათი. გლუკოზის თანაობისას უჯრედში შეინიშნება c-AMP-ის დაბალი, ხოლო გლუკოზის არარსებობისას – მაღალი დონე. ე. ი. c-AMP-ს კონცენტრაციის შემცირებით გლუკოზის კატაბოლიზმის პროდუქტი თრგუნავს ლაქტოზის მეტაბოლიზმის ფერმენტების ინდუქციას (ამ მოვლენას ***კატაბოლური რეპრესია*** ეწოდება).

გენის ექსპრესიის კონტროლი ეუკარიოტებში გაცილებით რთულია. მათ ეოლუციის პროცესში გენის ექსპრესიის რეგულაციის ნაირგვარი გზა ჩაოუყალიბდათ. 1. ეუკარიოტული უჯრედი პროკარიოტებისაგან განსხვავებით დიდი რაოდენობით შეიცავს დნმ-ს. ეს უკანასკნელი დაკავშირებულია ცილა-ჰისტონებთან და ქმნის სპირალურ ძაფისებურ კომპლექსს — ქრომატინს. გენის ტრასკრიპცია მხოლოდ დესპირალიზებულ მდგომარეობაში ხორციელდება. ამრიგად გენის ექსპრესიის რეგულაცია ქრომატინის დონეზე ხორციელდება.

2. ეუკარიოტებში ტრანსკრიპციისა და ტრანსლაციის პროცესი დროსა და სივრცეში გამიჯნულია. ბირთვში მიმდინარეობს ტრანსკრიპცია, შემდეგ ტრანკრიპტი (ი-რნმ) ტრანსპორტირდება ციტოპლაზმაში, სადაც ტრანსლაციის პროცესი ხორციელდება. გენის ექსპრესიის რეგულაცია მიმდინარეობს როგორც, ტრანსკრიპციის, ისე ტრანსლაციის დონეზე.

3. ბირთვში ხორციელდება დნმ-ზე სინთეზირებული პრე-რნმ-ის მოდიფიცირდება (სპლაისინგი). პრე-რნმ-დან ფერმენტებით ინტრონული უბნების ამოკვეთა ხდება, რის შედეგად მოლეკულა მნიშვნელოვნად მოკლდება. გენის ექსპრესიის რეგულაცია ხორციელდება სპლაისინგის დონეზე (ე. წ. პოსტტრასკრიპციული კონტროლი).

4. პროკარიოტულ უჯრედში ი-რნმ ტრანსლაციის დასრულებისთანავე იშლება, ეუკარიოტებში კი არა.



სურ. 7.28. პრომოტორის ორგანიზაცია (ეუკარიოტის გენომი). იგი შეიცავს სამ მოდულატორულ ელემენტს TATA - ბოქსს, CAAT - ბოქსს და GC - ბოქსს, რომელთაც უკავშირდება II რნმ-პოლიმერაზა.

5. ეუკარიოტების უმრავლესობა მრავალუჯრედიანი ორგანიზმია. მათ დიფერენცირებული უჯრედები აქვთ, რომლებიც განსხვავებულ ფუნქციას ასრულებენ. მიუხედავად იმისა, რომ კონკრეტული ორგანიზმის სხვადასხვა ქსოვილის უჯრედს ეთნაირი გენთა კომპლექტი აქვთ, ისინი მორფო-ფუნქციურად განსხვავდებიან. ამ განსხვავებას გენთა სხვადასხვა ჯგუფის ექსპრესია განაპირობებს. ჩამოთვლილი პროცესებიდან ნათელია, რომ ეუკარიოტებში გენის ექსპრესიის რეგულაციის სხვადასხვა მექანიზმი მოქმედებს *(სურ. 7.27).* იგი შეიძლება განხორციელდეს ტრანსკრიპციის, სპლაისინგის, ტრანსლაციის და სინთეზირებული ცილების ფუნქციონირების, აგრეთვე ქრომატინის კონფორმაციის ცვლილების დონეზე.

ეუკარიოტულ უჯრედში ბირთვულ გენებს სხვადასხვა ტიპის მარეგულირებელი ელემენტი (მაგ., პრომოტორი, ენხანსერი და მისთ.) მოეპოვებათ, რომლითაც ტრანსკრიპციის პროცესი კონტროლირდება. ზოგჯერ მარეგულირებელი ელემენტი უშუალოდ გენში იმყოფება, ზოგჯერ გენის გარეთ (მეზობლად ან საკმაოდ დაცილებით). ეუკარიოტული გენის პრომოტორს გააჩნია სპეციფიკური მოდულატორული უბნები, რომელსაც II რნმ-პოლიმერაზა ამოიცნობს და უკავშირდება. სასტარტო წერტილიდან დაშორებით (25-30 ნ.წ.) მოთავსებულია ე. წ. TATA— ბოქსი. ამის გარდა მნიშვნელოვანია CAAT და GC- ბოქსები *(სურ. 7.28)* სხვადასხვა გენის პრომოტორი განსხვავდება მოდულატორული უბნების რიცხვით, ორიენტაციითა და ურთიერთგანლაგებით. ეუკარიოტული გენების ტრანსკრიპციაში სხვა ფერმენტებიც მონაწილეობს, კერძოდ I რნმ-პოლიმერაზა (ტრანსკრიპირებს რიბოსომულ გენებს) და III რნმ-პოლიმერაზა (ტრანსკრიპირებს ტრასპორტული რნმ-ის გენებს). იმ პრომოტორებს, რომლებსაც ეს ფერმენტები უკავშირდებიან განსხვაბული მოდულატორული უბნები აქვთ. თითქმის ყველა გენის ტრასკრიპციაზე ზემოქმედებს და მნიშნელოვნად აჩქარებს პროცესს დამატებითი მარეგულირებელი ელემენტი – **ენხანსერი**. იგი არის დნმ-ის მცირე უბანი, რომელიც სპეციფიკურ ცილებს იკავშირებს.

გენის ექსპრესიის რეგულაცია ხორციელდება სტეროიდული ჰორმონებით. იგი **სამიზნე—უჯრედის** პლაზმურ მემბრანის ცილებს უკავშირდება და გადაიტანება ციტოპლაზმაში. ჰორმონი უკავშირდება ციტოპლაზმაში არსებულ სპეციფიკურ **ცილა-რეცეპტორებს** და იქმნება კომპლექსი ,,ცილა –ჰორმონი''. იგი გაელენას ახდენს კონკრეტული გენის ტრანსკრიპციაზე ან ტრანსლაციაზე. ამდაგვარი კომპლექსი არის სპეციფიკური მოქმედების. მაგ., ადრენალინი კუნთის ბოჭკოში ჩართავს მხოლოდ იმ გენებს რომლებიც, გლიკოგენის დამშლელ ფერმენტებს ასინთეზებენ. სხვა ჰორმონი, კერძოდ, ინსულინი ღვიძლის უჯრედებში აამოქმედებს კონკრეტულ გენებს, რომლის საბოლოო პროდუქტები (ფერმენტები) გლუკოზას გლიკოგენად გარდაქმნიან.

7.5.3 გენის ნატიფი აგებულება

გენი არის გენეტიკური ინფორმაციის სტრუქტურული ერთეული, რომელიც ფუნქციურად აღარ იყოფა. იგი წარმოადგენს დნმ-ის (ზოგიერთ ვირუსებში რნმ-ის) მონაკვეთს, რომელიც კოდირებს საინფორმაციო, რიბოსომულ ან სატრანსპორტო რნმ-ს. ცნება ,,გენი" 1909 წელს შემოიღო ვ. იოჰანსმა. გენის თეორია დაამუშავეს თ. მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა. მათი შეხედულებით, გენი არის ფუნქციის, რეკომბინაციისა და მუტაციის ელემენტარული ერთეული.

გენის შესწავლაში მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ჯ. ბიდლისა და ე. ტატუმის გამოკვლევებმა (1941). მათ პურის ობის სოკოში (N.crassa) რენტგენის სხივების ზემოქმედებით ბიოქიმიური (აუქსოტროფული) მუტაციები მიიღეს. ისინი ზოგიერთი ნივთიერების (ამინომჟავები, ვიტამინები და მისთ.) სინთეზს ვერ ახდენენ. მუტანტების ანალიზმა ცხადყო, რომ კონკრეტული გენის მუტაცია, კოდირებული ფერმენტის ინაქტივაციას იწვევდა, ხოლო ნივთიერების მეტაბოლიზმის ჯაჭვში შესაბამისი რგოლი ითრგუნებოდა. აქედან გამომდინარე, მათ ჩამოაყალიბეს პრინციპი: ,,ერთი გენი — ერთი ფერმენტი". გენის მიერ კოდირებული ცილა ყოველთვის არ არის ფერმენტი, ხოლო მეოთხეული სტრუქტურის ცილა ორი და მეტი სუბერთეულისგან შედგება. ამიტომ ამ დოგმამ შემდეგი სახე მიიღო: ,,ერთი გენი – ერთი პოლიპეპტიდი". ამჟამად იგი მხოლოდ პროკარიოტებზე ვრცელდება. ეუკარიოტებში *ალტერნატული* სპლაისინგით ერთი და იმავე პრე-ირნმ-დან რამდენიმე განსხვავებული ი-რნმ ყალიბდება. მაშასადამე, ერთი გენით რამდენიმე განსხვავებულ პოლიპეპტიდი კოდირდება.

საეტაპოდ არის მიჩნეული ს. ბენზერის მიერ T4 ფაგზე ჩატარებული (1966) გამოკვლევები. გენის ნატიფი სტრუქტურის გამოკვლევებმა სათავე დაუდო გენეტიკაში მოლეკულური ერთეულების გამოყენებას. გამოირკვა, რომ მუტაციის ერთეული (*მუტონი*) ერთ წყვილ ნუკლეოტიდს შეადგენს, ე. ი. გენში ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის ცვლილება იწვევს მუტაციას. რეკომბინაციის ერთეული (*რეკონი*) ორი წყვილი ნუკლეოტიდის ტოლია. უბნების გაცვლა, რომელიც შეიძლება კროსინგოვერის დროს გენის შიგნით განხორციელდეს, ორი წყვილი ნუკლეოტიდის ტოლია. ფუნქციური ერთეული *ცისტრონი* რამდენიმე ათეული ნუკლეოტიდური წყვილის ტოლი აღმოჩნდა.

საბოლოოდ დადგენილია, რომ გენი წრფივად განლაგებული დისკრეტული უბნებისაგან შედგება. მასში

მარეგულირებელ და სტრუქტურულ ნაწილს გამოყოფენ. გენის სტრუქტურული ნაწილი იწყება ტრანსკრიფციის სასტარტო წერტილით და შედგება კოდირებადი მონაკვეთის (შეიცავს ინფორმაციას ცილის სტრუქტურის შესახებ) და ტერმინატორისგან (მონაკვეთი რომელიც ტრანსკრიფციას წყვეტს). ტრანსკრიფციის სასტარტო წერტილიდან მარცხნივ მოთავსებულია მარეგულირებელი ნაწილი. პრომოტორის უბანს პროკარიოტებში რნმ-პოლიმერაზა, ხოლო ეუკარიოტებში – ტრასკრიფციული კომპლექსი უკავშირდება.

გენის კოდირებად მონაკვეთზე ტრანკრიფციას (ი-რნმ-ის სინთეზი) გენის ექსპრესია ეწოდება. პროკარიოტებში ყველა სახის რნმ-ის (ი-რნმ, რ-რნმ, ტ-რნმ) სინთეზში ერთი სახის რნმ-პოლიმერაზა მონაწილეობს. ეუკარიოტებში სამი სხვადასხვა სახის რნმ-პოლიმერაზა ახორციელებს სხვადასხვა ტიპის რნმ-ის სინთეზს.

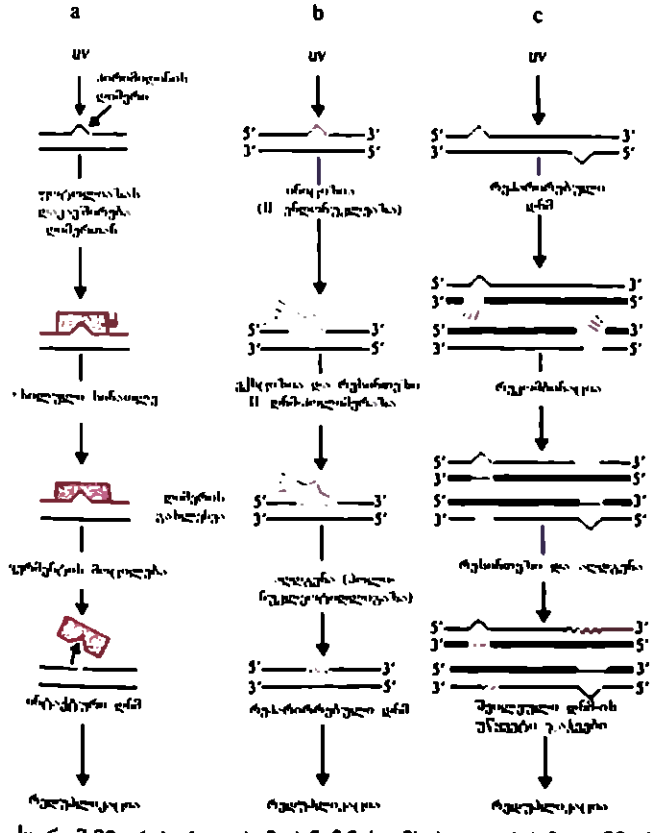
პროკარიოტებს გააჩნიათ ერთ წრიული ქრომოსომა. გენები ოპერონებად (ტრანსკრიფციის მარეგულირებელი ერთეული) არიან დაჯგუფებული. ოპერონში სტრუქტურული გენები გარკვეული წესით არის განლაგებული. ისინი აკოდირებს ფერმენტებს, რომლებიც თანმიმდევრულად სინთეზის ან დაშლის მეტაბოლურ რეაქციებს ნარმართავს. სტრუქტურული გენების ექსპრესია საერთო მარეგულირებელი სისტემით კონტროლდება. მათი ჩართვა და გამორთვა კოორდინირებულად ხორციელდება. პროკარიოტებში ცალკეულ გენში ნარმოდგენილი გენეტიკური ინფორმაცია მარტივად რეალიზდება. ტრანსკრიპტი (ი-რნმ) ერთიან ინფორმაციას ფლობს და მთლიანად ტრანსლირდება. უჯრედის მეტაბოლიზმში გენი, როგორც წესი, მხოლოდ ერთ ფერმენტულ რეაქციას აკონტროლებს.

ეუკარიოტებში ერთი და იმავე მეტაბოლიზმის გზის სხვადასხვა ეტაპის მაკონტროლებელი გენები ოპერონისმაგვარ დაჯგუფებას არ ქმნის. ისინი, ჩვეულებრივ, შემთხვევით არიან გაბნეული ქრომოსომებში. ეუკარიოტებში ხშირად გვხვდება მულტიფერმენტული კომპლექსის მაკონტროლებელი გენები ე. წ. გენი-კლასტერები. ეუკარიოტულ ორგანიზმებში გენი არის **მოზაიკური** ანუ **ინტრონ-ეგზონური** სტრუქტურის. ამრიგად, გენი შეიცავს ინფორმაციულ (ეგზონი) და არაინფორმაციულ (ინტრონი) თანამიმდევრობებს. სინთეზირებული **პრე-ი-რნმ.** ერთიან ინფორმაციას ფლობს. პრე-ი-რნმ-დან საბოლოო პროდუქტის – მომწიფებული ი-რნმ-ის ჩამოყალიბება **პროცესინგი** — (რნმ-ის პოსტტრასკრიფციული მოდიფიცირება) რთული პროცესია. მიმდინარეობს **სპლაისინგი,** კერძოდ პრე-ი-რნმ-დან ინტრონების ამოჭრა და ეგზონების ურთიერთდაკავშირება. პროცესინგი ბირთვში მიმდინარეობს.

7.5.4 რეპარაცია

დნმ-ის სტაბილურობას უჯრედის სპეციფიკური რეპარაციული სისტემა განაპირობებს. დნმ-ში დაზიანების აღდგენა (რეპარაცია) სხვადასხვა სისტემებით ხორციელდება. დაზიანებათა უმეტესობის კორექცია დნმ-ს რეპლიკაციამდე (მაგ. ფოტორეაქტიულობა, ექსციზიური რეპარაცია), ზოგიერთის კი – რეპლიკაციის შემდეგ (მაგ. რეკომბინაციული რეპარაცია) მიმდინარეობს. ულტრაიისფერი სხივებით ზემოქმედებისას დნმ-ის ერთი ჯაჭვის მეზობელ პირიმიდინის ფუძეებს შორის ნარმოიქმნება დიმერები (უფრო ხშირად T-T დიმერი). ეს დაზიანება აღდგება ხილული სინათლით (ფოტორეაქტიულობა). ამასთან, რეპარაციული ფერმენტი ხლეჩს დიმერს და კომპლემენტურ ჯაჭვს ნორმალურ სტრუქტურას უბრუნებს.

ექსციზიური (ლათინ. excisio — ამოკვეთა) რეპარაციის დროს დნმ-დან დაზიანებული უბანი ამოიკვეთება. ფოტორეაქტიულობა და ექსციზიური *რეპარაცია* შეცდომების გარეშე მიმდინარეობს და მუტაცია ეელარ ყალიბდება. ექსციზიური რეპარაცია მრავალსაფეხურიანი რთული ფერმენტული პროცესია. ცალკეული საფეხური დაფუძნებულია მარტივ ფერმენტულ რეაქციებზე. კარგად არის შესწავლილი პირიმიდინის დიმერების ამოკვეთის მექანიზმი. იგი შეიცავს შემდეგ ეტაპებს: 1. დაზიანებული უბნის მოძიება; 2. დიმერის ახლოს ერთი ჯაჭვის გახლეჩა; 3. დაზიანებული უბნის ამოკვეთა; 4. კომპლემენტური ჯაჭვის მიხედვით დნმ-ის დაზიანებული უბნის რესინთეზი; 5. რესინთეზირებული მონაკვეთის ჩაშენება დნმ-ს გარლვეულ ადგილას და ერთიანი წრფიეი სტრუქტურის აღდგენა. *(სურ. 7.29)*



სურ. 7.29. რეპარაციის მექანიზმის ამსახველი სქემა. დნმ-ის სტრუქტურის პოსტრადიაციული (ულტრაიისფერი სხივების - UV ზემოქმედების შემდგომი) რეპარაცია. a - ფოტორეაქტიულობა; b - ექსციზიური რეპარაცია. c- რეპლიკაციის შემდგომი რეპარაცია.

7.5.5 გენური ინჟინერია

დნმ-ის შესწავლის მეთოდებიდან განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ის მეთოდები, რომელთაც სხვადასხვა ბუნებისა და წარმოშობის დნმ-ის ფრაგმენტებისგან ახალი ტიპის მოლეკულების კონსტრუირება ხორციელდება. მათ ხშირად რეკომბინანტულ დნმ-ს უწოდებენ, ხოლო მანიპულაციებს გენებზე - ახალი გენეტიკური სტრუქტურების კონსტრუირების მიზნით - გენურ ინჟინერიას. ამ მეთოდებს ერთნაირი წარმატებით იყენებენ, როგორც პროკარიოტების, ასევე ეუკარიოტების მიმართ, თუმცა მათი შესაძლებლობები უფრო აშკარად ვლინდება ეუკარიოტული გენომების შესწავლისას. ამ მეთოდებს საფუძვლად უდევს რესტრიქციის ფერმენტების უნარი – დახლიჩოს დნმ-ის მოლეკულა მცირე ფრაგმენტებად, შემდეგ კი გამოყოფენ სასურველ ფრაგმენტს და ახდენენ მის კლონირებას.

რესტრიქციის ფერმენტები ენდონუკლეაზებია, მათი ბიოლოგიური როლი დნმ-ის ორმაგი სპირალის ორივე ჯაჭვის გაკვეთაში მდგომარეობს. მათი საშუალებით შესაძლებელია ქრომოსომების სტრუქტურის კვლევა, დნმ-ის გიგანტურ მოლეკულაში ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობების განსაზღვრა და, რაც მთავარია, გენური ინჟინერიისათვის, კლონირებისათვის დნმ-ის ახალი მოლეკულების კონსტრუირება.

მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ რესტრიქციის ფერმენტების სამიზნეს ფუძეების წყვილების გარკვეული მოკლე სპეციფიკური თანმიმდევრობა (პალინდრომი) წარმოადგენს. ამასთან, ამ ფერმენტების უმრავლესობა შეიცნობს ფუძეების ოთხიდან ექვსამდე წყვილის სიგრძის დნმ-ის თანმიმდევრობებსა და ორივე ჯაჭვის ამ უბანში ხლეჩს ბმებს.

დღეისათვის გამოყოფილია და დახასიათებულია 3000-მდე რესტრიქციული ფერმენტი, რომელიც დნმ-ის 200-ზე მეტ სპეციფიკურ უბაზე ზემოქმედებს და კვეთს. ფერმენტის სახელწოდება მიკროორგანიზმის სახეობისა და გვარის შემოკლებული დასახელებიდან წარმოებული სამი ასოს (მაგ., Eco-E.coli-გან, Hin-Haemophilus influenzae-გან), შტამის (EcoR) და რომაული ციფრის (იმ შემთხვევაში, თუ შტამში არის რამდენიმე ასეთი ფერმენტი) კომბინაციიდან წარმოდგება. შესაცნობი ნუკლეოტიდური თანმიმდეერობის ხასიათზე, გახლეჩის ადგილზე და რეაქციის პირობებზე დამოკიდებულებით რესტრიქტაზები სამ კლასად იყოფა: I, II და III ტიპის.

დნმ-ის კლონირება შესაძლებელია ბაქტერიული პლაზმიდებისა და ფაგების გასაოცარი უნარის გამოისობით – მათ გენომში დნმ-ის დამატებითი თანმიმდეერობების ჩართვის შემდეგ ისინი ინარჩუნებს ნორმალური ფუნქციონირების უნარს. ჩართვა ინვევს ჰიბრიდული ან ქიმერული პლაზმიდებისა და ფაგების წარმოქმნას, რომლებიც შედგება საკუთარი გენომისა და ჩართული ,,უცხო" დნმ-ის თანმიმდეერობებისაგან. ასეთი ჰიბრიდული თანმიმდეერობები ბაქტერიებში რეპლიცირდება ზუსტად ისევე, როგორც საწყისი პლაზმიდები ან ფაგები და ამიტომ შეიძლება მათი დიდი რაოდენობით მიღება. ჩანერგილი ფრაგმენტების ასლები შემდეგ შეიძლება შვილეული უჯრედებიდან ისევ გამოვყოთ. იმის გამო, რომ ,,უცხო" თანმიმდეერობების ჩართვა ძირითადად არ ახდენს გავლენას ქიმერული შტამების თვისებებზე, ამიტომ ასეთი მეთოდით დნმ-ის ნებისმიერი თანმიმდევრობის კლონირება შეიძლება, ე. ი. ფაგი ან პლაზმიდა უზრუნველყოფს ,,უცხო" დნმ-ის, როგორც გენომის ინერტული ნაწილის, გადატანას, ამიტომ მათ ხშირად უწოდებენ კლონირებად ვექტორებს.

გენების კლონირებისა და ექსპრესიის მეთოდები გამოყენებულია ბიოტექნოლოგიაში. მათ ფართო ალიარება ჰპოვეს მედიცინაშიც. ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები, რომელთა მიღება მხოლოდ ძალიან მცირე რაოდენობით შეიძლებოდა, დღეს დიდი რაოდენობით მიიღება და გამოიყენება დაავადებათა მკურნალობისათვის. მაგ., ინსულინი, რომელიც მიიღება E.coli-ში ჩართული ადამიანის ინსულინის გენის საშუალებით, გამოცადეს ადამიანებზე. იგი ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო აღმოჩნდა. თუ ადრე ინტერფერონები მიიღებოდა ადამიანის ლეიკოციტებიდან მცირე რაოდენობით, ამჟამად მისი წარმოება მიმდინარეობს რეკომბინანტული დნმ-ის ტექნოლოგიის საფუძველზე. ამ უკანასკნელის გამოყენებით მიიღება, აგრეთვე, ზრდის ჰორმონი და სხვადასხვა ვაქცინა. *(დამატებით იხ. თავი 10.2)*

7.5.6 უჯრედული ინჟინერია

მეთოდების სხვა ჯგუფი, რომელიც გამოყენებულია უჯრედულ ინჟინერიაში საშუალებას იძლევა მივიღოთ შიდასახეობრივი და სახეობათაშორისი ჰიბრიდები. მუშაობა მიმდინარეობს როგორც მცენარეული, ასევე ცხოველური უჯრედების კულტურებზე.

უჯრედების შერწყმის პროცესი ზოგადი მოვლენაა და იგი შეიძლება ინდუცირებული იყოს ცხოველურ უჯრედებში, მცენარეების პროტოპლასტებსა და მიკროორგანიზმებში. პროტოპლასტების (მემბრანით შემოფარგლული ციტოპლაზმური წარმონაქმნები შიდაუჯრედული ორგანოიდებით) შერწყმის ინდუქციის მეთოდების შემუშავებამ დასაბამი მისცა მცენარეთა ჰიბრიდიზაციის --- პარასექსუალური ანუ სომატური ჰიბრიდიზაციის ძალზე საინტერესო და პერსპექტიულ მეთოდს. ამ მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ საწყის მასალად გამოიყენება არა სასქესო უჯრედები (გამეტები), არამედ მცენარის სხეულის (ვეგეტატიური) უჯრედები, რომლებიდანაც ღებულობენ პროტოპლასტებს (არ გააჩნიათ უჯრედის კედელი). სქესობრივი შეჯვარებისაგან განსხვავებით (ჰიბრიდს მხოლოდ დედის ციტოპლაზმა აქვს), სომატური ჰიბრიდიზაციის დროს წარმოქმნილ ჰიბრიდს ორივე პარტნიორის ციტოპლაზმა გააჩნია.

მცენარეთა ქსოვილების კულტურების საშუალებით შეიძლება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ჯიშების გაუმჯობესება: დაავადებისა და გარემოს არახელსაყრელი პირობების მიმართ მათი მდგრადობის, საქაროზისა და სახამებლის შემცველობისა და მოსავლიანობის ზრდა. ამ მეთოდით შეიძლება პროდუქტიული მერქნიანი ჯიშების გამოყვანა და სხვ.

უჯრედების შერწყმის გზით, ძუძუმწოვრების უჯრედების შიდასახეობრივი ან სახეობათაშორისი ჰიბრიდების მიღება მეთოდურად უფრო ადვილია, ვიდრე მიკროორგანიზმების ან მცენარეების. ეს განპირობებულია ძუძუმწოვრების უჯრედებში უჯრედული კედლის უქონლობით.

ძუძუმწოვრების უჯრედების შერწყმის ერთ-ერთი მეთოდი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება ბიოტექნოლოგიაში. ეს არის უჯრედული ხაზები (ე. წ. „ჰიბრიდომები"), რომლებიც მიღებულ იქნა მიელომის (სიმსივნური) და ანტისხეულების გამომმუშავებელი უჯრედების ჰიბრიდიზაციის შედეგად. მათი საშუალებით აწარმოებენ მონოკლონურ ანტისხეულებს. მეთოდი, რომელიც შემუშავდა კემბრიჯში ც. მილშტეინისა და სხვათა მიერ (1975 წ.), დაფუძნებულია მიელომის უჯრედებთან შერწყმის გზით ანტისხეულების მწარმოებელი „უკუდაეი" უჯრედების შექმნაზე.

მონოკლონური ანტისხეულები გამოიყენება ადამიანის სხვადასხვა დაავადების დიაგნოსტიკასა და თერაპიაში. მაგ. სიმსივნის ანტიგენების მიმართ ანტისხეულები (ტოქსინებთან კოვალენტურად დაკავშირებულებს მათ იმუნოტოქსინებს უწოდებენ) შეიძლება გამოეიყენოთ ადამიანის ორგანიზმში სიმსივნური უჯრედების გასანადგურებლად *(იხ. თავი 10)*.

7.6 ადამიანის გენეტიკის საკითხები

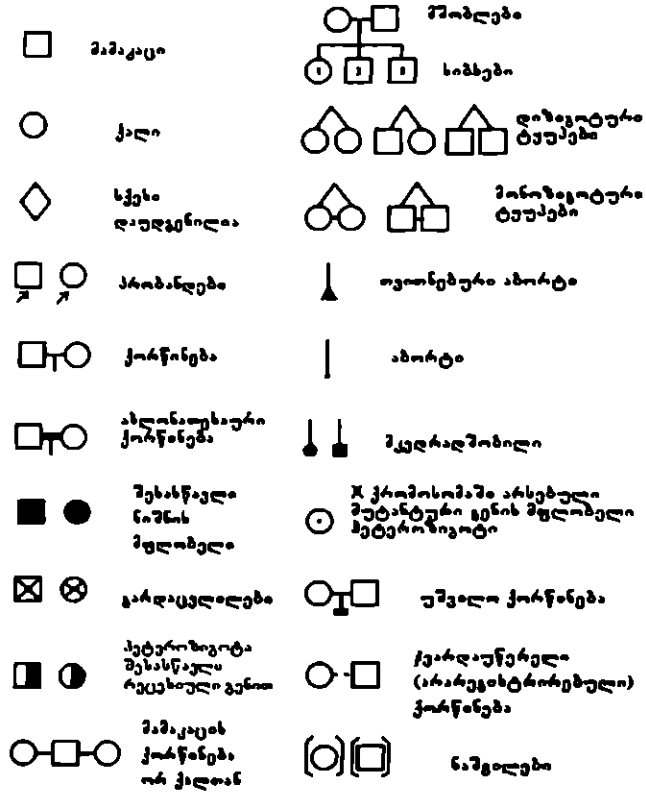
ადამიანის გენეტიკურ შესწავლას დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ის ფუნდამენტური დარგია, ვინაიდან ჩვენთვის ყველაზე მნიშვნელოვან, განვითარების უმაღლეს საფეხურზე მდგომ ობიექტში – ადამიანში სწავლობს მემკვიდრეობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებებს. ამდენად, მიღებულ შედეგს აქვს ზოგადგენეტიკური მნიშვნელობა. ადამიანის გენეტიკის გამოყენებითი მნიშვნელობა იმით გამოიხატება, რომ მოპოვებული მიღწევები მედიცინაში ინერგება. ამდენად, ადამიანის გენეტიკა თანამედროვე მედიცინის ერთ-ერთი თეორიული საფუძველია.

ადამიანის გენეტიკას საფუძველი ჩაუყარა ფრენსის გალტონმა, 1865 წელს გამოქვეყნებული ნაშრომით „ნიჭისა და ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობა". იგი სტატისტიკური მეთოდებით იკვლევდა ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობას ადამიანში და ჩამოაყალიბა მიმართულება – ***ევგენიკა***, რაც მიზნად ისახავდა ადამიანთა მოდგმის გაუმჯობესებას. 1876 წელს ადამიანის გენეტიკაში მან შემოიტანა ***ტყუპთა მეთოდი***. გალტონმა პირველმა შეისწავლა ადამიანის იდენტიფიკაციის შესაძლებლობა თითის ანაბეჭდებით, შექმნა ***დაქტილოსკოპიისა*** და ***დერმატოგლიფიკის*** მეთოდოლოგია.

7.6.1 ადამიანის გენეტიკის თავისებურება და კვლევის მეთოდები

ადამიანის გენეტიკაში იყენებენ კლასიკურ ტრადიციულ და უახლეს მეთოდებს. ადამიანის გენეტიკური შესწავლა რამდენადმე გაძნელებულია შემდეგ გარემოებათა გამო: 1. შეუძლებელია გენეტიკური ანალიზისათვის საჭირო მიზანმიმართული შეჯვარებების ჩატარება; 2. დაუშვებელია მუტაციის ექსპერიმენტული ინდუცირება; 3. სქესობრივიად გვიან მომწიფების გამო თაობათა მონაცვლეობა ხანგრძლივია. მშობლებსა და შვილებს შორის შუალედი საშუალოდ 20-25 წელია; 4. შთამომავლობა მცირერიცხოვანია. ცოლ-ქმარს საშუალოდ 2-3 შვილი ჰყავთ; 5. შეუძლებელია სხვადასხვა ოჯახში შთამომავალთა განვითარების ერთნაირი და კონტროლირებადი პირობები შეიქმნას; 7. აქვს შედარებით მრავალრიცხოვანი (2n=46) ქრომოსომები.

ადამიანში გენეტიკურ ანალიზს ახდენენ გენეალოგიური, ტყუპთა, პოპულაციური, ციტოგენეტიკური, იმუნური, ბიოქიმიური, მოლეკულურ-ბიოლოგიური, ონტოგენეზური, სომატურ უჯრედთა ჰიბრიდიზაციის და სხვა მეთოდებით. ამ მეთოდების გამოყენებით ადამიანში მემკვიდრეობისა და ცვა-

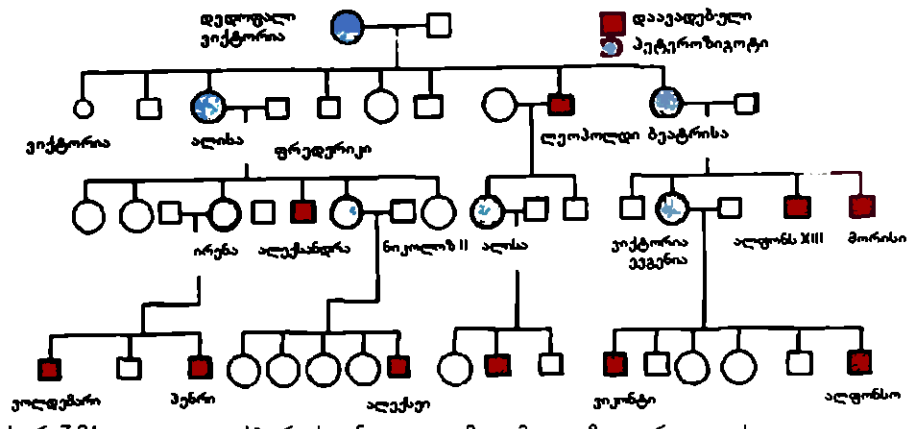


სურ. 7.30. ადამიანის საგენეალოგიო ნუსხის შესადგენად გამოყენებული სიმბოლოები.

ლებადობის მრავალი კანონზომიერებაა შესწავლილი. ამჟამად ადამიანში გენეტიკური კელეის მეთოდებს კომპლექსურად იყენებენ, თუმცა ზოგიერთ მათგანს წარმატებით ჩაენაცვლა სწრაფი, იაფი და გაცილებით სარწმუნო შედეგების მომცემი მოლეკულურ-გენეტიკური მეთოდები. გავეცნოთ გენეტიკური ანალიზის ძირითად მეთოდებს.

გენეალოგიური მეთოდი. ადამიანის გენეტიკურ კვლევაში, ექსპერიმენტული გენეტიკის სხვა დარგებისაგან განსხვავებით, შეუძლებელი და იმავდროულად მორალურად მიუღებელია ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის გამოყენება. აღნიშნული მეთოდის ერთგვარი ნაირსახეობა – გენეალოგიური (საგვარტომო ნუსხის შედგენა) მეთოდი გამოიყენება. იგი პირველად გალტონმა შეიმუშავა და დანერგა ადამიანის გენეტიკაში. გენეალოგიური მეთოდით შესასწავლი ნიშნის მემკვიდრეობის ხასიათს შეისწავლიან ოჯახური მონაცემების საფუძველზე. ამ მეთოდში პირობითად ორ ეტაპს არჩევენ — საგვარტომო ნუსხის შედგენასა და გენეალოგიურ ანალიზს. საგვარტომო ნუსხის შედგენისას გამოიყენება, საყოველთაოდ მიღებული, სპეციალური სიმბოლოები *(სურ. 7.30).*

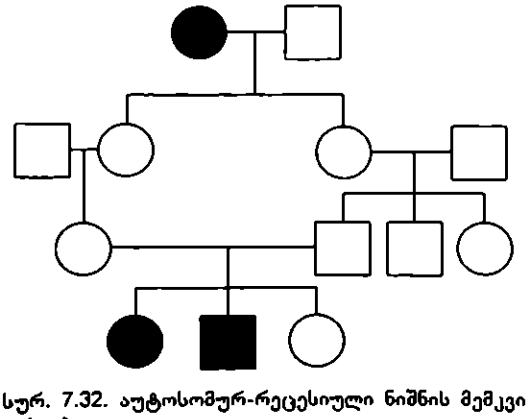
გენეალოგიური მეთოდის სანიმუშო მაგალითია X-შეჭიდული რეცესიული ნიშნის (ჰემოფილიის) მემკვიდრეობის ხასიათის დადგენა საგვარტომო ნუსხით ინგლისის დედოფალ ვიქტორიას შთამომავლებში. ცნობილია, რომ დაავადების ფარული მატარებელი (ჰეტეროზიგოტა) ინგლისის დედოფალი ვიქტორია იყო. მისი ერთი ვაჟი – ლეოპოლდი, ჰემოფილიით იყო დაავადებული, ხოლო ორი ქალიშვილი (ალისა და ბეატრისა) დაავადების ფარული მატარებელი (ჰეტეროზიგოტა) აღმოჩნდა. შემდგომში, ევროპის სამეფო გვარის წარმომადგენლებთან ქორწინების შედეგად, რეცესიული გენი გავრცელდა გერმანიის, ესპანეთის, რუსეთის სამეფო დინასტიებში. ამიტომაც დაავადების ამ ფორმას სამეფო ჰემოფილიის სახელწოდებით მოიხსენიებენ. *(იხ. სურ. 7.31)*



სურ. 7.31. დედოფალ ვიქტორიას გენიალოგია. მოცემულია ზოგიერთი ოჯახი.

გენეალოგიური მეთოდით შესაძლებელია თეორიული და პრაქტიკული პრობლემების გადაწყვეტა. კერძოდ: 1. მემკვიდრეობის ხასიათის დადგენა (მონოგენურია თუ პოლიგენური); 2. მემკვიდრეობის ტიპის განსაზღვრა (აუტოსომურ-რეცესიული ან დომინანტური; X-შეჭიდული –რეცესიული ან დომინანტური; Y— შეჭიდული. *(იხ. სურ.32-33)*; 3. გენთა ურთიერთქმედების ფორმების დადგენა; 4.გენთა შეჭიდულობისა და ქრომოსომაში მათი ლოკალიზაციის დადგენა.

ტყუპთა მეთოდი. გენეტიკური ანალიზის მეთოდთა შორის იგი უძველესია. ადამიანის გენეტიკაში პირველად გალტონმა შემოიტანა და მას მნიშვნელობა ამჟამადაც არ დაუკარგავს. ამ მეთოდით ფენოტიპის ჩამოყალიბებაზე (გენოტიპის ფენოტიპური რეალიზაციის პროცესი) გარემო ფაქტორების (ეკოლოგიური, სოციალური) როლს საზღვრავენ, ასევე იყენებენ ფენოტიპური ცვალებადობისა და რეაქციის ნორმის შესასწავლად. ადამიანთა ტყუპები განსხვავებული წარმოშობისაა. არჩევენ მონოზიგოტურ (ეითარდებიან ერთი კვერცხუჯრედიდან) და დიზიგოტურ (ვითარდებიან სხვადასხვა კვერცხუჯრედიდან) ტყუპებს. ყოველი 1000 ახალშობილიდან 10 ტყუპია, მათ შორის 25% მონოზიგოტურია. ზოგჯერ ზიგოტის დანაწევრების სხვადასხვა სტადიაზე ბლასტომერები ერთმანეთს სცილდებიან და დასაბამს აძლევენ ორ, იშვიათად მეტ ემბრიონს. ასეთ ტყუპებს იდენტური გენოტიპები აქვთ. ისინი ერთი სქესისანი არიან და ფენოტიპურად ძლიერ ჰგვანან ერთმანეთს. მონოზიგოტურ ტყუპებს შორის განსხვავება გარემო პირობებითაა გამოწვეული.


სურ. 7.32. აუტოსომურ-რეცესიული ნიშნის მემკვიდრეობა.

დერმატოგლიფიკის მეთოდი. თითის ბალიშებზე, ასევე ხელსა და ფეხის გულზე განვითარებული ეპიდერმისის ნანაზარდები სპეციფიკურ ხაზებს ქმნის, რომელიც მკაცრად დეტერმინირებული და ინდივიდუალური

ნიშანია. მას შეისწავლის დარგი — დერმატოგლიფიკა. დედამიწაზე არ მოიძებნებიან ისეთი ადამიანები, კანის ერთნაირი მოხაზულობა რომ აღენიშნებოდეთ.

კანის რელიეფის განვითარებას პოლიმერული გენები განსაზღვრავს. პოლიმერულ გენთა რაოდენობითა და მათი ურთიერთქმედებით იმდენად ნაირგვარი კომბინაციები მიიღება, რომ ყოველ ადამიანს უნიკალური, მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი კანის რელიეფი უვითარდება. ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების (მაგ., დაუნის სინდრომი და სხვ.), ან განვითარების მანკების დროს კანის რელიეფი სპეციფიკურად იცვლება. ეს მეთოდი გამოიყენება კლინიკურ მედიცინაში, როგორც ერთ-ერთი დამხმარე ტესტი.

პოპულაციური მეთოდი. მეთოდის ფუძემდებლები არიან ინგლისელი მათემატიკოსი ჯ. ჰარდი და გერმანელი ექიმი ვ. ვაინბერგი. ამ მეთოდით იკვლევენ ცალკეული გენის გავრცელების სიხშირეს პოპულაციებში. ადგენენ პოპულაციის გენეტიკურ სტრუქტურას, სწავლობენ იმ ფაქტორებსა და კანონზომიერებებს, რომლებიც აპირობებენ გენთა სიხშირის შენარჩუნებას ან ცვლილებას თაობათა მანძილზე. იკვლევენ ადამიანის ცალკეული პოპულაციის ჰეტეროგენულობისა და პოლიმორფიზმის დონეს. უკეთაა შესწავლილი სისხლის AB0 ჯგუფის ალელთა გავრცელება სხვადასხვა პოპულაციაში. ვარაუდობენ, რომ I გენის კონკრეტულ ალელთა ნაირგვარი კონცენტრაცია ინფექციური დაავადებების მიერ სხვადასხვა გენოტიპების შერჩევითი ელიმინაციის შედეგია. I^0 ალელის კონცენტრაციის დაქვეითება ზოგიერთ პოპულაციაში შავი ჭირის ეპიდემიებმა გამოიწვია. I^Aალელის კონცენტრაციის დაქვეითებას ყვავილის ეპიდემიებს უკავშირებენ, რომელმაც უპირატესად A ანტიგენის მქონე პირთა ელიმინაცია გამოიწვია.

პოპულაციური მეთოდით ახდენენ კონკრეტული გენოტიპების ადაპტური მნიშვნელობის განსაზღვრას. მაგ., გენეტიკური ანომალია-ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემია. ჰეტეროზიგოტებს მალარია არ ემართებათ, გადარჩევა ჰეტეროზიგოტებში HbS ალელის შენარჩუნების გზით მიმდინარეობდა და ხდებოდა ჰომოზიგოტების ელიმინაცია.

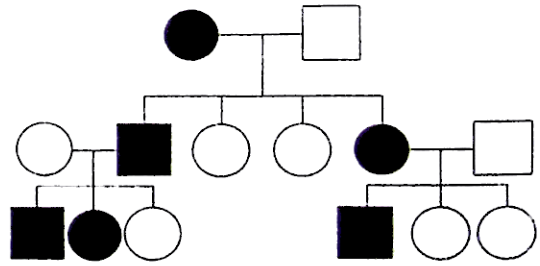
ასხვავებენ პოპულაციაში გენის გავრცელების ორ კატეგორიას: 1.უნივერსალური გავრცელების, როდესაც გენები მეტნაკლები სიხშირით უმეტეს პოპულაციებში გვხვდება. მაგ., დალტონიზმის, რიგი ფერმენტოპათიების (მაგ. ფენილკეტონურია, გალაქტოზემია და ა.შ.), ჰემოფილიის და სხვა პათოლოგიების გამომწვევ გენებს. 2. ლოკალური გავრცელების. მაგ., ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიის გამომწვევი გენი გვხვდება ტროპიკულ აფრიკასა და ინდოეთში, ხმელთაშუა ზღვის აუზის ქვეყნებში, სადაც მალარია იყო გავრცელებული (იხ. *სურ. 11.7).*

ბიოქიმიური მეთოდები. მოლეკულური ბიოლოგიის სწრაფი განვითარების შედეგად ბიოქიმიური მეთოდები დაიხვეწა და ფართოდ დაინერგა ადამიანის გენეტიკაში, რამაც ამ დარგის აღმავლობას შეუწყო ხელი. ბიოქიმიური მეთოდებით სწავლობენ როგორც გენური მუტაციებით გამოწვეულ მემკვიდრულ დაავადებებს, ისე გენის სხვადასხვა ალელების ნორმალური პირველადი პროდუქტის პოლიმორფულობას. ამ მეთოდებით გამოვლენილია ნივთიერებათა ცვლის დარღვევით გამოწვეული 1000-ზე მეტი დაავადება. მრავალი მათგანისათვის განსაზღვრულია გენის პირველად პროდუქტში მომხდარი ანომალიური ცვლილება. ამა თუ იმ ნივთიერების მეტაბოლიზმის სხვადასხვა ეტაპის ბლოკირება ორგანიზმში ამ პროდუქტების დეფიციტს იწვევს. ამასთანავე, გროვდება შუალედი პროდუქტები. ფერმენტის დეფექტს შარდსა და სისხლში შესაბამისი მეტაბოლური პროდუქტის არსებობის მიხედვით ადგენენ.

ბიოქიმიური მეთოდებით შესაძლებელია რისკის ჯგუფების (ცოლ-ქმარი, რომელსაც დაავადების გამომწვევი ალელი ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში აქვს) გამოვლენა. მაგ., ბიოქიმიური ანალიზით ნორმალური და ანომალიური ჰემოგლობინის იდენტიფიცირებას ახდენენ. ასევე პრენატალურად ან უშუალოდ დაბადების შემდეგ შესაძლებელია პათოლოგიის გამოვლენა და სპეციფიკური სამედიცინო ღონისძიებების ჩატარება (მაგ., ფენილკეტონურიის, გალაქტოზემიის და სხვ. შემთხვევებში).

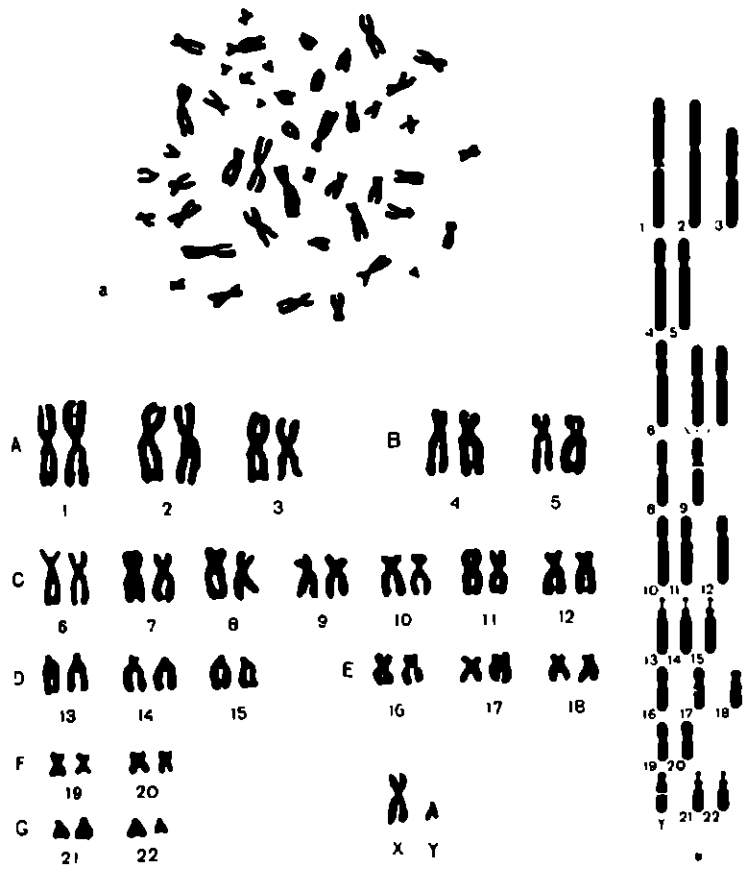
ციტოგენეტიკური მეთოდი. ადამიანის ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტის რაოდენობა (2n=46) სრულყოფილად ჯ. ტიომ და ა. ლევანმა (1955) განსაზღვრეს. ადამიანის ყველა აუტოსომურ ქრომოსომას ზომის, ფორმის, ცენტრომერის მდებარეობით აჯგუფებენ, ე. ი. ადგენენ კარიოგრამას. ყველა აუტოსომურ ქრომოსომას აქვს რიგობრივი ნომერი 1-დან 22-ის ჩათვლით (ციფრი ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა წყვილს აღნიშნავს). სასქესო ქრომოსომები X და Y სიმბოლოებით აღინიშნება. X ქრომოსომა დიდი ზომისაა, Y კი – პატარა.

ციტოგენეტიკური კვლევისათვის მასალად ადამიანის სხვადასხვა ქსოვილის (პერიფერიული სისხლის ლიმფოციტები, ძვლის ტვინის უჯრედები, ფიბრობლასტები, სიმსივნის უჯრედები, ემბრიონის ქსოვილები და სხვ.) უჯრედებს იყენებენ. ქრომოსომები მაქსიმალურადაა სპირალიზებული მეტაფაზის სტადიაზე, ადვილია ცალკეული ქრომოსომის ფორმის, ზომის შესწავლა და მათი რიცხვის განსაზღვრა *(სურ. 7.34).* მეტაფაზური ქრომოსომების ანალიზით საზღვრავენ ქრომოსომების რაოდენობას, ადგენენ ქრომოსომაში მომხდარ სტრუქტურულ ცვლილებას.



სურ. 7.33. აუტოსომურ-დომინანტური ნიშნის მემკვიდრეობა.

სასქესო X-ქრომოსომის რიცხვის ცვლილებას ად-



სურ. 7.34. ა. ადამიანის (მამაკაცის) კარიოტიპი და კარიოგრამა. ბ.იდიოგრამა დენვერის კლასიფიკაციის მიხედვით

გენენ ინტერფაზულ ბირთვში — *სასქესო ქრომატინის განსაზღვრის მეთოდით.* X-სასქესო ქრომატინი (ე. წ. *ბარის სხეულაკი*) არის ინტერფაზული ბირთვის გარსთან მდებარე პატარა ზომის დისკოს ფორმის სხეულაკი. სასქესო X-ქრომატინი მ. ბარმა და ჩ. ბერტრამმა (1949) აღმოაჩინეს. სასქესო ქრომატინი სპირალიზებული ინაქტიურებული X ქრომოსომაა. ქალებში ერთ-ერთი X ქრომოსომა ინაქტივირებულია სასქესო ქრომატინის სახით, რის გამოც ქალებისა და მამაკაცების სასქესო ქრომოსომებში თანაბარი რაოდენობის აქტიურ გენთა ბალანსი იქმნება. ქალის ნორმალური კარიოტიპი ორ X ქრომოსომას შეიცავს, ერთ-ერთი მათგანიდან სასქესო ქრომატინი ყალიბდება. ამრიგად, ბირთვში სასქესო ქრომატინის რაოდენობა X სასქესო ქრომოსომების რაოდენობაზე ერთით ნაკლებია. მაგ., ნორმალური მამაკაცის ბირთვს იგი არ გააჩნია. თუ ქალის კარიოტიპია 45,X. მაშინ მასაც არ გააჩნია სასქესო ქრომატინი. სასქესო ქრომატინის განსაზღვრის მეთოდს იყენებენ როგორც სამედიცინო გენეტიკაში, ისე სასამართლო მედიცინაში (როდესაც სისხლის ლაქის მიხედვით სქესის დადგენა უნდათ ან როდესაც საჭიროა განსაზღვრონ სქესი, ნაპოვნი გვამის ნანილი ქალისაა თუ მამაკაცის).

ციტოგენეტიკური მეთოდით შესაძლებელია: 1. კარიოტიპისა და ნორმალური ქრომოსომის მორფოლოგიის შესნავლა; 2. სქესის დადგენა; 3. ანეუპლოიდიისა და ქრომოსომული აბერაციებით გამოწვეული ქრომოსომული დაავადებების დიაგნოსტირება; 4. ქრომოსომულ და გენომურ დონეზე მუტაციური პროცესის შესნავლა;5. პრენატალურად, დაბადებამდე, ქრომოსომულ დაავადებათა დიაგნოსტირება.

სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდები. ადამიანის სომატურ უჯრედთა გენეტიკას 60-იან ნლებში ჩაეყარა საფუძველი. ადამიანის სომატური უჯრედები შეიცავს ქრომოსომათა დიპლოიდურ კომპლექტს. ბუნებრივია, ინდივიდის მთელი გენეტიკური ინფორმაცია მასშია მოთავსებული. სომატურ უჯრედებს სხვადასხვა ორგანოებიდან (კანი, ძვლის ტვინი, პერიფერიული სისხლი, სიმსივნის ქსოვილი, ემბრიონის ქსოვილები, ამნიონურ სითხეში არსებული უჯრედები და ა.შ.) ბიოფსიით გამოყოფენ. უჯრედებს ამრავლებენ ხელოვნურ საკვებ არეზე და ქსოვილთა კულტურას ღებულობენ. მასში გენეტიკური ანალიზის სხვადასხვა (ციტოგენეტიკური, ბიოქიმიური, იმუნოლოგიური, მოლეკულურ-გენეტიკური) მეთოდით იკვლევენ მრავალ ისეთ გენეტიკურ პროცესს, რომლის ანალიზი უშუალოდ ადამიანის ორგანიზმში შეუძლებელია.

ატარებენ როგორც ადამიანის განსხვავებული გენოტიპის, ისე ადამიანის და ცხოველთა (მაიმუნი, ვირთაგვა, ზაზუნა, ქათამი, კოლო და სხვ.) უჯრედთა შორის ჰიბრიდიზაციას. შორეული ჰიბრიდული უჯრედების, შემდგომი გამრავლების პროცესში ერთ-ერთი სახეობის ქრომოსომები (მაგ., ,,ადამიანი-თაგვის" ჰიბრიდულ უჯრედებში ადამიანის) ქრომოსომები თანდათანობითი იკარგება. ჰიბრიდული უჯრედებიდან ადამიანის ქრომოსომების თანდათანობითი დაკარგვისა და პარალელურად მათში გენების ეტაპობრივი განსაზღვრით ადგენენ გენის ლოკალიზაციას ქრომოსომაში და შეჭიდულ გენთა ჯგუფებს საზღვრავენ. ნაყოფის უჯრედებიდან მიღებულ ქსოვილურ კულტურაში ჩატარებული ანალიზით ბაეშვის დაბადებამდე შესაძლებელია 100-ზე მეტი დაავადების დიაგნოსტირება.

სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდებით ადგენენ: 1. გენთა შეჭიდულობას და საზღვრავენ გენის ლოკალიზაციას ქრომოსომაში; 2. გენთა ურთიერთმოქმედებას;3. გენის მოქმედების რეგულაციას; 4. მემკვიდრული დაავადებების პათოგენურობას მოლეკულურ და უჯრედულ დონეზე; 5. პრენატალურად მემკვიდრულ დაავადებათა ზუსტ დიაგნოსტირებას.

მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდები. ადამიანის გენეტიკის კვლევაში დიდი გარდატეხა შეიტა-

ნა მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდების დანერგვამ. მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდებით ხორციელდება როგორც სტრუქტურული გენების გამოყოფა და სეკვენირება, ისე მათი კლონირება. სტრუქტურული გენის შემცველი ადამიანის დნმ-ის ფრაგმენტს პლაზმიდაში ათავსებენ და ამ გზით ჩართავენ ბაქტერიის გენომში. გენმოდიფიცირებული ბაქტერია ახდენს აღნიშნული სტრუქტურული გენის შესაბამისი პროდუქტის სინთეზს. ამ მიმართულების განვითარება გენის ანომალიური პროდუქტით გამოწვეული ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების თერაპიის პერსპექტივას იძლევა. ი-რნმ-დან უკუტრანსკრიპციის მეთოდებით მიღებულია დნმ-ის ზონდები. პაციენტის დნმ-თან მათი ჰიბრიდიზაციით შესაძლებელია საზიანო გენური მუტაციის ზუსტი იდენტიფიცირება და დაავადების დიაგნოზირება. მეთოდების შემდგომი სრულყოფით შესაძლებელი გახდება დაზიანებული მუტანტური ლოკუსების ნორმალური ალელებით შეცვლა. ამ მიმართულებით ისახება გენური თერაპიის დიდი პერსპექტივები.

უდიდეს მეცნიერულ მიღწევად არის აღიარებული საერთაშორისო პროექტის ,,ადამიანის გენომი" განხორციელება. 2000 წელს დასრულდა ადამიანის გენომის კელვის პირველი ეტაპი. გამოქვეყნდა გენომის დნმ-ის თანმიმდევრობის სამუშაო ვარიანტი. 2001 წლისათვის გენომის ეუქრომატინული უბნების (შეიცავს სტრუქტურულ გენებს) 96%-ში დნმ-ის თანამიმდევრობა განსაზღვრეს. 2003 წელს გამოქვეყნდა გენომის საბოლოო ვერსია. გენომი 6.4 მილიარდ ნუკლეოტიდს შეიცავს. გენომის მხოლოდ 5% კოდირებს ცილებს, ხოლო 50% ტრანსპოზონის მაგვარ უბნებს უჭირავს. გენთა დიდი სიმჭიდროვით მე-19 ქრომოსომა ხასიათდება, ყველაზე მცირეთი კი — Y და მეცამეტე ქრომოსომები. ვარაუდობენ, რომ ადამიანის გენომი დაახლოებით 25.000-მდე სტრუქტურულ გენს შეიცავს. ადამიანის გენომის შესწავლა გრძელდება. მიაჩნიათ, რომ მოწოდებული შედეგები მცირე ფარგლებში შეიცვლება. სრულიად მოულოდნელად გამოვლინდა, რომ ხერხემლიანებისა და მათ შორის ადამიანის გენომში ასეულობით გენი ბაქტერიებიდან არის მოხვედრილი. თუ რა გზით განხორციელდა ამ გენების გადატანა ხერხემლიანებში, ამოუცნობია.

7.6.2 ნიშნების მემკვიდრეობა ადამიანში

ადამიანის გენომი ტიპური ეუკარიოტული გენომია, გენეტიკურ ინფორმაციას დნმ შეიცავს, რომელიც ძირითადად ქრომოსომებშია მოთავსებული, მცირე რაოდენობით კი – მიტოქონდრიებში. ადამიანის ნორმალური კარიოტიპი 46 ქრომოსომისაგან შედგება, მათ შორის 44 აუტოსომაა, ორი კი სასქესო (X,Y). გამოვლენილია 24 (ქალს აქვს 23, მამაკაცს კი 24) გენთა შეჭიდული ჯგუფი. 22 ჯგუფი აუტოსომებშია განლაგებული, ორი

ცხრილი 7-1

ზოგიერთი ნიშნის მონოგენური მემკვიდრეობა ადამიანში

ნიშნები	მემკვიდრეობის ტიპი	
	დომინანტური	რეცესიული
თვალის ფერი	თაფლისფერი	ცისფერი
თვალის ქრილი	სწორი	ირიბი
მხედველობა	ახლომხედველი	ნორმალური
ცხვირის ფორმა	კეხიანი	ნორმალური
ნესტოები	ფართო	ვიწრო
ყურის ბიბილო	შეზრდილი	ჩამოშვებული
პიპერტრიხოზი	არის	არ არის
ლოყის ღრმული	არის	არ არის
სახის ფორმა	მრგვალი	ოვალური
თვალის ფორმა	მრგვალი	ოვალური
ქვედა ტუჩი	მსხვილი	ნორმალური
თმის გათეთრება	ნაადრევი	ნორმალური
ენის მილისებურად ჩახვევა	არის	არ არის
ენის უკან გადახრის უნარი	არის	არ არის
სიქაჩლე	კაცებში	ქალებში
თეთრი კულული შუბლთან	არის	არ არის
ჭორფლიანობა	არის	არ არის
ქვედა ტუჩი	მსხვილი	ნორმალური
ხელის ხმარება	მემარჯვენია	ცაცია
თითების ზომა	მოკლე (ბრაქიდაქტილია)	ნორმალური
ხმა ქალებში	სოპრანო	ალტი
ხმა კაცებში	ბანი	ტენორი

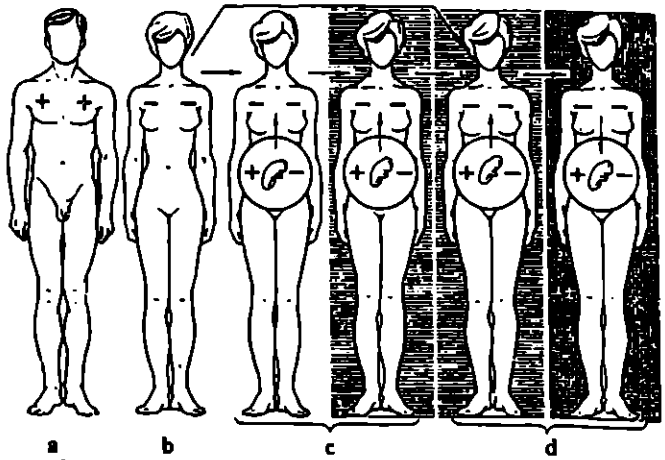
კი სასქესო X (ლოკალიზებულია 1400-მდე გენი) და Y ქრომოსომაში (ლოკალიზებულია 50-მდე გენი). შედგენილია ადამიანის ქრომოსომების გენეტიკური რუკები. მასში ასეულობით ლოკუსია იდენტიფიცირებული და კარტირებული.

ადამიანში X და Y ქრომოსომას ბოლოებზე აქვთ ჰომოლოგიური უბნები და მათ შორის კროსინგოვერი მიმდინარეობს. სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებულ გენებს სამ ჯგუფად ყოფენ: პირველ ჯგუფში აერთიანებენ სქესთან შეჭიდულ იმ გენებს, რომლებიც მხოლოდ X ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. მისი ჰომოლოგიური უბნები ქრომოსომას არ გააჩნია. ამ ჯგუფის გენები სრულადაა შეჭიდული სქესთან და შთამომავლობას მხოლოდ X ქრომოსომის მეშვეობით გადაეცემა. მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება მცირე ჯგუფი იმ გენებისა, რომლებიც მხოლოდ Y ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და *ჰოლანდრულად* მემკვიდრეობს, ვლინდება მხოლოდ მამაკაცებში. ნიშანი მამიდან ვაჟიშვილს გადაეცემა (მაგ., იხტიოზი, ფეხის თითებს შორის აპკის განვითარება; ყურის ნიჟარის გარეთა კიდის თმიანობა - ჰიპერტრიქოზი და სხვ.). მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება გენები, რომლებიც ორივე სასქესო (X და Y) ქრომოსომის ჰომოლოგიურ უბნებშია განლაგებული. ამ გენებით განსაზღვრულ ნიშნებს სქესთან არასრულად შეჭიდულ ნიშნებს უწოდებენ. კროსინგოვერის შედეგად ნარმოიქმნება ამ გენების რეკომბინაცია.

გენების ნორმალური ალელები განაპირობებენ ადამიანის ფიზიკურ და ფსიქიკურ ჯანმრთელობას. გენები განსაზღვრავენ: სხეულის აგებულებას, სიმაღლეს, სხეულის მასას, თავისა და სხეულის ფორმას, ჩონჩხის აგებულების თავისებურებას, კანისა და თმის ფერს, დაავადებებისადმი მდგრადობას, სიარულისა და დგომის მანერას, სისხლის ჯგუფობრიობას, უჯრედის ბიოქიმიურ აქტივობას, მეცნიერებისა და ხელოვნების ამა თუ იმ დარგისადმი მიდრეკილებას და ა.შ. გენის ცვლილება-მუტაცია ადამიანში მეტწილად უარყოფით შედეგს იწვევს. როგორც ყველა ორგანიზმში, ადამიანშიც თითოეული ნიშანი ან თვისება გენებითაა დეტერმინირებული. ორგანიზმის ყველა სომატური უჯრედი ერთნაირ გენეტიკურ მასალას შეიცავს. სხვადასხვა გენის ექსპრესია ონტოგენეზის სხვადასხვა ეტაპზე ხდება. ზოგიერთი გენი განვითარების ადრეულ საფეხურზე იწყებს მოქმედებას, ზოგიც – გვიან. ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ზოგიერთი რეცესიული გენის ექსპრესია საერთოდ არ მიმდინარეობს. ყოველივე ამის გამო ერთი განაყოფიერებული უჯრედიდან – ზიგოტიდან ყალიბდება ფენოტიპურად განსხვავებული უჯრედები, რომლებიც დასაბამს აძლევს სხვადასხვა ქსოვილსა და ორგანოს.

ადამიანი დიდი ჰეტეროგენულობით ხასიათდება. მასში ვხვდებით ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმას: სრულ და არასრულ დომინანტობას, ზედმინანტობას, კოდომინანტობას; არაალელურ გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმაა გამოელენილი ადამიანში. კარგადაა შესწავლილი მონო- და პოლიგენური, პლეიოტროპული ნიშნის განსაზღვრის ტიპი. ამ გენეტიკურ კანონზომიერებებს წინა პარაგრაფებში უკვე გაეცანით. 7-1 ცხრილში წარმოდგენილია ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობა ადამიანში, რომელსაც სხვადასხვა გენის ალელები განსაზღვრავენ (ე. წ. მენდელისეული ნიშნები).

რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა



a b c d

სურ. 7.35. რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა და ჰემოლიზური დაავადება ახალშობილებში. a. მამა- რეზუს დადებითი (Rh^+). b. დედა რეზუს უარყოფითი (Rh^-). c. პირველი ორსულობა. Rh^+ ანტიგენი შედის დედის სისხლის მიმოქცევის სისტემაში და წარმოიქმნება რეზუს-ანტისხეულები. ვინაიდან მათი რაოდენობა მცირეა ,ნორმალური ბავშვი იბადება. d. მეორე ორსულობა. ხდება ნაყოფით დედის დამატებითი იმუნიზირება. რეზუს-ანტისხეულების რაოდენობა მატულობს. დედიდან ისინი გადადიან ნაყოფის სისხლის მიმოქცევის სისტემაში და შლიან ერითროციტებს (ერითრობლასტოზი) ნაყოფი იღუპება.

1940 წელს მაიმუნ მაკაკა რეზუსის (Macacus rhesus) ერითროციტებიდან გამოყვეს ანტიგენი, რომელსაც რეზუს ფაქტორი (R^h-ფაქტორი) უწოდეს. მოგვიანებით იგი ადამიანშიც აღმოაჩინეს. თეთრკანიანი მოსახლეობის 85%-ს აქვს ეს ფაქტორი, ე. ი. არიან რეზუს-დადებითი (Rh^+), 15% კი – რეზუს-უარყოფითია (Rh^-), ე. ი. ანტიგენი არ გააჩნიათ. შესწავლილია ამ ნიშნის გაერცელების სიხშირე საქართველოს სხვადასხვა კუთხის მკვიდრ მოსახლეობაში. Rh^+ ფენოტიპის სიხშირე პოპულაციაში საკმაოდ მაღალია და 76,7%-დან 93,1%-მდეა. რეზუს-უარყოფითი სისხლის მქონე პირებში რეზუს-ფაქტორისადმი ანტისხეულის გამომუშავება არ ხდება, მაგრამ იგი წარმოიქმნება უცხო ანტიგენზე თავდაცვითი რეაქციის შედეგად, თუ მას რეზუს-დადებით სისხლს გადავუსხამთ. რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობას განსაზღვრავს პირველ ქრომოსომაში ლოკალიზებული სამი C, D, და K ძლიერ შეჭიდული გენი, რის გამოც ამ ნიშნის მემკვიდრეობა მონოგენური ხასიათისაა. რეზუს-დადებით ფაქტორს გენის დომინანტური ალელები განსაზღვრავენ, ხოლო უარყოფითს – რეცესიული ალელები.

როდესაც რეზუს-უარყოფით დედას

რეზუს-დადებითი ჯგუფის შვილი უჩნდება, პირველი მშობიარობა შეიძლება ნორმალურად ნარიმართოს. თუ დედის სისხლში ნაყოფის სისხლი მოხვდა (პლაცენტის კედლის დაზიანების გამო), ქალის სხეულში წარმოიქმნება Rh^+ ფაქტორისადმი ანტისხეულები. მომდევნო ორსულობის დროს ანტისხეულები ნაყოფის სისხლში გადადის და შლის Rh^+ ანტიგენის მქონე ერითროციტებს. ყოველი მომდევნო ორსულობისას Rh^+ ანტიგენთან შეუთავსებელი ანტისხეულების რაოდენობა მატულობს. ზოგჯერ ემბრიონი იღუპება, ბუნებრივია, თუ ის Rh^+-ია. აღინიშნება მკვდრადშობადობაც. ნაყოფში დედის სისხლის შეჭრის შემთხვევაში პემოლიზური დაავადება ვითარდება *(სურ. 7.35)*.

7.6.3 გენეტიკა და მედიცინა

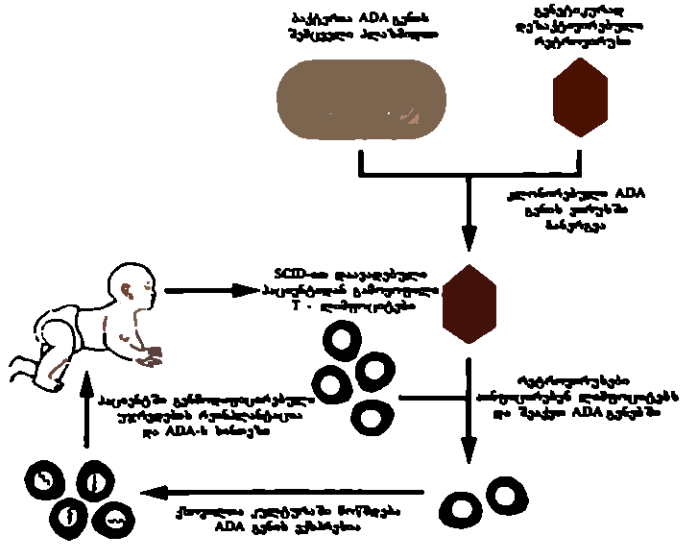
ადამიანის გენეტიკის განვითარებამ 4000-მდე მემკვიდრული დაავადება გამოავლინა. ადამიანის გენეტიკაში ჩამოყალიბდა ცალკე დარგი – **სამედიცინო გენეტიკა**. თუ ადამიანის გენეტიკა ნებისმიერ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის კანონზომიერებებს იკვლევს, სამედიცინო გენეტიკა შეისწავლის პათოლოგიურ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობას, დაავადებათა წარმოშობის მიზეზებს, ოჯახებში მემკვიდრეობის ხასიათს, გავრცელებას პოპულაციებში, უჯრედულ და მოლეკულურ დონეზე მიმდინარე სპეციფიკურ პროცესებს, ასევე იკვლევს მემკვიდრულ დაავადებათა პათოგენეზს, კლინიკის, პროფილაქტიკისა და მკურნალობის საკითხებს. მრავალი დაავადების მკურნალობას დღეს უკვე მათი მემკვიდრული ბუნების გამოკვლევით და მოლეკულურ-გენეტიკური მექანიზმების შესწავლით იწყებენ.

მემკვიდრულ დაავადებათა მიზეზია გენეტიკურ აპარატში მომხდარი ცვლილებები: გენური და გენომური მუტაციები, ქრომოსომული აბერაციები. ადამიანში მემკვიდრეობითი პათოლოგია სხვადასხვა ასაკში იჩენს თავს. მრავალი დაავადება და თანდაყოლილი ანომალიები განვითარების ემბრიონულ პერიოდში ყალიბდება, ნაწილიც პოსტნატალურ პერიოდში; მეტწილად ისინი ბავშვებში ელინდება, ზოგიერთი კი მონიფულ და ხანდაზმულ ასაკში იჩენს თავს. მაგალითად, ფრიდრიხის ატაქსია 6-12 წლის ასაკის ბავშვებში ელინდება, ნათხემის ატაქსია 20-30 წლის ასაკში, ხოლო პოდაგრა (ნიკრისის ქარი) მონიფულ და ხანდაზმულ ასაკში.

ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების ადრეული დიაგნოსტირებით და დროული კლინიკური ჩარევით, მედიკამენტური ან დიეტური მკურნალობით შესაძლებელია თავიდან ავიცილოთ დაავადების შემდგომი განვითარება და ავადმყოფის სიკვდილი. მაგალითად, საკვები რაციონიდან იმ ნივთიერებების გამორიცხვით, რომელთა ცვლაც დარღვეულია გალაქტოზემიით (რძის შაქრის შეუთვისებლობა) ან ფენილკეტონურიით (არომატული ამინმჟავებისადმი მგრძნობელობა) დაავადებულ ახალშობილებში, შესაძლებელია განვითარების ნორმალიზება და არასასურველი შედეგების თავიდან აცილება. დიდი მნიშვნელობა აქვს მემკვიდრულ დაავადებათა ადრეულ (პრენატალურ) პერიოდში დიაგნოსტირებას. სათანადო სამედიცინო-გენეტიკური კონსულტაციით შესაძლებელია პათოლოგიური ნიშნით ჰეტეროზიგოტური ცოლქმრული წყვილის ან ქრომოსომული ანომალიის მქონე პირთა გამოვლენა, რაც თავიდან აგვაცილებს არასასურველ შედეგებს.

უკანასკნელ პერიოდამდე მემკვიდრული დაავადებები უკურნებლად მიიჩნდათ. შემუშავებული ღონისძიებებით მხოლოდ სიმპტომების თავიდან აცილება ხდებოდა. გენური ინჟინერიის განვითარებამ ამ სახის დაავადებათა მკურნალობაში ახალი პერსპექტივები გამოავლინა. ამჟამად ჩამოყალიბებულია ახლი დარგი -- გენოთერაპია. მისი მეშვეობით შესაძლებელია დაავადებული ადამიანის უჯრედში გასწორდეს ან შეიცვალოს დაზიანებული გენეტიკური მასალა. მოვიყვანთ ერთ სანიმუშო მაგალითს.

გენური თერაპიით შეძლეს ორი სხვადასხვა სახის იმუნოდეფიციტური (SCID) დაავადებისგან პაციენტთა განკურნება. ავადმყოფებს არ მოეპოვებათ ფუნქციურად აქტიური B და T ლიმფოციტები. ფაქტობრივად, ავადმყოფებში იმუნური სისტემა უმოქმედოა. ისინი იღუპებიან ისეთი ინფექციებისგან, რომელიც ჯანმრთელი ადამიანისათვის უსაფრთხოა. პირველი წარმატებული მკურნალობა 1990 წელს ჩატარდა. სამი წლის აშანი დე სილვა განიკურნა იმუნოდეფიციტური (SCID) დაავადებისგან. ADA გენის მუტაციის გამო ლიმფოციტებში არ სინთეზირდება ფერმენტი ადენოზინდეზამინაზა. პაციენტი-



სურ. 7.36. გენური თერაპიით მძიმე კომბინირებული იმუნოდეფიციტური დაავადების (SCID) მკურნალობის თანმიმდევრული სქემა. იმუნოდეფიციტით დაავადებულ ადამიანში ADA გენის ინაქტივაციის გამო არ სინთეზირდება ადენოზინდეზამინაზა. კლონირებული ADA გენის ეირუსის ვექტორში მოთავსება და ლიმფოციტების ინფიცირება. გენის ინტეგრირება და ექსპრესია ლიმფოციტებში, რომელიც პაციენტის სისხლში შეყავთ. გამოყოფილი ფერმენტი ადენოზინდეზამინაზა ნორმალურ იმუნურ რეაქციას აღადგენს.

დან გამოყოფილ T ლიმფოციტებში შეიტანეს ნორმალური გენი. მოდიფიცირებული უჯრედები პაციენტს სისხლში შეუყვანეს. მკურნალობის კურსი ნარმატებული აღმოჩნდა. 2000 წელს ასევე წარმატებით დასრულდა X-ქრომოსომასთან შეჭიდული იმუნოდეფიციტით (SCID) დაავადებულ პაციენტთა მკურნალობა *(სურ. 7.36)*. გამოყენებული მეთოდები არ არის უნაკლო. იგი სრულყოფასა და დახვეწას საჭიროებს. 1999 წელს პაციენტი ადენოვირუსული ვექტორით გამოწვეული ძლიერი იმუნური რეაქციის შედეგად გარდაიცვალა, ხოლო 2002 წ. ორ ბავშვს მკურნალობის პროცესში ლეიკემია ჩამოუყალიბდა. ვარაუდობენ, რომ დაავადება ვირუსიდან გამოყოფილი ვექტორის გენომში ჩართვამ და მნიშვნელოვანი ფუნქციის მქონე გენის ინაქტივაცია (ან მუტაცია) გამოიწვია.

დიდი ყურადღება ექცევა ადამიანის საარსებო გარემოს დაცვას დაბინძურებისაგან. გამოვლენილია მრავალი ქიმიური და ფიზიკური ფაქტორი, რომლებიც გენეტიკურ აპარატზე ზემოქმედებისა და მისი შეცვლის (მუტაციის ინდუცირების) უნარით გამოირჩევა. ისინი ცვლის ადამიანის გენოტიპს, რაც მრავალი პათოლოგიის წყაროა.

მემკვიდრული პათოლოგიების პროფილაქტიკა. სადღეისოდ მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობის ეფექტური მეთოდები, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, არ გაგვაჩნია. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც მედიცინის ჩარევით ზოგიერთი დაავადების განვითარება შეიძლება თავიდან ავიცილოთ, ეს დაავადებები განკურნებულად მაინც ვერ ჩაითვლება, ვინაიდან მემკვიდრული დაავადების მიზეზი გენეტიკურ აპარატში მომხდარი ცვლილებაა, რომლის აღმოფხვრა ამჟამად შეუძლებელია.

თანამედროვე ეტაპზე საგანგებო ყურადღება ექცევა *პრენატალურ დიაგნოსტირებას*, პროფილაქტიკის მიზნით მემკვიდრული დარღვევების ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე გამოვლენას. მუცლადყოფნის პერიოდში ჩანასახის მემკვიდრულ მასალაში მძიმე გენეტიკური დაავადების გამომწვევი გენის გამოვლენის შემთხვევაში ზოგჯერ, ცოლ-ქმართან შეთანხმებით, მიმართავენ აბორტს. ზოგ შემთხვევაში პრენატალურად ან დაბადებისთანავე სათანადო მკურნალობით ხერხდება სიმპტომების თავიდან აცილება.

პრენატალური დიაგნოსტირება ჩანასახისათვის ყველა შემთხვევაში უსაფრთხო არაა, ამასთანავე იგი ძვირადღირებული და შრომატევადია. ამ სახის გამოკვლევას განსაკუთრებულ შემთხვევაში მიმართავენ, კერძოდ: 1. როდესაც მშობლებიდან ერთ-ერთში ქრომოსომული აბერაციაა (ინვერსია, ტრანსლოკაცია) გამოვლენილი; 2. როდესაც მშობელი დომინანტურ მემკვიდრულ დაავადებას ატარებს; 3. როდესაც მშობლებს რეცესიული მემკვიდრული დაავადების მქონე შვილები ჰყავთ, რაც მათ ჰეტეროზიგოტულობას მიგვანიშნებს; 4. როდესაც დედა 35 ან მეტი წლისაა, ამ შემთხვევაში იზრდება ტრისომიების რისკი; 5. განმეორებადი სპონტანური აბორტების შემთხვევაში, რაც დედისა და ნაყოფის შეუთავსებლობას მიგვანიშნებს; 6. როდესაც მშობლებს ჰყავთ შვილები განვითარების მანკით.

სერიოზული ეთიკური განჯის საგანია "პრენატალური დიაგნოსტიკის" მიღწევების პრაქტიკაში დანერგვა. მიიჩნევენ, რომ ნაყოფის განვითარების ხელოვნური შეწყვეტა ნებისმიერ შემთხვევაში დაუშვებელია, ვინაიდან ირღვევა ადამიანის სიცოცხლის ხელშეუხებლობის უფლება. (იხ. დამატებით თავი 10).

როდესაც ცოლ-ქმარი რისკის ჯგუფს ეკუთვნის **„პრეინპლანტაციური გენეტიკურ დიაგნოსტიკას"** მიმართავენ. ექსტრაკორპორალური განაყოფიერებით ე. წ. „ჩასახვა სინჯარაში" (ცოლ-ქმრის გამეტების ლაბორატორიულ პირობებში შერწყმა და ჩანასახის განვითარება) მიღებულ ჩანასახთა გენოტიპს ადგენენ. ჯანსაღ ემბრიონს დედის საშვილოსნოში ათავსებენ. მოვიყვანთ ერთ სანიმუშო მაგალითს. 2001 წელს ცოლ-ქმარმა დახმარებისთვის მიმართა ი. ვერლისკის კლინიკას (ჩიკაგო, რეპროდუქციული გენეტიკის ინსტიტუტი, აშშ). მათ გენეალოგიაში „სიმსივნის ოჯახური ფორმა", ლი-ფრაუმენის სინდრომი აღენიშნებოდათ. ამ სინდრომს TP53 გენის მუტაცია იწვევს. ახასიათებს მემკვიდრეობის აუტოსომურ-დომინანტური ტიპი. წესისამებრ, ჰომოზიგოტებში დაავადება (ძვლისა და რბილი შემაერთებელი ქსოვილის სარკომა, მკერდის სიმსივნე, თავის ტვინის სიმსივნეები, ლეიკემია) 40 წლის ასაკში ვლინდება, თუმცა ხშირად ბავშვებშიც იჩენს თავს. ამ გენის მიხედვით ცოლ-ქმარი ჰეტეროზიგოტი აღმოჩნდა. ლაბორატორიაში განხორციელდა "ჩასახვა სინჯარაში". განისაზღვრა ხელოვნურად მიღებული 18 ჩანასახის გენოტიპი. მათგან მხოლოდ 7-ს არ აღმოაჩნდა კიბოს გამომწვევი გენი. 3 ჩანასახი მოათავსეს დედის საშვილოსნოში. ქალი დაფეხმძიმდა და ეყოლა ჯანმრთელი ვაჟი.

სადღეისოდ „პრეინპლანტაციური გენეტიკური დიაგნოსტიკის" მეთოდით 50-ზე მეტი მძიმე მემკვიდრული დაავადების გამოვლენა და თავიდან აცილებაა შესაძლებელი. ეს მეთოდი გაცილებით პროგრესულია, ვიდრე „პრენატალური დიაგნოსტიკის" მეთოდი. იგი გამორიცხავს რისკს და ხელოვნურ აბორტს.

მემკვიდრულ დაავადებათა აღსაკვეთ მეთოდთა შორის მნიშვნელოვანია სამედიცინო გენეტიკური კონსულტაცია. ეს სამსახური მოსახლეობას უწევს სპეციალიზებულ სამედიცინო დახმარებას და მიმართულია რისკის მქონე ოჯახში მემკვიდრული პათოლოგიის მქონე ბავშვის გაჩენის თავიდან ასაცილებლად.

მემკვიდრული დაავადებები

ადამიანის პოპულაციაში "გენეტიკური ტვირთი" მეტწილად მემკვიდრული დაავადებების სახით ვლინდება. მემკვიდრული დაავადების სიხშირის შეფასებისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ა.სტივენსონის (2003) მიერ ჩრდილოეთ ირლანდიაში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები. გამოირკვა, რომ ახალშობილთა 4%-ს აღენიშნებოდა სერიოზული გენეტიკური დეფექტები. ამ მონაცემში არ შედიოდა სპონტანური აბორტები და მკვდრადშობადობა, რომელიც რეგისტრირებულ ფეხმძიმეთა შორის 14%-ს შეადგენდა. მათი გარკვეული ნაწილი, ბუნებრივია, გენეტიკური ანომალიებით იყო გამოწვეული. წარმოდგენილი მაჩვენებელი ასევე არ შეი-

ცავდა მოზრდილთა ისეთ გავრცელებულ დაავადებათა მაჩვენებელს, როგორიცაა დიაბეტი და შიზოფრენია, რომელთა განვითარებაში მნიშვნელოვან როლს ასევე გენეტიკური კომპონენტები ასრულებენ. ამავე ავტორის მიერ დადგენილია, რომ სტაციონარულ ავადმყოფთა 26%-ს მემკვიდრული დაავადება ჰქონდა. ამავე კატეგორიას მიეკუთვნებოდა ასევე კონსულტაციაზე აღრიცხულ პაციენტთა 6-8%. შიზოფრენია ადამიანთა პოპულაციაში საშუალოდ 1% სიხშირით გვხვდება, ზოგიერთ ქვეყანაში კი — უფრო მაღალი სიხშირით. მემკვიდრულ დაავადებებს ორ დიდ ჯგუფად (გენურ და ქრომოსომულ დაავადებებად) ყოფენ.

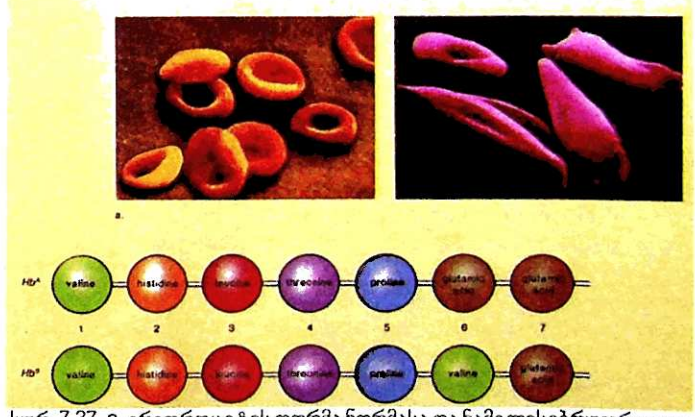
გენური დაავადებები. ზოგიერთი გენური დაავადება მონოგენურად — მენდელის კლასიკური სქემით მემკვიდრეობს, ზოგიც პოლიგენური მემკვიდრეობის ტიპს მიეკუთვნება. ამ უკანასკნელში გაერთიანებულია დაავადებები მემკვიდრული წინასწარგანწყობით, რომელთა მემკვიდრეობა საკმაოდ რთულია, ე. წ. მულტიფაქტორულია. გენურ მუტაციებს ფენოტიპური გამოვლენის მიხედვით აჯგუფებენ. მათ მიეკუთვნება: ფერმენტული სისტემის მემკვიდრული დარღვევები (ენზიმოპათიები), სისხლის ცილების მემკვიდრული დეფექტები, სტრუქტურული ცილების მემკვიდრული დეფექტები და სხვ. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

გენეტიკის პოზიციიდან ენზიმოპათიების შესწავლას საფუძველი XX საუკუნის დასაწყისში ჩაეყარა ა. გეროდის (1902) გამოკვლევებით. ენზიმოპათიას იწვევს როგორც ფერმენტის აქტივობის ცვლილება, ისე ფერმენტის სინთეზის ინტენსიურობის დაქვეითება. დაავადება ვლინდება იმ პირებში, რომელთა გენი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაშია. ჰეტეროზიგოტებში ხდება როგორც ნორმალური (50%), ისე ანომალიური ფერმენტის სინთეზი. ასეთი ინდივიდები კლინიკურად ჯანმრთელნი არიან, მათი გამოვლენა სპეციალური გამოკვლევებითაა შესაძლებელი.

განვიხილოთ ფენილალანინის ცვლის დარღვევით გამონვეული ზოგიერთი დაავადება. ფენილალანინის ცვლის სხვადასხვა ეტაპის ბლოკირება ნაირგვარ დაავადებას იწვევს. ფენილალანინი ფერმენტ ფენილალანინჰიდროქსილაზას ზემოქმედებით გარდაიქმნება თიროზინად. მუტაციის შედეგად, როდესაც ნივთიერებათა ცვლის ეს ეტაპი ირღვევა, ვითარდება დაავადება ***ფენილკეტონურია***. ორგანიზმში დიდი რაოდენობით გროვდება შუალედი პროდუქტები (ფენილალანინის გარკვეული ნაწილი მეორეულ პროდუქტად — ფენილპიროყურძნისმჟავად გარდაიქმნება). ისინი სისხლსა (0,003-0,04 გ/ლ ნაცვლად არის 0,5-0,6 გ/ლ) და შარდში გამოიყოფა. ფერმენტის ანომალიის გამო ორგანიზმი ვერ ითვისებს ფენილალანინს. ირღვევა ამ ნაერთის გარდაქმნის მომდევნო ეტაპები, აღარ წარმოიქმნება ორგანიზმისათვის ისეთი მნიშვნელოვანი ნაერთები, როგორიცაა ტიროზინი, ადრენალინი, ნორადრენალინი, მელანინი. შუალედური პროდუქტები ტოქსიკურად მოქმედებენ ტვინზე. ირღვევა უმაღლესი ნერვული მოქმედება. ირღვევა ასევე მიელინიზაცია. ვითარდება მიკროცეფალია, თავს იჩენს გონებრივი ჩამორჩენილობა.

ფენილკეტონურია გვხვდება საკმაოდ მაღალი სიხშირით (ახალშობილებში 1:10000, პოპულაციაში კი 1-4:100000). ეს დაავადება ყველაზე კარგადაა შესწავლილი. ახალშობილებში დროული დიაგნოსტირებით და დიეტური მკურნალობით (საკვებიდან უნდა გამოირიცხოს ფენილალანინი) დაავადების ფენოტიპური გამოვლენა არ ხდება. როდესაც ირღვევა მეორე რგოლი, მაშინ დეფექტური ფერმენტი (ტიროზინაზა) ვერ ახდენს ტიროზინიდან პიგმენტ მელანინის სინთეზს, ვითარდება დაავადება ***ალბინიზმი*** (პოპულაციაში გვხვდება 1:10000-დან 1:200000-მდე სიხშირით). ავადმყოფებს აღენიშნებათ კანის, თმის, თვალის ფერადი გარსის აპიგმენტაცია. მზის რადიაციისადმი მაღალი მგრძნობელობა, ავადმყოფებს ნამზეურობა არ უვითარდებათ, შეინიშნება კანის კიბოსადმი მიდრეკილება.

ადამიანში ჰემოგლობინის სინთეზს გენეტიკური აპარატი აკონტროლებს. დღეისათვის კარგადაა შესწავლილი ამ პროცესში მონაწილე გენთა სტრუქტურა. ამ გენების მუტაცია სხვადასხვა სახის დაავადებას (ე. წ. ჰემოგლობინოპათია) იწვევს. სანიმუშო მაგალითია ***ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემია.*** ნორმალური A ჰემოგლობინის ნაცვლად ერითროციტებს მისი ერთ-ერთი ვარიანტი-S აღმოაჩნდება. მასში β-ჯაჭვის მე-6 მდგომარეობაში უარყოფითი მუხტის მქონე გლუტამინის მჟავა შეცვლილია ნეიტრალური ვალინით ***(სურ. 7.37).*** რეცესული ჰომოზიგოტი HbS/HbS ინდივიდები ანემიის მძიმე ფორმით არიან დაავადებულნი. ჰიპოქსიის დროს S ჰემოგლობინი წარმოქმნის კრისტალის მსგავს სტრუქტურებს, რის გამოც იცვლება უჯრედის მორფოლოგია. იგი ნამგლისებურ ფორმას იძენს. ჰეტეროზიგოტები HbA/HbS კლინიკურად ჯანმრთელები არიან. მათ ორივე სახის (A და S) ჰემოგლობინი თანაბარი რაოდენობით აქვთ. ძლიერი ჰიპოქსიის დროს, ზღვის დონიდან 3000 მ-ზე ყოფნისას, მათაც უვითარდებათ ანემია. მიეკუთვნება აუტოსომურ-რეცესიული მემკვიდრეობის ტიპს (იხ. თავი 11).



სურ. 7.37. a. ერითროციტის ფორმა ნორმასა და ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის დროს. b. ჰემოგლობინის β-ჯაჭვის მე-6 მდგომარეობაში გლუტამინის მჟავა შეცვლილია ვალინით.

ჰემოფილია (ე. წ. კლასიკური ანუ „სა-

ცხრილი 7-2 დაუნის დაავადების სიხშირე დედის წლოვანებასთან დაკავშირებით

დედის ასაკი	სიხშირე
30 წლამდე	1 : 1000
30 — 34 წელი	1.6 : 1000
35 — 39 წელი	4 : 1000
40 — 44 წელი	14 : 1000
45 და მეტი	25 : 1000

მეფო" ჰემოფილია). დაავადებას იწვევს X სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული რეცესიული გენი. დაავადების გადაცემისას შეინიშნება "კრის-კროს" მემკვიდრეობა. ვლინდება ძირითადად ვაჟებში. დაავადების გამოვლენის სიხშირე: ყოველი 2500 ახალშობილი ვაჟიდან დაავადებულია ერთი (1:2500). დაავადება ჩვეულებრივ ვლინდება 2-3 წლის ასაკში. თუმცა დაავადების სიმპტომები ადრეულ ასაკშიც შეინიშნება. სისხლის შეუდედებლობა გამონეულია ორგანიზმში ანტიჰემოფილური გლობულინის ანუ VIII ფაქტორის დეფექტით ან არარსებობით. დაავადებულებში პრეფიბრინი ფიბრინად არ გარდაიქმნება. სისხლძარღვთა მცირე დაზიანებაც კი საშიშია და იწვევს სისხლდენას. ავადმყოფები მკურნალობის გარეშე ადრეულ ასაკში იღუპებიან. აღწერილია ჰემოფილიის იშვიათი შემთხვევები ქალებში, რაც შეიძლება ჰემოფილიით დაავადებულ მამაკაცთან ჰეტეროზიგოტი ქალის ქორწინების შედეგი იყოს.

მეორე ტიპი-B ***ჰემოფილია,*** პირველად 1952 წ. აღწერეს. სისხლის შეუდედებლობა გამოწვეულია თრომბოპლასტინის ანუ IX ფაქტორის დეფექტით, რომელსაც იწვევს X სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენის მუტაცია.

ქრომოსომული დაავადებები. ცალკეული ქრომოსომის სტრუქტურის ან კარიოტიპში მათი რიცხვის ცვლილება იწვევს ქრომოსომულ დაავადებებს. ასეთი სახის მუტაციები ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებულ გენეტიკურ სისტემაში მნიშვნელოვან დისბალანსს იწვევს, რის გამოც ირღვევა ადამიანის ნორმალური განვითარება. ხშირად, ამდაგვარი ცვლილებების შედეგად, ორგანიზმი ონტოგენეზის სხვადასხვა სტადიაზე (მეტწილად ემბრიონული განვითარების ადრეულ ეტაპებზე) იღუპება. ამჟამად შესწავლილია 100-მდე ქრომოსომული სინდრომი, რომლებიც სხვადასხვა ქრომოსომის ანომალიითაა გამოწვეული. განვიხილოთ ზოგირთი მათგანი.

დაუნის სინდრომი (21 ქრომოსომის ტრისომია). დაავადება პირველად აღწერა ინგლისელმა ექიმმა ლ. დაუნმა (1866). დაავადების მიზეზი დაადგინეს ფრანგმა გენეტიკოსებმა ჟ. ლეჟენმა და რ. ტიუპირმა (1959). ეს დაავადება ყველაზე კარგადაა შესწავლილი, ვინაიდან ფართოდაა (1:500-1:800) გავრცელებული. გონებრივად ჩამორჩენილ ბავშვთა შორის 10-12% დაუნის სინდრომზე მოდის. დადგენილია კორელაცია დედის ასაკსა და დაუნის დაავადებას შორის, რაც უფრო ასაკოვანია დედა, მით უფრო მეტია დაავადებული შვილის ყოლის რისკი (იხ. ცხრ. 7-2). ძირითადი სიმპტომებია: შენელებული ფსიქომოტორული განვითარება, აბსტრაქტული აზროვნება შეზღუდულია, ეპიკანტი, ღია პირი, ენა-გადმოგდებული, ბრაქიცეფალია გაბრტყელებული კეფის ძვლით, მოკლე კისერი, დისპლასტიური ყურები, კბილების ანომალიები, დაღარული ენა. ასევე დამახასიათებელია: თანდაყოლილი გულის მანკი, კატარაქტა, საჭმლის მომნელებელი სისტემის განვითარებაში რიგი პათოლოგიური ცვლილებები. მომატებულია რისკი ლეიკემიისა და ეპილეფსიისადმი. იმუნიტეტის დაქვეითების გამო ადვილად ემართებათ ინფექციური დაავადებები. სინდრომის ძირითადი ნიშანია გონებრივი ჩამორჩენილობა. ინტელექტის კოეფიციენტი (IQ) დაბალია და 30-დან – 60-მდეა. ბავშვი მხიარული და მგრძნობიარეა. ამ სახის ტრისომიის შედეგად ნაყოფი მეტწილად იღუპება. დაუნის სინდრომით დაავადებულთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა ხანმოკლეა. ამჟამად სათანადო მკურნალობის მეშვეობით სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლიობა გაზრდილია და 49 წელს შეადგენს. ძალზე იშვიათად (აღწერილია ერთეული შემთხვევები) ისინი ტოვებენ შთამომავლობასაც. დაავადება ძირითადად 21-ე ქრომოსომის ტრისომიითაა გამოწვეული. იგი მეიოზში პომოლოგიური ქრომოსომების განურიდებლობის შედეგია. იშვიათად მას რობერტსონული ტრანსლოკაციაც იწვევს. ამ შემთხვევაში ქრომოსომათა რიცხვი ვიზუალურად იგივე რჩება, მაგრამ 21-ე ქრომოსომა რომელიმე აკროცენტრულ ქრომოსომაზეა ტრანსლოცირებული.

ტერნერის სინდრომი (45,X) პირველად დაავადების კლინიკური სურათი შერეშევსკიმ აღწერა (1925), ხოლო კლასიკური შესწავლა ტერნერს (1938) ეკუთვნის. ციტოგენეტიკური სურათი (45, X) 1959 წელს დაადგინა ფორდმა თანაავტორებთან ერთად. იგი მონოსომიით გამოწვეული დაავადების ერთადერთი შემთხვევაა ადამიანში. ეს დაავადება გაცილებით იშვიათად გვხდება (ახალშობილ გოგონებში 1:5000 შეადგენს), ვიდრე სასქესო ქრომოსომების სხვა ანომალიები. მათში მხოლოდ ერთი X სასქესო ქრომოსომაა. კლინიკური სურათი მეტად ვარიაბელურია. არიან ტანდაბალი (საშუალო სიმაღლე 140 სმ) და უჩვეულო გარეგნობის. აქვთ ,,სფინქსის" სახე, მოკლე კისერი — უკანა მხარეს ფრთისებრი კანის ნაოჭებით, გულმკერდის ყაფაზი ფართოა, ფარის ფორმის. ძუძუს დვრილები ძლიერ დაცილებული და განუვითარებელია. აღენიშნებათ გულ-სისხლძარღვთა და შარდ-სასქესო სისტემების თანდაყოლილი მანკები. გონადების ნაცვლად აქვთ შემაერთებელ-ქსოვილოვანი ჭიმი. სასქესო ორგანოები ინფანტილურია, ჩვეულებრივ, დამახასიათებელია უნაყოფობა. დაავადება არ იწვევს გონებრივ ჩამორჩენილობას. დაქვეითებული აქვთ სივრცითი და მოტორული შეგრძნებები. ინტელექტის

კოეფიციენტის (IQ) არავერბალური მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად დაბალია ვერბალურზე. ბევრი ავადმყოფი საჭიროებს სწავლაში (განსაკუთრებით მათემატიკაში) დახმარებას. შეინიშნება ფსიქიკის თავისებურებანი (ინფანტილიზმი).

X-ტრისომია (47.XXX) სინდრომი პირველად 1959 წ. ჯაკობსმა და მისმა თანაავტორებმა აღწერეს. ამ დაავადებულთა კარიოტიპი შეესაბამება 47,XXX. კლინიკური სურათი მეტად ვარიაბელურია. პოპულაციაში დაავადების სიხშირე შეადგენს 1-1,4:1000 დაბადებულ გოგონაზე. საშუალოზე ოდნავ მაღლები არიან და ნორმალური ფენოტიპი აქვთ. ზოგჯერ აეადმყოფებს განუვითარებელი აქვთ საკეერცხეები, ზოგ შემთხვევაში აღინიშნება საშვილოსნოს ჰიპოპლაზია. სინდრომის მქონე ქალების ნაწილი უნაყოფოა (ნაწილს საშვილოსნო განვითარებული აქვს და პყავს შვილები). სომატური ანომალიები იშვიათია, უმეტესად შეიმჩნევა სქესობრივი განვითარების დარღვევები (არარეგულარული მენსტრუალური ციკლი), IQ მაჩვენებელი საშუალოზე ბევრად დაბალია და აქვთ დასწავლასთან დაკავშირებული პრობლემები. აღენიშნებათ ქცევითი გადახრები, განსაკუთრებით გარდატეხის ასაკში.

კლაინფელტერის სინდრომი (47,XXY). დაავადების კლინიკა პირველად 1942 წელს აღწერა კლაინფელტერმა. პოპულაციაში სიხშირე შეადგენს 1:1000 ახალშობილ ვაჟზე. დაავადება მემკვიდრეობით არ გადაეცემა, მათი წარმოქმნა მეიოზში ქრომოსომათა განურიდებლობის შედეგია.

ავადმყოფებს აღენიშნებათ: მცირე ზომის რუდიმენტული სათესლეები, აზოოსპერმია. მამაკაცის მეორადი სასქესო ნიშნები განვითარებულია, მაგრამ ქალის ნიშნები ბოლომდე არაა ჩახშული. აღენიშნებათ გინეკომასტია მომრგვალო მენჯი, საჭურისის მსგავსი და ოდნავ ფემინიზებული პაბიტუსი (ევნუქიზმი), კიდურების დაგრძელების ხარჯზე მაღალტანიანობა, ბოქვენზე ქალის ტიპის თმის საფარველი. სინდრომის მქონე მამაკაცი უმეტესად უნაყოფოა (სტერილურია). დამახასიათებელია სქესობრივი ლტოლვის შესუსტება, ზოგჯერ იმპოტენცია. ზოგჯერ შეინიშნება ნეეროლოგიური ცვლილებები. აღენიშნებათ ქცევის დარღვევები. IQ მაჩვენებელი საშუალოზე ბევრად დაბალია. ზეპირმეტყველებისა და შემეცნების უნარი დაქვეითებულია. აქვთ დასწავლასთან დაკავშირებული პრობლემები, უჭირთ კითხვა და საჭიროებენ დახმარებას სწავლის პროცესში.

სინდრომი 47,XYY. პირველად აღწერეს 1962 წ. დარღვეეათა სიხშირე პოპულაციაში შეადგენს 1:10000 ახალშობილ ვაჟზე. დაავადებულები ხშირად ტანმაღლები არიან (საშუალოდ 180-185 სმ). ინტელექტი ძირითადად არ არის შეცვლილი. ბოლო გამოკვლეეებით სინდრომის კავშირი ასოციალურ ქცეეასთან არ დადასტურდა. ახასიათებს კლინიკური სურათის ეარიაბელურობა და შეიძლება კლინიკურად არც გამოვლინდეს. არიან იმპულსურნი და უყურადღებონი, უჭირთ კითხეა და მეტყველება, უმეტეს მათგანს – დამოუკიდებლად სწავლა.

7.7 გენეტიკა და სელექცია

სელექცია (ლათ. „selectio" – გადარჩევა) ***არის მეცნიერება, რომელიც სწავლობს სასოფლო-სამეურნეო მცენარეთა და ცხოველთა ახალი ჯიშების, ასევე მიკროორგანიზმთა ახალი შტამების გამოყვანისა და ძველის გაუმჯობესების მეთოდებსა და ბიოლოგიურ საფუძვლებს.*** სელექციის მეცნიერული საფუძვლები ჩ. დარვინმა ჩამოაყალიბა. მან დაასაბუთა, რომ ჯიშთა შექმნას საფუძვლად უდევს მემკვიდრეობითი ცვალებადობა და ხელოვნური გადარჩევა. სელექციის მეცნიერულ საფუძველს გენეტიკა ნარმოადგენს, რომლის უახლესი მიღწევების გამოყენებით შესაძლებელია მაღალპროდუქტული ჯიშების გამოყვანა. ***კულტურულ მცენარეთა და შინაურ ცხოველთა ჯიში არის სელექციის გ ზით შექმნილი ინდივიდების ერთობლიობა (პოპულაცია) მას გააჩნია უნარი შთამომავლებს მემკვიდრეობით გადასცეს სამეურნეო ნიშნები.***

ჯიშთა მრავალფეროვნება. კულტურულ მცენარეთა და შინაურ ცხოველთა ჯიშთა ახლანდელი მრავალფეროვნების შემოქმედი ადამიანია. სელექციაში საწყისი ეტაპი ცხოველთა მოშინაურებითა და მცენარეთა მოშენებით იწყება. მიუხედავათ ჯიშთა დიდი მრავალფეროვნებისა ნებისმიერი კულტურული ფორმა ერთი ან რამდენიმე ველური წინაპრიდან (სახეობიდან) იღებს სათავეს. ასე მაგალითად შინაური ქათმის ყველა ჯიში ბანკივური გარეული ქათმის (Galus galus) შთამომავალია. კულტურული კომბოსტოს ჯიშების წინაპარია ველური კომბოსტო (Brassica olaracea), მტრედის ყველა ჯიშის კი – ეეუანი



სურ. 7.38. კომბოსტოს სხვადასხვა ჯიშები და მათი ველური წინაპარი: 1. ველური კომბოსტო; 2. თავხვეული; 3. ყვავილოვანი; 4. კოლრაბი (კეჟერა); 5. ბრიუსელური; 6. საცოიის.

გარეული მტრედი (Columba livia) და ა.შ. *(სურ. 7.38; 11-1)*

ადამიანმა უძველესი დროიდან დაიწყო მცენარეთა და ცხოველთა მოშენება. შორეულ წარსულში მწარმოებლურ მეურნეობაზე (სოფლისმეურნეობა, მეცხოველეობა) გადასვლამ ხელი შეუწყო "სასოფლო-სამეურნეო რევოლუციას" და სელექციის განვითარებას. ადამიანმა შენიშნა, რომ სასარგებლო ცხოველი და მცენარე თავისსავე მსგავს შთამომავლობას წარმოქმნიდა. ადამიანმა თავისი მოთხოვნილებიდან გამომდინარე დაიწყო საუკეთესო ინდივიდების ამორჩევა და გამრავლება. უძველეს ცივილიზაციის კერებში კონკრეტულ კულტურულ მცენარეთა ჯიშები ჩამოყალიბდა. კულტურულ მცენარეთა ცენტრები გამოავლინა და შეისწავლა ი. ვავილოვმა. მიწათმოქმედების ერთ-ერთ უძველეს კერად მიჩნეულია ძველი ბიბლიური სამყაროს ტერიტორია, ეგვიპტიდან შუამდინარეთის ჩათვლით, რომელსაც " ნაყოფიერ ნახევარმთვარეს" უწოდებენ. ასევე ჩრდილო-აღმოსავლეთი ჩინეთი და ცენტრალური, ანუ მესოამერიკა. ამჟამად გამოყოფენ კულტურულ მცენარეთა წარმოშობის ცენტრებს და შინაურ ცხოველთა წარმოშობის რაიონებს *(იხ. ცხრ. 7.3)*.

კულტურულ მცენარეთა წარმოშობის ერთ-ერთი კერაა წინააზიური ცენტრი. მასში გაერთიანებულია სამხრეთკავკასია, მათ შორის საქართველო. ამ ცენტრში არის წარმოშობილი ხორბალი, ქერი, ჭვავი, ვაზი, ვაშლი, მსხალი, ქლიავი და სხვა კულტურული მცენარეები. ამჟამად საქართველო ვაზის სამშობლოდ არის აღიარებული. ჩვენში ვაზის მოშენება ჯერ კიდევ 7-6 ათასი წლის წინ დაიწყეს. საქართველოში ვაზის 500-მდე ადგილობრივი ჯიშია შექმნილი. უნიკალურობით გამოირჩევა რქაწითელი, საფერაიი, ოჯალეში, ჩხავერი, ალადასტური და სხვ. საქართველო ძვირფასი მარცვლოვანი კულტურის – ხორბლის ერთ-ერთი სამშობლოა. ხორბლის ადგილობრივი ჯიშებიდან აღსანიშნავია ზანდური, მახა და დიკა. ჩვენში ხალხური სელექციის გზით მიღებულია ვაშლის (თურაშაული, კეხურა და სხვ.), მსხლის (გულაბი, კალოს მსხალი, ხეჭეჭური) და სხვა კულტურულ მცენარეთა ჯიშები. შინაურ ცხოველთა წარმოშობის რაიონები თითქმის ემთხვევა კულტურულ მცენარეთა ცენტრებს. ყველაზე ადრე ადამიანმა ძაღლი მოიშინაურა. მისი ველური წინაპარი მგელია. ძაღლის მოშინაურება რამდენიმე ცენტრში, მათ შორის – წინა აზიურში მოხდა. საქართველოში ხალხური სელექციის შედეგადაა შექმნილი შინაურ ცხოველთა მრავალი ჯიში, კერძოდ: ქართული ცხვრის ნაგაზი, თუშური ცხვარი, კახური ღორი, თუშური ცხენი, ხევსურული და მეგრული ძროხა და სხვ.

ცხრილი 7-3 კულტურულ მცენარეთა წარმოშობის ცენტრები

ცენტრი	გეოგრაფიული მდებარეობა	კულტურული მცენარეები
1. აღმოსაელეთაზიური	ცენტრალური და აღმოსაელეთი ჩინეთი, იაპონია, კორეა.	სოია, შვრია, ქერი, ბრინჯი (ზოგიერთი ფორმა), უნაბი, ბოლოკი, ტუნგი, მანდარინი, ალუბალი, წინიბურა, კაკალი, ჩაი (ზოგიერთი ფორმა), სორგო და სხვ.
2. ინდო — მალაური	მალაის არქიპელაგი, ფილიპინები, ინდოჩინეთი.	ბრინჯი, პურის ხე, ბანანი, შაქრის ლერწამი, კარდამონი, მიხაკის ხე, შაეი პილპილი და სხვ.
3. ინდოეთის	ინდოსტანის ნახევარკუნძული	ბადრიჯანი, კიტრი, ფორთოხალი, ლიმონი, ჩაი (ზოგიერთი ფორმა) მანგო, ხაშხაში, რეჰანი და სხვ.
4. ცენტრალურაზიური	ჩრდილო-დასაელეთი ინდოეთი, ავღანეთი, ტაჯიკეთი, უზბეკეთი, დასაელეთი ტიანშანი.	ხორბალი (ზოგიერთი ფორმა), ჭვავი, ოსპი, ნიორი, ვაზი (ზოგიერთი ფორმა) და სხვ.
5. წინაზიური	მცირე აზია. სამხრეთი კავკასია, ირანი, თურქეთი.	ხორბალი, ვაზი, ქერი, ჭვავი, კანაფი, სელი, თხილი, მუხუდო, შინდი, მსხალი, ვაშლი, ალუჩა, ქლიავი, ლეღვი, წაბლი, წიწმატი და სხვ.
6. ხმელთაშუაზღვის	ხმელთაშუაზღვის აუზის ქვეყნები.	ზეთისხილი, დაფნა, მდოგვი, შვრია, სელი, ხანჭკოლა, ოხრახუში, ჭარხალი, ბოლოკი, თალგამი, პიტნა, ქინძი, პირშუშხა, კამა, ხახვი და სხვ.
7. ეთიოპური	ეთიოპიის მთიანეთი, სუდანი.	ხორბალი (ზოგიერთი ფორმა), ფეტვი, ყავა, საზამთრო, ბამბა (ზოგიერთი ფორმა) და სხვ.
8. ცენტრალურამერიკული	სამხრეთი მექსიკა, ცენტრალური ამერიკის ქვეყნები.	სიმინდი, ლობიო, გოგრა, ბატატი, კაკაო, ნინაკა, მზესუმზირა, აგავა, ბამბა, თამბაქო და სხვ.
9. სამხრეთამერიკული	კოლუმბია, ეკვადორი, პერუ,ბოლივია.	კარტოფილი (ზოგიერთი ფორმა), პომიდორი, ქინქინის ხე, პეეჟა, ანანასი, ფეიჰოა, გოგრა და სხვ.

7.7.1 სელექციის ძირითადი მეთოდები.

სელექციის ტრადიციული ანუ კლასიკური მეთოდებია: ***ხელოვნური გადარჩევა*** და ***ჰიბრიდიზაცია.*** სელექციის მთავარი მეთოდი არის ხელოვნური გადარჩევა. ამ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში გასამრავლებლად არჩევენ სამეურნეო ნიშნების მიხედვით მნიშვნელოვანი თვისებების მქონე ცხოველებსა და მცენარეებს. სელექციაში იყენებენ ხელოვნური გადარჩევის ორ ფორმას: ***მასობრივსა*** და ***ინდივიდუალურს.*** მასობრივი გადარჩევა ტარდება სელექციონერის მიერ შერჩეული გარეგანი ნიშნების ანუ ფენოტიპის მიხედვით. საწყისი მასალიდან გასამრავლებლად გამოყოფენ სასურველი ნიშნების მქონე ინდივიდთა ჯგუფს, დანარჩენს ნუნი ედება. ასე მაგალითად, ქათმებში დიდი ზომის კვერცხისა და კვერცხმდებლობის ხანგრძლივობის შეუღლების მიზნით სანაშენედ მხოლოდ ორივე ნიშნით მკაფიოდ გამოხატულ ინდივიდთა ჯგუფს იტოვებენ. მომდევნო თაობებში ინუნებენ ყველა ინდივიდს, რომელიც ამ სტანდარტს არ შეესაბამება. ინდივიდუალური გადარჩევისას შესაჯვარებელი წყვილები ფასდება როგორც საკუთარი თვისებების, ისე შთამომავლობაზე მათი გადაცემის უნარითაც. ამრიგად გადარჩევა წარმოებს სასურველი ნიშნების მფლობელი ცალკეული ინდივიდის ანუ მათი გენოტიპის მიხედვით. ჰიბრიდიზაცია შესაჯვარებელი წყვილების საუკეთესო სამეურნეო ნიშნების ჰიბრიდში თავმოყრის საშუალებას იძლევა, გადარჩევა კი - სასურველ ნიშნებს შთამომავლებში განამტკიცებს.

ჯვარედინ მტვერია მცენარეების თვითდამტვერვით ან ცხოველების ახლონათესაური შეჯვარებით გამრავლებისას (ინბრიდინგი) შემდგომ თაობებში შეინიშნება სიცოცხლისუნარიანობის და პროდუქტულობის დაქვეითება, დაკნინება — ინბრიდული დეპრესია. ახლონათესაური წყვილების შეჯვარებას ***ინბრიდინგი,*** ხოლო მიღებულ შთამომავლობას ***წმინდა ხაზი*** ეწოდება. ინბრიდინგით მიიღწევა ჰომოზიგოტურობის მაღალი დონე. მათში მრავალი უარყოფითი მოქმედების რეცესიული გენი ელინდება და სიცოცხლისუნარიანობას აქვეითებს. ამრიგად, მრავალი გენის ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ყოფნა ინბრიდულ დეპრესიას ინვევს. სხვადასხვა ინბრიდული ხაზების შეჯვარებით მიღებული პირველი თაობის ჰიბრიდები უხვმოსავლიანია. მათში შეინიშნება ცხოველმყოფელობისა და ნაყოფიერების ძლიერი ამაღლება. ამ მოვლენას ***ჰეტეროზისი,*** ანუ ჰიბრიდული ძალის ეფექტი, ეწოდება. ჰიბრიდები მოსავლიანობით აჭარბებს, როგორც მშობლებს, ისე საწყის ფორმებსაც. შემდგომ თაობებში ჰეტეროზისი თანდათანობით ქრება. ჰეტეროზისის ფენომენი კარგად არ არის შესწავლილი. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ჰიბრიდში მრავალი გენის ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ყოფნა და მათი ურთიერთქმედება ჰეტეროზისის ეფექტს იწვევს.

დიდი მნიშვნელობა აქვს კულტურულ მცენარეებში ***პოლიპლოიდური*** ჯიშების შექმნას. მრავალი კულტურული მცენარე ბუნებრივი პოლიპლოიდი აღმოჩნდა, მაგალითად: ხორბალი, ხენდრო, კარტოფილი, ქლიავი, ეაშლი, მსხალი და სხვ. ისინი სპონტანური გენომური მუტაციის შედეგადაა წარმოშობილი. პოლიპლოიდს ხშირად დიდი ზომის სხეული აქვს და უხვმოსავლიანობით გამოირჩევა. ამჟამად შემუშავებულია პოლიპლოიდების ხელოვნურად მიღების ეფექტური მეთოდები. ინდუცირებული პოლიპლოიდებიდან სელექციურ მნიშვნელობა ერთეულებს მოეპოვება. მათში შერჩევის გზით სანარმოო ნიშნებს ხეენენ და ჯიშად აყალიბებენ. გამოყვანილია საუკეთესო სამეურნეო თვისებების მქონე ჭვავის, ქერის, საზამთროს, შაქრის ჭარხლის, ეაზის და სხვ. აეტოპლოიდი ჯიშები. *(იხ. თავი 7.4.2)*

მიღებულია ალოპლოიდური (გაერთანებულია ორი განსხვავებული სახობის გენომი) ჯიშები; მაგალითად, ტრიტიკალეში (გააჩნია ხორბლისა და ჭვავის გენომი) შეუღლებულია ხორბლისა (საგემოენო თვისებები) და ჭვავის (ცილების მაღალი შემცველობა, მწირ ნიადაგზე ზრდის უნარი) სამეურნეო თვისებები.

მცენარეებსა და მიკროორგანიზმებში ფართოდ იყენებენ ***ხელოვნური მუტაგენეზის*** მეთოდს. მუტაციის ინდუქციას მაიონიზებელი რადიაციითა და ქიმიური მუტაგენებით ახდენენ. მუტაციის შედეგად ისეთი ახალი ალელები წარმოიქმნება, რომელთა გამოვლენა, როგორც წესი, პოპულაციაში შეუძლებელია. კერძოდ, — ქონდარა მცენარე, საადრეო ან უხმოსაელიანი ფორმები. მიღებული მუტაციები ზრდიან საწყისი მასალის მრავალფეროვნებას და შერჩევის პროცესის ეფექტურობა მაღლდება. ამ გზით გამოყვანილია ქერის. ჭვავის, სიმინდის, პომიდერის მაღალპროდუქტული ჯიშები, მიკროორგანიზმებსა და სოკოებში ვიტამინებისა და ანტიბიოტიკების მაღალი წარმადობის შტამები.

7.7.2 სელექციის თანამედროვე მეთოდები.

ჩვენს პლანეტაზე მოსახლეობის რაოდენობა სწრაფი ტემპით იზრდება. ამჟამად დედამიწაზე 6 მილიარდი ადამიანი ცხოვრობს. ვარაუდობენ, რომ ეს რიცხვი 2020 წლისთვის 8 მილიარდს მიაღწევს. დედამიწაზე მოწეული ჭირნახულის ზრდის ტემპი გაცილებით დაბალია. მწვავედ დგას მოსახლეობის საკვებით უზრუნველყოფის საკითხი. სელექციამ ეს მწვავე პრობლემა უნდა გადაჭრას. სელექციაში თანამედროვე ბიოლოგიური მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია უხვმოსაელიანი ჯიშების გამოყვანა და მოსახლეობის საკვებით უზრუნველყოფა

სელექციის მიზანს მემცენარეობისა და მეცხოველეობის ინდუსტრალიზაციის და სელექციის მეცნიერული დონე, აგრევე საბაზრო მოთხოვნები განსაზღვრავს. ასე მაგალითად, მტკნარი წყლის დეფიციტის გამო გამოყვანილია მარილიანობისადმი გამძლე ქერის ჯიშები. ჯეჯილს ზღვის წყლით რწყავენ და ნორმალურ მოსავალს იღებენ. გამოყვანილია ქათმის ისეთი ჯიშები, რომლებიც მეფრინველეობის ფაბრიკებში დიდი სიმჭიდროვის პირობებშიც კი ჩვეულებრივ პროდუქტულობას ავლენენ. ტრიტიკალეში გამოყვანილი ჯიშები კარგად იტანენ ნიადაგის მაღალ მჟავიანობას და კარგ მოსავალს იძლევიან. სადღეისოდ სელექციამ ისეთ დონეს მიაღწია, რომ ჯიშების შემდგომი გაუმჯობესება ძალზე გარრთულებულია. ამიტომაც დიდი ყურადრება ეთ-

მობა ჯიშის მოდელის შექმნას; შემდეგ კი, ამ მოდელის მიხედვით ახალი ჯიშის გამოყვანას.

თანამედროვე ეტაპზე სელექციამ უნდა გადაჭრას შემდეგი პრობლემები: 1.მავნებლებისა და დაავადებებისადმი გამძლე ფორმების გამოყვანა ერთი ფორმიდან მეორეში გენების გადატანით; 2. სტრესული ფაქტორებისადმი (გვალვა, ყინვა, ნიადაგის მარილიანობა, მჟაუიანობა და მისთ.) მედეგი ჯიშების გამოყვანა; 3. ჯიშებში პერბიციდებისადმი რეზისტენტობის ამაღლება; 4. ჯიშის ზრდის ტემპისა და უხმოსაველიანობის ამაღლების პროდუქტის ხარისხთან შეთავსება.

სელექციაში დაინერგა ახალი მეთოდები: ***უჯრედული ინჟინერია*** და ***გენური ინჟინერია***. ისინი მიზნად ისახავს უჯრედებისა და დნმ-ს მოლეკულების გამოყენებით იაფი, უხმოსავლიანი ჯიშების გამოყვანას. მანიპულირებისთვის ცალკეულ უჯრედს ან ქსოვილებს იყენებენ. მათ ხელოვნურ საკვებ არეზე ავითარებენ. ასე მაგალითად, მცენარეს პატარა ნაწილს აჭრიან, უჯრედებს ერთმანეთისგან აცალკევებენ და სპეციალურ საკვებ არეზე ათავსებენ. უჯრედები მრავლდება და თითოეული მათგანიდან რულყოფილი მცენარე ყალიბდება. ***(იხ. სურ. 10.3)*** როდესაც მარილიანობისადმი გამძლე ჯიშის შექმნა სურთ, მცენარის განცალკევებული უჯრედები ისეთ საკვებ არეზე გადააქვთ, რომელშიც მარილთა შემცველობა მომატებულია. ათასობით უჯრედი ვერ უძლებს ასეთ პირობებს და იღუპება. მხოლოდ ერთეულს აღმოაჩნდება უნარი, გაუძლოს ჭარბ მარილიანობას. გადარჩენილი უჯრედიდან მარილიანობისადმი მედეგ სრულყოფილ ჯიშს იღებენ. ამ გზით ერთ წელიწადში გამოიყვანეს მარილიანობისადმი გამძლე ქობოსტოს, ქერის, ტრიტიკალეს ჯიშები. ტრადიციული მეთოდებით ამგვარი ჯიშის შექმნას ხუთ წელზე მეტი სჭირდება. სელექციონერი აღარაა დამოკიდებული წელიწადის დროზე, მუშაობაში ხელი არ ეშლება კლიმატური პირობებით. ლაბორატორიაში ამ სახის სამუშაოების შესრულება ნებისმიერ დროს არის შესაძლებელი. ამასთანავე, პატარა საცდელ ჯამზე ათასობით უჯრედის (მომავალი მცენარის) მოთავსება შეიძლება.

სელექციაში ნარმატებით იყენებენ გენური ინჟინერიის მეთოდს. გენური ინჟინერიის დროს ერთი სახეობიდან გამოყოფილი გენები ხელოვნურად შეაქვეთ სრულიად განსხვავებული სახეობის ორგანიზმში. მაგალითად, ზოგიერთ მიკრობში სინთეზირდება ტოქსიკური ცილა, რომელიც მწერს კლავს. იგი უვნებელია ძუძუმწოვრებისა და ადამიანისთვის. მიკრობიდან გამოყვეს ტოქსიკური ცილის მასინთეზირებელი გენი და შეიტანეს კულტურული მცენარის უჯრედში. უჯრედიდან მიღებულ მცენარესაც აღმოაჩნდა ტოქსიკური ცილის სინთეზის უნარი. საკმარისია, მწერმა მცენარის რომელიმე მცირე ნაწილი შეჭამოს, რომ იგი იღუპება. ***(იხ. სურ. 10.7)*** ამჟამად მიღებულია მწერებისადმი გამძლე ბრინჯის, სიმინდის, კარტოფილის, პომიდვრის ჯიშები. ამ სახის ჯიშების მიღება მეტად მნიშვნელოვანია. მავნებლების წინააღმდეგ აღარ იყენებენ ძვირადღირებულ ქიმიკატებს. ამასთანავე, გარემო არ ბინძურდება ამ სახის ნივთიერებებით, რომლებიც საფრთხეს უქმნის სასარგებლო მწერებს, ფრინველებს, აგრეთვე ადამიანს. სარეველების წინააღმდეგ ფერმერები ქიმიკატებს იყენებენ. მათ ნარმოებაზე ყოველწლიურად მსოფლიოში 10 მლრდ დოლარზე მეტი იხარჯება. მიუხედავად ამისა, მოსავლის 10% სარეველების გამო იკარგება. ქიმიკატს შერჩევითი მოქმედების უნარი არ გააჩნია. იგი თუ კულტურულ მცენარეზე მოხვდა, მასაც ანადგურებს. გენური ინჟინერიის მეთოდებით გამოყვანილია ქიმიკატებისადმი მდგრადი ჯიშები: სარეველა იღუპება, კულტურული მცენარე კი არა.

გენური ინჟინერიის მეთოდების გამოყენებით შექმნილია ყინვაგამძლე ვაზი. მას სატაცურა კომბოსტოდან გამოყოფილი ყინვაგამძლეობის გენი ჩაუნერგეს. ტრადიციული მეთოდებით ამგვარი ჯიშის შექმნა შეუძლებელია. ისინი არამონათესავე სახეობებია და ერთმანეთს არ ეჯვარებიან. ამ გზით შექმნილ ჯიშებს **გენმოდიფიცირებულს**, ანუ **ტრანსგენურს**, უწოდებენ.

ამავე გზით მცენარეებში გამოყვანილია ვირუსისადმი მედეგი ჯიშები. თამბაქოს მოსავლიანობას მკვეთრად აქვეითებს მოზაიკური დაავადების გამომწვევი ვირუსი. ***(იხ. სურ. 7.25)*** იგი პომიდორსაც აავადებს. აშშ-ში ამ ვირუსული დაავადებით მიყენებული ნლიური ზარალი 50 მილინ დოლარს აღემატება. მეცნიერებმა ვირუსის გარსის ცილის მასინთეზირებელი გენი თამბაქოს ქრომოსომაში ჩანერგეს და დაავადებისადმი იმუნორეზისტენტული ჯიში გამოიყვანეს. ამ შემთხვევაში თავისებურ ვაქცინაციასთან გვაქვს საქმე. ამავე მეთოდით ვირუსისადმი იმუნური ჯიშები გამოყვანილია პომიდორში, კარტოფილსა და იონჯაში.

მცენარეებისგან განსხვავებით, ხელოვნურ არეზე განვითარებული ცხოველური უჯრედებიდან მხოლოდ ზოგიერთს აქვს სრულყოფილი ორგანიზმის ნარმოქმნის უნარი –ასეთია ზიგოტა და ზოგიერთი ემბრიონული უჯრედი. ზიგოტას ბირთვს აცლიან და სანაცვლოდ სხვა ორგანიზმიდან გამოყოფილი ბირთვი შეაქვთ. ასეთ უჯრედს **კლონირებული** ენოდება, მიღებულ ორგანიზმს კი – **კლონი**. კლონირებული უჯრედი შეაქვთ სხვა ცხოველის (სუროგატი მშობლის) საშვილოსნოში, სადაც ნორმალურ ემბრიონულ განვითარებას გადის. ამჟამად მიღებულია მაიმუნის, თაგვის, ძროხის, ცხვრის, ბოცერის და სხვა ცხოველების კლონები. ***(იხ. სურ. 10.4; თავი 10.3)***.

ატლანტის ოკეანეში ბინადარი ორაგულის კვერცხუჯრედში ჩანერგეს ზრდის ჰორმონისა და სიცივის მედეგობის გენები. ცივ წყლებში ბინადარი ტრანსგენური ორაგულები გაცილებით სწრაფად იზრდებიან. ისინი ზომით 6 — 7-ჯერ მოზრდილები არიან ჩვეულებრივ თევზებთან შედარებით.

გენმოდიფიცირება სიკეთესთან ერთად გარკვეულ საფრთხესაც ქმნის. ბიოუსაფრთხოების მკაცრი ზომების მიღებაა საჭირო. მაგალითად, ქიმიკატებისადმი მდგრადმა მცენარე რაფსმა მტვრის მარცვლების გზით ეს ნიშანი მონათესავე სარეველებს გადასცა. საჭიროა ბიოუსაფრთხოების ობიექტური შეფასება.

თავი 8. ადამიანის ანატომია და ფიზიოლოგია

8.1. ნერვული და ენდოკრინული სისტემები

8.1.1. ნეირონი, ნერვული იმპულსი

ნერვული სისტემა უზრუნველყოფს ორგანოებისა და ორგანოთა სისტემების შეთანხმებულ მუშაობას. ამიტომ ორგანიზმი მოქმედებს, როგორც ერთი მთლიანი. მაგალითად: ფიზიკური მუშაობისას კუნთების ინტენსიურ მოქმედებას მოსდევს სუნთქვის გახშირება, ვინაიდან აღარ არის საკმარისი კუნთებისათვის ჩვეულებრივი რიტმით მიწოდებული ჟანგბადი. იგი კუნთებამდე სისხლის მეშვეობით აღწევს. მაგრამ მარტო სუნთქვის გახშირება ვერ უზრუნველყოფს სათანადო რაოდენობის ჟანგბადის მიწოდებას, საჭირო ხდება სისხლის მიმოქცევის გაძლიერებაც, ეს კი გულის მუშაობის გახშირებით მიიღწევა. აღწერილ პროცესებს ნარმართავს ნერვული სისტემა. იგი ათანხმებს კუნთების მუშაობას სუნთქვისა და სისხლის მიმოქცევის სისტემებთან.

ორგანიზმი მუდმივად ცვლად გარემოსთან კავშირს ნერვული სისტემის საშუალებით ამყარებს. ეს ქცე-

ცხრილი 8.1.
ორგანიზმის მოქმედებანი, რომლებსაც ახორციელებს და აკონტროლებს თავის ტვინი

გარემოსთან კავშირი ხორციელდება	ორგანიზმში მიმდინარე პროცესებია	გონებრივი მოქმედებებია
სმენით, მხედველობით, შეხებით, ყნოსვით, გემოვნებით, მეტყველებით	სუნთქვა, კვება, სმა, სისხლის წნევისა და ტემპერატურის რეგულაცია, სხეულის პოზის რეგულირება, მოძრაობის რეგულაცია, ჰორმონთა მოქმედების რეგულირება	დასწავლა, წერა, ხატვა, მუსიკა, კითხვა, გადაწყვეტილების მიღება, გამოთვლა, ყურადღება, ძილი და სიზმარი

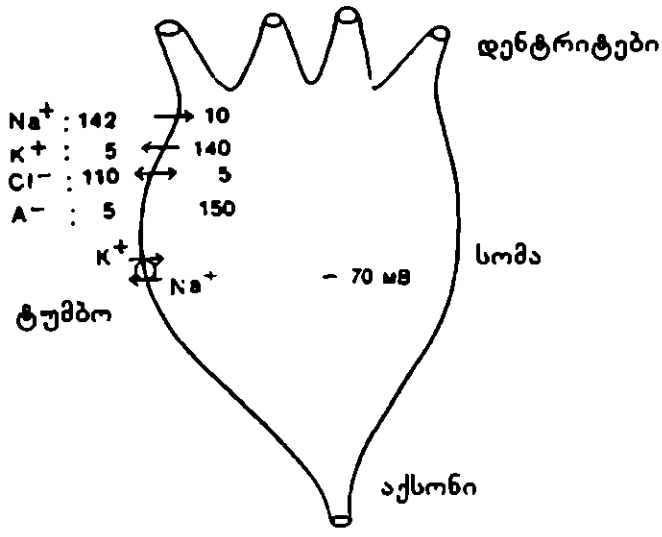
ვების მეშვეობით ხორციელდება. ქცევები მრავალფეროვანია, რაც გამონვეულია გარემოსა და მასში მიმდინარე პროცესთა ცვალებადობით. თუ ორგანიზმმა ვერ მოახერხა სასარგებლო ქცევის მიზანსწრაფული ქცევის განხორციელება, იგი შეიძლება დაიღუპოს კიდეც.

ნერვული სისტემის მოქმედება საფუძვლად უდევს ადამიანის გრძნობებს, დასწავლასა და მეხსიერებას, მეტყველებასა და აზროვნებას. მისი მეშვეობით ადამიანი გამოხატავს პიროვნებისადმი სიმპათიასა და მოვლენების მიმართ დადებით ან უარყოფით დამოკიდებულებას.

ადამიანი დაახლოებით 50 მილიარდი ნერვული უჯრედით არეგულირებს ორგანიზმის ფუნქციებს *(ცხრილი 8.1)*. ამ მხრივ საინტერესოა იმ კოგნიტურ ანუ შემეცნებითი პროცესების კვლევა, რომლებიც მიმდინარეობს ადამიანთა თავის ტვინში და მათ მისცა უნარი შეექმნა სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი და გაბატონებულიყო ბიოსფეროში. ნეირობიოლოგთა გამოთვლებით დადგენილი იქნა, რომ ადამიანის თავის ტვინი ყოველდღიურად 100 ათას გადაწყვეტილებას ღებულობს.

ნეირონული დოქტრინა. იმისათვის, რომ გაეერკვეთ თუ როგორ მოქმედებს ნერვული სისტემა, უნდა ვიცოდეთ მისი შემადგენელი ფუნქციური ერთეულების მორფოლოგია და მასში მიმდინარე პროცესები. ნერვული სისტემის ძირითად მორფო-ფიზიოლოგიურ ერთეულს ნერვული უჯრედი წარმოადგენს. XIX საუკუნეში გერმანელმა ნორმალური და პათოლოგიური ანატომიის პროფესორმა ვ. ვალდეიერმა ნერვულ უჯრედს ნეირონი უწოდა. მან სამედიცინო ჟურნალში გამოაქვეყნა სტატია, რომელშიც გაანალიზებული იყო იმდროინდელი მონაცემები ნერვული სისტემის უჯრედული აგებულების შესახებ. სტატიაში განხილულმა ფაქტებმა შესაძლებელი გახადა უჯრედული თეორიის პოსტულატები ნერვულ სისტემაზეც გავრცელებულიყო. შეიქმნა ნეირონული დოქტრინა — თეორია ნერვული სისტემის უჯრედული აგებულების შესახებ. დაირღვა შეხედულება ნერვული სისტემის ერთიანი ბადებრივი აგებულების არსებობაზე, რომელიც თითქოს იყო გაბნეული მთელ ორგანიზმში.

მოსვენების პოტენციალი. ცოცხალი ქსოვილის ორ წერტილს შორის არსებული პოტენციალთა სხვაობა ბიოელექტრული აქტივობის მაჩვენებელია. პოტენციალთა სხვაობა იძლევა ინფორმაციას უჯრედისა და ორგანოს მდგომარეობის შესახებ. ნეირონი გარემოცულია რთული აგებულების პლაზმური მემბრანით, რომელიც კარგი ელექტროიზოლიატორია. მემბრანის ორივე მხარეზე უჯრედშიგა და უჯრედგარე სივრცეში არსებობს ნი-

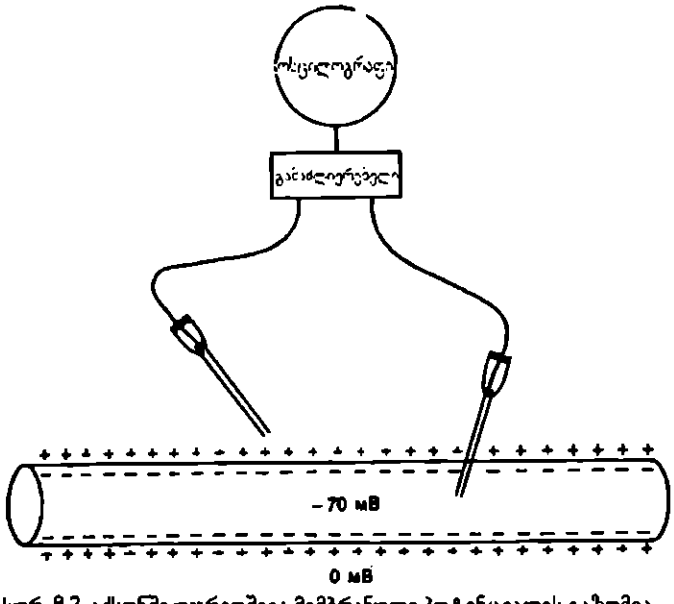


სურ. 8.1. იონთა და ორგანულ ანიონთა (A^-) განაწილება ნეირონის მემბრანის ორივე მხარეზე

ვთიერებები, რომელთა გაელენით მემბრანის გარეთა ზედაპირი დამუხტულია დადებითად, შიდა კი — უარყოფითად *(სურ. 8.1)*.

მემბრანული პოტენციალის გასაზომად გამოიყენება მიკროელექტროდი, რომლის დიამეტრიც ძალიან მცირეა და შეიძლება მისი უჯრედში ისე შეყვანა, რომ უჯრედი არ დაზიანდეს. თუ ორ მიკროელექტროდს ნეირონის ზედაპირზე მოვათავსებთ პოტენციალთა სხვაობა არ დაფიქსირდება. პოტენციალთა სხვაობა არ დაფიქსირდება იმ შემთხვევაშიც, როდესაც ორივე ელექტროდს ნეირონში მოვათავსებთ. თუ ერთი მიკროელექტროდი მოთავსებული იქნება მემბრანის ზედაპირზე, მეორე კი — ნეირონში, მაშინ დარეგისტრირდება პოტენციალთა სხვაობა (*სურ.* 8.2). პოტენციალი -60-90 მლ ვოლტის ფარგლებში მერყეობს. მას მემბრანული ანუ მოსვენების პოტენციალი ეწოდება. მოსვენების პოტენციალი ნეირონის ყველა ნერტილში პრაქტიკულად ერთნაირია. ნეირონი მოსვენების პოტენციალის სიდიდეს ინარჩუნებს მანამდე, სანამ მასზე არ იმოქმედებს გარეგანი გამაღიზიანებელი ფაქტორი.

საინტერესოა გავერკვეთ, რატომ არის ნეირონის გარეთა ნაწილი დადებითად დამუხტული, შიდა კი — უარყოფითად. ამ პროცესის შექმნაში მონაწილეობს ქლორის (Cl^-), ნატრიუმის (Na^+), კალიუმის (K^+), კალციუმის (Ca^{2+}) და ორგანული ანიონები (A^-). ამ ნაერთთა არათანაბარი გადანაწილება მემბრანის გარეთა და შიგნითა ზედაპირზე იწვევს პოლარიზებას. მემბრანის გარე ზედაპირზე ჭარბობს დადებითად დამუხტული ნაერთების კონცენტრაცია. ერთვალენტიან იონთა – ქლორის (Cl^-), ნატრიუმის (Na^+) და კალიუმის (K^+) კონცენტრაცია მემბრანის გარე ზედაპირზე და მის შიგნით განსხვავებულია. განსხვავების რაოდენობრივი დამოკიდებულება ილუსტრირებულია სურათზე *(სურ. 8.1)*.



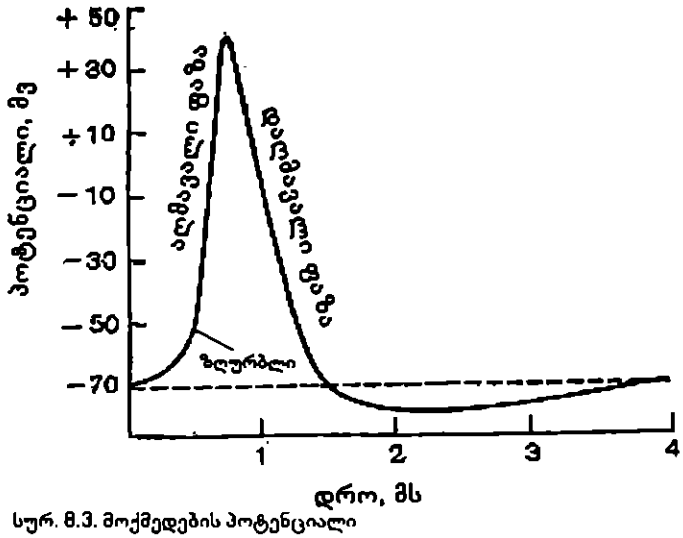
სურ. 8.2. აქსონში უჯრედშიგა მემბრანული პოტენციალის გაზომვა

იონთა ასეთი გადანაწილება გამონვეულია ორი ფაქტორით. პირველია - უარყოფითად დამუხტულ ორგანულ ნაერთთა სიმრავლე ნეირონის შიგნით; მეორე - მემბრანაში არსებული აქტიური ტრანსპორტის სისტემა, რომლის ამოქმედებით ნატრიუმი უჯრედიდან ამოიტუმბება, ხოლო კალიუმი უჯრედში ჩაიტუმბება. ქლორის, ნატრიუმისა და კალიუმის იონების სიმცირის გამო მემბრანა მათ იოლად ატარებს. ორგანულ ანიონებს მათი სიდიდის გამო მემბრანა ვერ ატარებს და ხდება მათი დაგროვება უჯრედში. გამოდის, რომ მემბრანული პოტენციალი იქმნება პასიური და აქტიური მექანიზმებით. ასეთი მექანიზმების მონაწილეობის ხარისხი სხვადასხვა ნეირონში განსხვავებულია. მემბრანული პოტენციალი მოსვენების შემთხვევაშიც დამოკიდებულია ნეირონთა სხვადასხვა ფუნქციის შესრულებასთან. ნეირონის აგზნების დროს ხდება იმ ელექტრული ენერგიის გამოყენება, რომელიც აკუმულირებულია მოსვენების მემბრანულ პოტენციალში.

მოქმედების პოტენციალი. 1850 წელს ჰელმგოლცმა პირველმა მოახერხა გაეზომა ნერვული იმპულსის გავრცელების სიჩქარე. აღმოჩნდა, რომ ბაყაყის დიდ ნერვულ ბოჭკოში ნერვული იმპულსი მოძრაობს წამში 40 მეტრის სიჩქარით. დადგინდა, რომ ნერვული იმპულსის გაერცელება აქტიური ბიოლოგიური პროცესია და არა ელექტროობის ფიზიკური გავრცელება გამტარში. ამიტომ ნერვულ იმპულს მოქმედების პოტენციალი ეწოდება. ნათელი გახდა, რომ ნერვული იმპულსის გამომუშავება ნერვული სისტემის მოქმედების საფუძველია.

მემბრანული პოტენციალის (-70 მვ) შემცირება (დეპოლარიზაცია — ზღურბლამდე (-50 მვ) იწვევს მო-

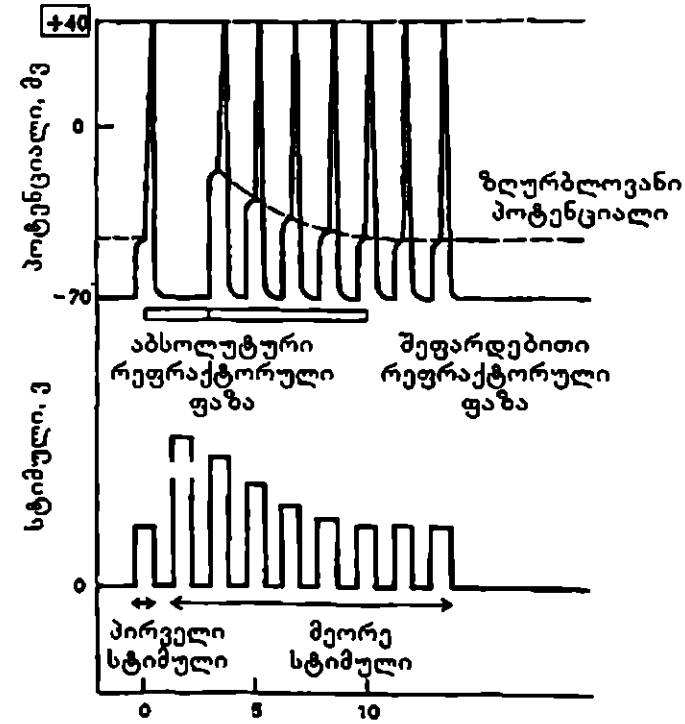
ქმედების პოტენციალის წარმოშობას. ამ დროს იზრდება ნატრიუმის (Na^+) განვლადობა მემბრანაში და ის დიდი რაოდენობით შედის უჯრედში. წარმოიქმნება მოქმედების პოტენციალის აღმავალი ფაზა. მოქმედების პოტენციალის დაღმავალი ფაზა წარმოიქმნება ნატრიუმის (Na^+) განვლადობის შემცირებით და კალიუმის (K^+) განვლადობის გაზრდით მემბრანაში. კალიუმი დიდი რაოდენობით გამოდის უჯრედიდან.



სურ. 8.3. მოქმედების პოტენციალი

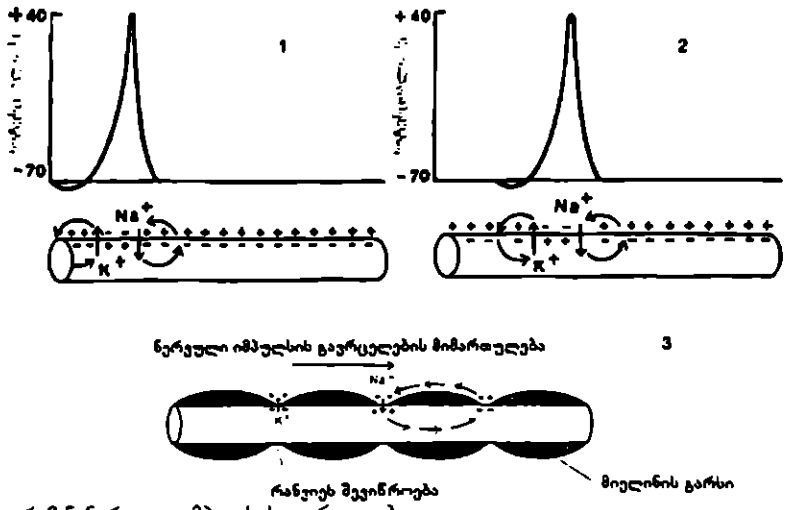
მოქმედების პოტენციალის ანუ ნერვული იმპულსის წარმოქმნა დამოკიდებულია მემბრანული პოტენციალის ხანმოკლე შემცირებასთან, რომელსაც დეპოლარიზაცია ეწოდება (*სურ.* 8.3). დეპოლარიზაცია უნდა მოხდეს ზღურბლოვან დონემდე. ამ დროს მემბრანაში იხსნება სპეციფიური (Na^+)-ის არხები და ხდება მისი დიდი რაოდენობით შესვლა უჯრედში. უჯრედში მოხვედრილი დადებითი იონები დეპოლარიზაციის საფუძველია. მოხდება ნერვული იმპულსის აღმავალი ფაზა. წყდება ნატრიუმის შესვლა უჯრედში. იწყება უჯრედიდან (K^+) გამოსვლა. დაიწყება მოქმედების პოტენციალის დაღმავალი ფაზა. აქსონში ნერვული იმპულსის ნარმოშობა ხდება ნეირონის სომასთან ახლოს. ვრცელდება მთელი აქსიონის გასწვრივ და სარეგულირებელ ორგანომდე აღწევს. ამის შემდეგ სრულდება რაღაც მოქმედება და ამიტომ ჰქვია მოქმედების პოტენციალი.

მოქმედების პოტენციალის ნარმოშობისას აქსონის მემბრანა გადადის რეფრაქტორულ მდგომარეობაში. მისი აგზნებადობა ქვეითდება *(სურ. 8.4).* შესაძლებელია დადგინდეს რეფრაქტორული მდგომარეობის ხანგრძლივობა. თუ აქსონს გავაღიზიანებთ ორი ელექტრული სტიმულით ისე, რომ მათ შორის ინტერვალი იყოს 10 მს-ზე მეტი, მაშინ ორივე სტიმული გამოიწვევს მოქმედების პოტენციალს. იმ შემთხვევაში, თუ სტიმულთა შორის ინტერვალს შევამცირებთ, გავაღიზიანებთ 10 მს-ზე დაბალი ინტერვალით, მაშინ მეორე იმპულსი მოქმედების პოტენციალს ვერ წარმოშობს. ასეთ მდგომარეობას ეწოდება შეფარდებითი რეფრაქტორული ფაზა. შეფარდებით რეფრაქტორულ ფაზაში, ზღურბლი მოქმედების პოტენციალისა გაზრდილია. იმ შემთხვევაში, თუ ორ გამაღიზიანებელ სტიმულს შორის ინტერვალს ძალიან შევამცირებთ, გაეხდით 3 მს-ზე მცირეს, მეორე სტიმული მოხვდება აბსოლუტურ რეფრაქტორულ პერიოდში. ამ პერიოდში აქსონი მთლიანად აუგზნებადია, ამიტომ რეფრაქტორულ მდგომარეობას დიდი მნიშვნელობა აქვს აქსონის ფუნქციონირებაში.



სურ. 8.4. აბსოლუტური და შეფარდებითი რეფრაქტორული ფაზები (განმარტება ტექსტში)

ნერვული იმპულსის გავრცელება. ნებისმიერ ზღურბლოვან გამღიზიანებელს შეუძლია ნეირონი მოსვენებული მდგომარეობიდან გადაიყვანოს აქტიურ მდგომარეობაში. მოსვენების პოტენციალი გადადის, მოქმედების პოტენციალში ნარმოიქმნება ნერვული იმპულსი, რომელიც შეუჩერებლივ იწყებს გავრცელებას აქსონში. აქსონში აგზნების გავრცელებას თან ახლავს ელექტრო დენის აღძვრა. მოქმედების პოტენციალის სიდიდე სხვადასხვა ბოჭკოში 5-10—ჯერ აღემატება აგზნებადობის ზღურბლს. ამიტომ აგზნება უდეკრემენტოდ (ჩაუქრობლად) ვრცელდება მემბრანის გასწვრივ, აქსონის მემბრანის გასწვრივ ნარმოქმნილი ელექტრული მოვ-



სურ. 8.5. ნერვული იმპულსის გავრცელება
1 და 2 სქემაზე ნაჩვენებია პოტენციალი და იონური დენის გაავრცელება აქსონში. სქემა 3-ზე ნაჩვენებია რანვიეს შეკვრობაში თანმიმდევრულად განხორციელებული პროცესები: ზღურბლის დეპოლარიზაცია; Na^+ შესვლა უჯრედში; K^+ გამოსვლა უჯრედიდან და რეპოლარიზაცია. Na^+ შესვლა უჯრედში ხდება რანვიეს შეკვრობაში და ინვევს გვერდით არსებული შეკვრობების აგზნებას. ამ პროცესთა თანამიმდევრობა ინვევს ნერვული იმპულსის გავრცელებას აქსონის მთელ სიგრძეზე.

ლენების რეგისტრირება ხდება სპეციალური ხელსაწყოების საშუალებით. ამ გზით მიღებულმა ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზმა ფიზიოლოგებს მისცა საშუალება დაედგინათ აგზნების ელექტრული ბუნების მთელი რიგი კანონზომიერებები.

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ აგზნების გავრცელების მექანიზმი ბოჭკოს ერთი უბნიდან მეორეში პრინციპულად არ განსხვავდება გაღიზიანების ნერტილში იმპულსის აღმოცენების მექანიზმისაგან. ორივე შემთხვევაში მოქმედების პოტენციალი წარმოიქმნება მემბრანის დეპოლარიზაციის შედეგად.

მემბრანის დეპოლარიზაციის კრიტიკულ დონემდე მიყვანაში დიდ როლს თამაშობს (Na^+). ის შედის ბოჭკოს მემბრანაში და ცვლის გარე ზედაპირის დადებით მუხტს. დადებითი ხდება მემბრანის შიდა ნაწილი. გარეთა ზედაპირი კი უარყოფითი *(სურ. 8.5)*. ნერვული იმპულსის მოძრაობა აქსონში ესტაფეტის მაგვარია. ბოჭკოს ერთი უბანი მიმღებია გაღიზიანების და ამაეე დროს აღიზიანებს მეზობელ უბანს. ამგვარი მოქმედებით ნერვული იმპულსი აქსონის ბორცვაკიდან იწყება და გადის მთელ ბოჭკოს გასწვრივ, ბოლოვდება სხვა ნეირონებზე ან ეფექტორებში. ნერვული იმპულსის გატარების სიჩქარე სხვადასხვა ბოჭკოში ფართოდ მერყეობს. სხვადასხვაა აგრეთვე ნერვული იმპულსის გავლილი მანძილიც.

სინაფსი. ნეიროფიზიოლოგიის ძირითადი პრობლემა მდგომარეობს იმაში, რომ გაეერკვეთ, როგორ ხდება ფუნქციური დაკავშირება ნეირონებს შორის და ნეირონების ეფექტორულ უჯრედებთან. საინტერესოა, როგორ იქმნება მრავალფეროვანი ნერვული წრეები, რომლებიც არეგულირებს ქცევებს. გავიხსენოთ ცნობილი ბიოლოგ-ევოლუციონისტის ფეოდოსია დობრჟანსკის გამოთქმა: „ნეირობიოლოგიაში არაფერს არა აქვს აზრი, თუ ის განიხილება ქცევითი ასპექტების გარეშე". ნეირონთა დაკავშირება ხდება სინაფსების მეშვეობით. სინაფსებში მიმდინარე პროცესების კვლევა, საშუალებას იძლევა უფრო ღრმად ჩავიხედოთ თავის ტვინში. გაეერკვეთ ამ მახვილგონივრული კომპიუტერის მოქმედებაში.

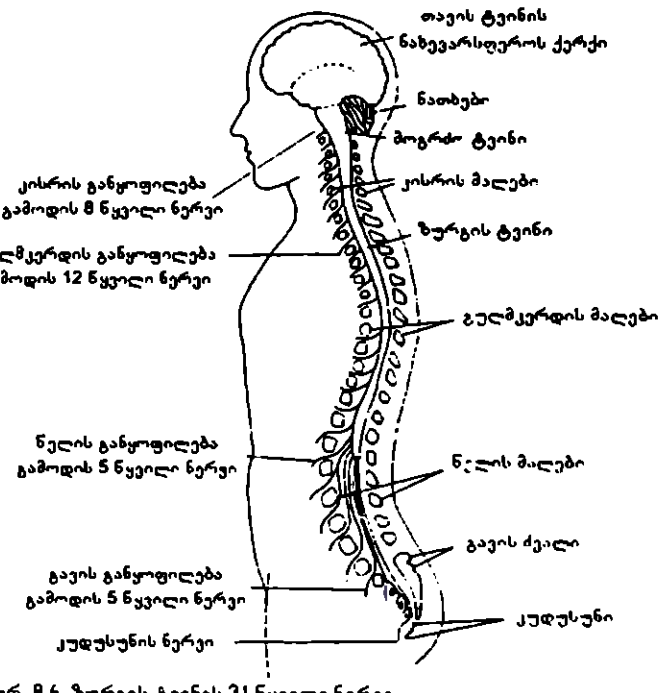
ტერმინი სინაფსი შემოტანილია 1897 წელს ჩ. შერინგტონის მიერ. სინაფსი ბერძნულია და ქართულად კავშირს ნიშნავს. ნეირობიოლოგ ს. პაღეუს ეკუთვნის გამოთქმა: „სინაფსის კონცეფცია, გულია ნეირონული დოქტრინისა". ჩ. შერინგტონი ყოველთვის აღნიშნავდა, რომ სინაფსი ძირითადად ფუნქციური დაკავშირებაა. გამოთქმა არ არის შემთხვევითი, ვინაიდან სინაფსი ნეირონის განუყოფელი ნაწილია. ნეირონი არის დამოუკიდებელი უჯრედი, რომელიც სინაფსების მეშვეობით უკავშირდება სხვა უჯრედებს და გადასცემს სპეციფიკურ ინფორმაციას ნერვული იმპულსების სახით, რომლის გავლენით სრულდება ნებისმიერი მოქმედება. გაარჩნია, რომელ ფუნქციურ ნერვულ ქსელში იქნება გაერთიანებული ესა თუ ის ნეირონი. ნეირონი სინაფსებით ღებულობს ინფორმაციას სხვა ნეირონებიდან. გამოთქმულია საკამათო საკითხი, თითქოს ერთი ნეირონი ღებულობს ინფორმაციას 10000 ნეირონისაგან და თვითონ ამყარებს კავშირს 1000 ნეირონთან. ზოგიერთი მკვლევარი ასეთ კავშირს უფრო დიდი რაოდენობით წარმოიდგენს.

ცნობილია პრესინაფსსა და პოსტსინაფსს შორის ურთიერთობის ორი სახე — ქიმიური და ელექტრული. იხ. თავის 4.6. ქსოვილები — ნერვული ქსოვილები.

ქიმიური გადაცემის თანახმად, მოქმედების დენი აღწევს ბოჭკოს დაბოლოებას. ბოჭკოს დაბოლოებებში გეხვდება სინაფსური ბუშტუკები, რომლებშიც მოთავსებულია მედიატორები. ბუშტუკები სკდება და იქედან გადმოღვრილი მედიატორი ჩაიღვრება სინაფსის ნაპრალში. სწრაფად დიფუნდირებს და მოქმედებს ინერვირებული უჯრედის მემბრანაზე. ამ მემბრანას ეწოდება პოსტსინაფსური, ის ესაზღვრება ნეერულ დაბოლოებას. პოსტსინაფსური მემბრანა თავის თვისებებით განსხვავდება იმ მემბრანისგან, რომელიც ფარავს უჯრედის დანარჩენ ნაწილს. ძირითადი განსხვავება იმაშია, რომ ახასიათებს დიდი ქიმიური მგრძნობელობა მედიატორის მიმართ და არ რეაგირებს ელექტრული დენის მიმართ. ნერვული იმპულსის გავრცელება დამოკიდებულია მედიატორისა და პოსტსინაფსური მემბრანის ურთიერთობაზე. თუ მედიატორი გამოიწვევს პოსტსინაფსური მემბრანის დეპოლარიზაციას, ნერვული იმპულსი გავრცელდება პოსტსინაფსურ ნეირონში. იმ შემთხვევაში,

თუ მედიატორი გამოიწვევს პოსტსინაფსის ჰიპერპოლარიზაციას ნერვული იმპულსი არ გავრცელდება, მოხდება ნეირონის შეკავება. ქიმიურ სინაფსში ნერვული იმპულსის გავრცელება ხდება ერთი მიმართულებით. პრესინაფსიდან ნერვული იმპულსი გადადის პოსტსინაფსში. სინაფსში ხდება ნერვული იმპულსის ხანმოკლე გატარების შენელება. მას სინაფსური დაყოვნება ეწოდება, რომელიც გამოწვეულია მედიატორის გამოყოფით და მისი მოქმედების დროით პოსტსინაფსურ მემბრანაზე.

ელექტრული სინაფსების არსებობას დიდი ხანია ფიქრობენ, მაგრამ ნაკლებად იყო შესწავლილი. ბოლო დროს მეცნიერებმა დაადგინეს მისი მორფოლოგიური აგებულება და ფიზიოლოგიური პროცესები. ასეთი სინაფსების არსებობა აღმოჩნდა უხერხემლოთა ნერვული სისტემის სხვადასხვა ადგილას. ელექტრული სინაფსები გააჩნიათ აგრეთვე დაბალ საფეხურზე მდგომ ხერხემლიან ცხოველებს. ნერვული იმპულსის გადაცემა ელექტრულ სინაფსში უფრო სწრაფად ხდება, ვიდრე ქიმიურ სინაფსში.



სურ. 8.6. ზურგის ტვინის 31 წყვილი ნერვი

8.1.2 ნერვული სისტემის ანატომიური და ფუნქციური ორგანიზაცია

ადამიანის ნერვულ სისტემას ყოფენ ცენტრალურ და პერიფერიულ ნაწილებად. ცენტრალურ ნაწილში შედის თავისა და ზურგის ტვინი. თავის ტვინი მოთავსებულია ქალას ღრუში, ზურგის ტვინი კი — ხერხემლის არხში.

ნერვული სისტემის პერიფერიულ ნაწილს მიეკუთვნება ნერვული კვანძები და თავისა და ზურგის ტვინიდან გამომავალი ნერვები. თავის ტვინიდან გამოდის 12 წყვილი ნერვი, ზურგის ტვინიდან კი — 31 წყვილი. ნერვული კვანძები ნარმოქმნილია ნეირონთან სხეულის გროვებით და მდებარეობს სხეულის სხვადასხვა უბანში.

XIX საუკუნის დასაწყისში ფრანგმა ფიზიოლოგმა ფრანსუა ბიშამ ადამიანში მიმდინარე ფიზიოლოგიური პროცესები დაყო ცხოველურ და ორგანულ პროცესებად. მოგვიანებით ი. რეილმა შემოიღო ცნება ვეგეტატიური ნერვული სისტემა. ნერვული სისტემა ფუნქციის მიხედვით გაიყო ორად.

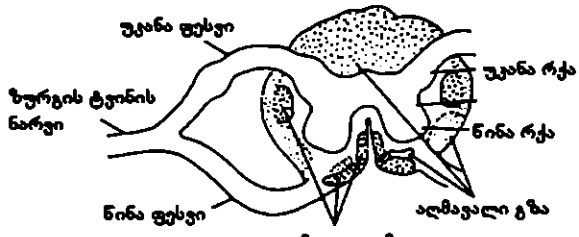
ნერვული სისტემის ნაწილს, რომელიც არეგულირებს ჩონჩხის კუნთების მოქმედებას, სომატური ენოდება (ბერძნ. soma — სხეული). სომატური ნერვული სისტემა ემორჩილება ადამიანის ნება-სურვილს. ადამიანს სურვილისამებრ შეუძლია დაჯდეს, ადგეს, გაიაროს, ივარჯიშოს, იცურაოს, დახატოს, დანეროს და ა. შ. ჩამოთვლილ მოძრაობებს იგი იწყებს, აგრძელებს ან წყვეტს სურვილის მიხედვით.

ნერვული სისტემის ნაწილს, რომელიც არეგულირებს შინაგან ორგანოთა მოქმედებას, აეტონომიური ნერვული სისტემა ეწოდება. მისი მოქმედება არ ემორჩილება ადამიანის სურვილს. მაგალითად, ადამიანს არ შეუძლია სურვილისამებრ შეანელოს ან აჩქაროს გულის მუშაობა, დააჩქაროს საჭმლის მონელების პროცესი, შეწყვიტოს ოფლის გამოყოფა და სხვ.

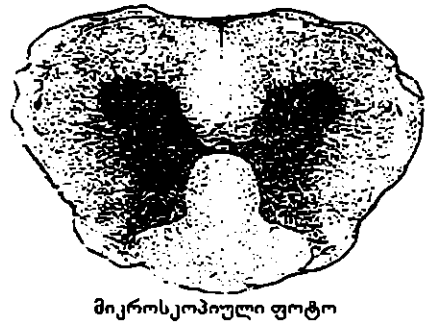
ავტონომიურ ნერვულ სისტემას ვისცერალურსაც უწოდებენ (ლათ. visera - შიგნეულობა). იგი უზრუნველყოფს ყველა შინაგანი ორგანოს, სისხლძარღვებისა და საოფლე ჯირკვლების ეფერენტურ ინერვაციას, აგრეთვე ჩონჩხის კუნთების, რეცეპტორებისა და ნანილობრივ თვით ნერვული სისტემის ტროფიკულ ინერვაციას.

ჩამონათვალ ორგანოთა რეგულირებას ვეგეტატიურსაც უწოდებენ. ვეგეტატიური ასევე კი ცხოველების კვებასთან და ზრდასთან არის დაკავშირებული. ცენტრალური ნერვული სისტემის უმაღლესი განყოფილებებისაგან ვეგეტატიური ნერვული სისტემის ავტონომურობაზე წარმოდგენა პირობითია. მრავალი ცდით ნარმოებდა პირობითი რეფლექსების გამომუშავება შინაგან ორგანოებზე. დადასტურებულია, რომ თავის ტვინის დიდი ჰემისფეროების ქერქი არეგულირებს ვეგეტატური ნერვული სისტემით ინერვირებული ყველა ორგანოს მოქმედებას და აკონტროლებს მათ მოქმედებას ორგანიზმში მიმდინარე მოთხოვნილების შესაბამისად. ამიტომ ჯობია გამოვიყენოთ ვისცერალური რეგულაცია, რომელიც ზუსტად ასახავს მის ანატომიურ შესაბამისობას და განხორციელებულ პროცესებს.

ზურგის ტვინის აგებულება და ფუნქციები. ზურგის ტვინი მოთავსებულია ხერხემლის ძელოვან არხში. ადამიანის ზურგის ტვინი დაახლოებით 45 სმ სიგრძისაა და 1 სმ დიამეტრის ზონარია, რომლის ცენტრში



სქემა



მიკროსკოპიული ფოტო

სურ. 8.7. ზურგის ტვინის განივი ჭრილი
ადამიანის ზურგის ტვინის განივი ჭრილის მიკროსკოპიული სურათი. ჭრილის შიგნით შავად ჩანს პეპლის ფორმის ზურგის ტვინის რუხი ნივთიერება, რომელშიც განლაგებულია ნეირონის სხეულები. რუხ ნივთიერებას ახვევია თეთრი ნივთიერება, რომელიც ნარმოადგენს მიელინიზირებულ აქსონებს. რუხ და თეთრ ნივთიერებას ახვევია ზურგის ტვინის სამი შრე.

გადის სითხით ამოვსებული ზურგის ტვინის არხი *(სურ. 8.6)*.

ზურგის ტვინის განივ ჭრილზე ჩანს *(სურ. 8.7)*, რომ ზურგის ტვინის არხის გარშემო მოთავსებულია რუხი ნივთიერება, რომელსაც ფრთაგაშლილი პეპლის ფორმა აქვს. რუხ ნივთიერებას ქმნის მამოძრავებელი და შუამდებარე ნეირონთა სხეულები დენდრიტებთან ერთად. რუხი ნივთიერება გარემოცულია თეთრი ნივთიერებით, რომელიც შედგება აქსონებისაგან. ისინი წარმოქმნის აღმავალ და დაღმავალ გამტარ გზებს. იმ გზას, რომლითაც ზურგის ტვინის ნეირონები უკავშირდება თავის ტვინის ნეირონებს აღმავალი ეწოდება, ხოლო იმ გზას, რომლითაც თავის ტვინის ნეირონები ზურგის ტვინს უკავშირდება, დაღმავალს უწოდებენ. აღმავალი და დაღმავალი გზებით ხდება თავისა და ზურგის ტვინის ნეირონებს შორის ნერვული იმპულსების გადაცემა. ამის შედეგად ხორციელდება საჭირო რეფლექსები *(ცხრილი 8.2)*.

ზურგის ტვინიდან გამოდის 31 წყვილი შერეული ნერვი, რომელთა მეშვეობითაც ზურგის ტვინი ჩონ-

ცხრილი 8.2
ადამიანის საზურგტვინო რეფლექსები

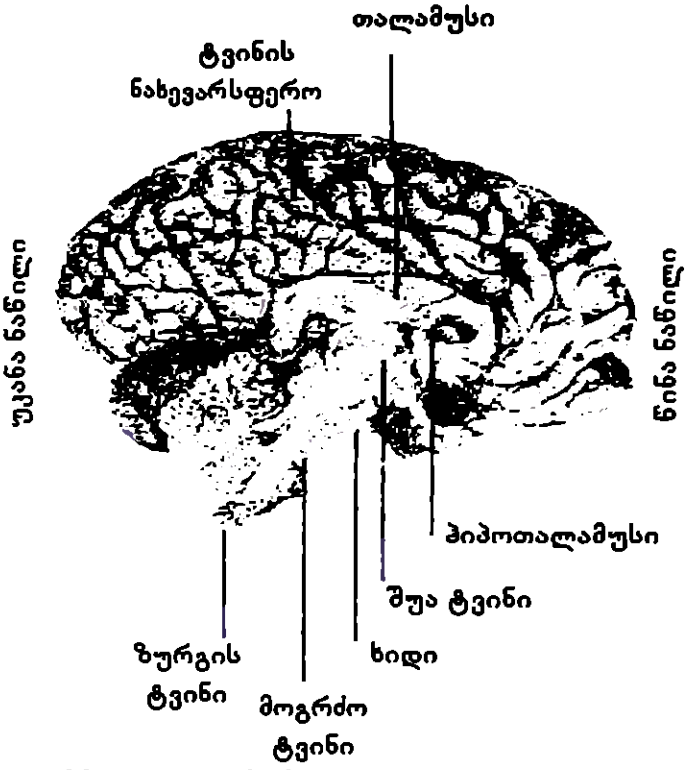
რეფლექსის სახელწოდება	გამოყენებული გაღიზიანება	რეფლექსური რეაქციის ხასიათი	რეფლექსში მონაწილე ნეირონების ლოკალიზება
მყესის პროპრიოცეპტული რეფლექსები:			
იდაყვის	მყესზე ჩაქუჩის დარტყმა (ხელი ოდნავ მოხრილია იდაყვში)	შეკუმშვა და ხელის მოხრა	ზურგის ტვინის კისრის მე-5—6 სეგმენტები
მუხლის	კვირისთავის ქვევით მყესზე ჩაქუჩის დარტყმა	შეკუმშვა და წვივის გაშლა	წელის მე-2—4 სეგმენტები
აქილევსის	აქილევსის მყესზე დარტყმა	ტერფის ძირისკენ მოხრა	გავის 1—2 სეგმენტები
მუცლის რეფლექსები:	კანის შტრიხული გაღიზიანება:	მუცლის მუსკულატურის შესაბამისი უბნების შეკუმშვა	გულმკერდის მე-8—9 სეგმენტები
ზედა	ქვედა ნეკნების პარალელურად		
შუა	ჭიპის დონეზე (პორიზონტალურად)		იგივე მე-9-10
ქვედა	საზარდულის ნაოჭის პარალელურად		იგივე მე-11—12
კრემასტერული სათესლეს რეფლექსი	ბარძაყის შიგნით ზედაპირის შტრიხული გაღიზიანება	შეკუმშვა და სათესლეს ანევა	წლის 1—2 სეგმენტები
ანალური რეფლექსი	უკანა გასავლის ახლოს შტრიხი ან ჩხვლეტა	სწორი ნაწლავის გარეთა სფინქტერის შეკუმშვა	გავის მე-4—5 სეგმენტები
ტერფის ძირის რეფლექსი	ტერფის ძირის სუსტი შტრიხული გაღიზიანება	თითებისა და ტერფის მოხრა	გავის 1—2 სეგმენტები
	ტერფის ძირის ძლიერი გაღიზიანება	თითების გაშლა და ფეხის მოხრა	

ჩხის კუნთებსა და ყველა შინაგან ორგანოს უკავშირდება. ზურგის ტვინი არ არის დაკავშირებული თავის კუნთებთან.

ზურგის ტვინში გადის იმ რეფლექსთა რკალები, რომლებთანაც დაკავშირებულია ჩონჩხის კუნთების შეკუმშვა ანუ მამოძრავებელი რეფლექსების რკალები. უმარტივესი მამოძრავებელი რეფლექსის მაგალითია მუსლიხ რეფლექსი. თუ ადამიანს ფეხი ფეხზე აქვს გადადებული და მუხლის ქვემოთ მყესზე მკვეთრად დავარტყამთ, ფეხი სწრაფად აინევა მაღლა. ამის მიზეზი ის არის, რომ მყესზე დარტყმის შედეგად მასთან დაკავშირებული კუნთი იჭიმება და კუნთში განლაგებულ რეცეპტორებში წარმოიქმნება ნერვული იმპულსები, რომლებიც მგრძნობიარე ნეირონის გრძელი მორჩებით ზურგის ტვინამდე აღწევს. ზურგის ტვინში ნერეული იმპულსი მამოძრავებელ ნეირონებს გადაეცემა, მათი აქსონით კი — შესაბამის კუნთს, კუნთი შეიკუმშება და ფეხი ზევით აინევს.

ზურგის ტვინის სხვა რეფლექსური რკალები უფრო რთულია. მამოძრაებელ ნეირონებს შორის ერთი ან რამდენიმე შუამდებარე ნეირონია ჩართული.

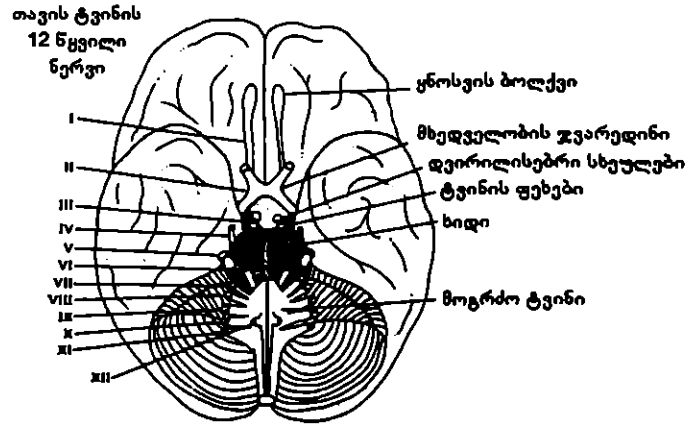
ზურგის ტვინის მოქმედებას თავის ტვინი არეგულირებს. რეცეპტორებიდან ზურგის ტვინში მისული ნერვული იმპულსი აღმავალი გამტარი გზებით ჯერ თავის ტვინში მოდის, ხოლო იქიდან დაღმავალი გზით ზურგის ტვინის გაელით გადაეცემა სხვადასხვა ორგანოს.



სურ. 8.8. პემისფეროთა შუაზე გაყოფილი ადამიანის თავის ტვინის მარცხენა ნაწილი

თუ ტრამვის შედეგად კავშირი გაწყდა თავისა და ზურგის ტვინს შორის, ზურგის ტვინის ამ რეფლექსების უმრავლესობა, რომელთა რკალები გადის დაზიანებული უბნის ქვეეით, ქრება. ასეთ ადამიანებს შეუძლიათ ლაპარაკი, ღეჭვა, თვალების მოძრაობა, მაგრამ სხეულის ქვედა ნაწილს დაკარგული აქვს მგრძნობიარობა და მოძრაობის უნარი.

თავის ტვინის აგებულება და ფუნქციები. ხერხემლიანებს შორის ადამიანის თავის ტვინი ყველაზე რთული აგებულებისა და, შესაბამისად, ურთულესი ფუნქციების შემსრულებელი ნარმონაქმნია. ადამიანის თავის ტვინი ყველაზე პლასტიკური ორგანოა ორგანიზმში. მისი მოქმედების მთავარი პრინციპი არის ადაპტაცია გარემოში, რომელიც ხორციელდება სწავლით. ტვინის მეხსიერება და აზროვნება პრაქტიკულად შეუზღუდავია. იგი მოთავსებულია ქალას ღრუში. ახალშობილის თავის ტვინი 300-400 გრამს იწონის, ზრდასრული ადამიანისა კი საშუალოდ 1450-1500 გრამია. თავის ტვინი შედგება მოგრძო ტვინის, ხიდის, ნათხემის, შუა ტვინის, შუამდებარე ტვინისა და დიდი ნახევარსფეროებისაგან *(სურ. 8.8)*. თავის ტვინიდან გამომავალი 12 წყვილი ნერვით ინერვირდება ორგანიზმის ყველა ორგანოები *(სურ. 8.9)*.



სურ. 8.9. ადამიანის თავის ტვინის ბაზალური ზედაპირის სქემა

თავის ტვინი არეგულირებს ორგანიზმში მიმდინარე პროცესებს, ამყარებს კავშირს გარემოსთან და წარმართავს ფსიქიკურ პროცესებს. მესამე ცხრილში მოტანილია ორგანიზმის მოქმედებათა ნუსხა, რომლებსაც ახორციელებს და აკონტროლებს თავის ტვინი *(ცხრილი 8.3)*.

მოგრძო ტვინსა და ხიდს ერთად უკანა ტვინს უწოდებენ. ისინი, შუა ტვინთან ერთად, წარმოქმნიან ტვინის ღეროს, რომელშიც გადის აღმავალი და დაღმავალი გზები. ტვინის ღერო დაკავშირებულია ზურგის ტვინთან, ნათხემთან და დიდ ნახევარსფეროებთან. აქ მდებარეობს სუნთქვის, სისხლძარღვთა სანათურების გამაფართოებელი და შემავი-

ცხრილი 8.3
ადამიანის თავის ტვინის სხვადასხვა განყოფილების ძირითადი ფუნქციები

თავის ტვინის განყოფილებები	ძირითადი ფუნქციები
მოგრძო ტვინი	სუნთქვის, საჭმლის მომნელებელი და გულ-სისხლძარღვთა სისტემების მოქმედების რეგულაცია
შუა ტვინი	სმენითი და მხედველობითი გამღიზიანებლებით გამოწვეული საორიენტაციო რეფლექსთა, კუნთური ტონუსისა და სხეულის პოზის რეგულაცია
შუამდებარე ტვინი	გარეგან და შინაგან გამღიზიანებელთა მიღება. შინაგან ორგანოთა მოქმედების რეგულაცია
ნათხემი	მოძრაობისა და კუნთური ტონუსის რეგულაცია
ნახევარსფეროების ქერქი	გარეგანი და შინაგანი გარემოდან მიღებულ სიგნალთა ანალიზი, მონაწილეობა პირობითი რეფლექსის გამომუშავებაში, ფსიქიკურ პროცესთა განხორციელება
ნახევარსფეროების ქერქის კეფის წილი	მხედველობითი სიგნალების მიღება და ანალიზი
ნახევარსფეროების ქერქის შუბლის წილი	მოძრაობათა რეგულაცია
ნახევარსფეროს ქერქის თხემის წილი	კანის რეცეპტორებიდან მოსულ სიგნალთა მიღება და ანალიზი
ნახევარსფეროების ქერქის საფეთქლის წილი	ბგერით სიგნალთა მიღება და ანალიზი

ნროებელი, გულის მოქმედების, საჭმლის მომნელებელი და სხვა ორგანოების ფუნქციათა მარეგულირებელი ცენტრები.

შუა ტვინში გადის ყველა გზა, რომელიც დიდ ნახევარსფეროებსა და ნათხემს აკავშირებს მოგრძო და ზურგის ტვინთან. შუა ტვინის მონაწილეობით ხორციელდება სინათლით გაღიზიანებაზე საპასუხო ზოგიერთი რეფლექსი. მათ რიცხვს მიეკუთვნება მხედველობითი საორიენტაციო რეფლექსი. შუა ტვინის მონაწილეობით ხორციელდება საორიენტაციო ბგერითი რეფლექსებიც: ცხოველების ყურების დაცქვეტა, თავისი და სხეულის მობრუნება ახალი ბგერის წარმოშობის მიმართულებით.

შუამდებარე ტვინის ნეირონთა მონაწილეობით რეგულირდება შინაგან ორგანოთა შეთანხმებული მოქმედება. იგი არეგულირებს ნივთიერებათა ცვლას, საკვებისა და წყლის მიღებას, სხეულის ტემპერატურას. შუამდებარე ტვინის ზოგი ნეირონი გამოიმუშავებს ჰორმონებს, რთული მოძრაობა (სიარული, სირბილი, ჯდომა, ცურვა) დაკავშირებულია შუამდებარე ტვინთან.

ნათხემი მონაწილეობს რთული რეაქციების ურთიერთშეთანხმებაში. როდესაც ნათხემის ნორმალური მუშაობა ირღვევა, ადამიანები ზუსტი, შეთანხმებული მოძრაობისა და მოქმედების უნარს კარგავენ — ვერ ინარჩუნებენ სხეულის წონასწორობას, ვერ ახერხებენ ნემსის ყუნწში ძაფის გაყრას, ბარბაცით დადიან, სიარულის დროს ხელებს და ფეხებს უხერხულად, ზოგჯერ მკვეთრადაც ამოძრავებენ. *ცხრილში (8.3)* მოცემულია თავის ტვინის სხვადასხვა ნაწილის ფუნქციები.

თავის ტვინის დიდი ნახევარსფეროები. თავის ტეინის დიდი ნახევარსფეროები სტრუქტურითა და ფუნქციებით ცენტრალური ნერვული სისტემის განსაკუთრებით რთული ნაწილია. გამოყოფენ მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსფეროებს.

ნახევარსფეროების ზედაპირი დანაოჭებულია მრავალრიცხოვანი ღარითა და ხვეულით, რის გამოც მისი ზედაპირის 2/3 ღარებშია მოქცეული.

ორივე ნახეკარსფეროში გამოყოფენ შუბლის, თხემის, საფეთქლისა და კეფის წილებს. ცენტრალური ღარი შუბლის წილს თხემის წილისაგან გამოყოფს, გვერდითი ღარი კი — საფეთქლის წილს შუბლისა და თხემის წილებისაგან.

ნახევარსფეროების ზედაპირი — ქერქი, რუხი ნივთიერებისაგან ანუ ნეირონების სხეულებისა და დენდრიტებისაგან შედგება. ქერქის ქვეშ არის თეთრი ნივთიერება, რომელიც აქსონთა ერთობლიობას წარმოადგენს. მის სისქეში მდებარეობს ქერქქვეშა ბირთვები. ერთი ნახევარსფეროს ქერქის ზედაპირი 1700-2000 სმ^2 შეადგენს.

ფუნქციის მიხედვით დიდი ნახევრსფეროების ქერქს ყოფენ უბნებად, რომლებსაც ქერქულ ზონებს უწოდებენ. კეფის წილში მოთავსებულია მხედველობის ზონა, საფეთქლის წილში — სმენის, ცენტრალურ ღართან კი — კან-კუნთოვანი მგრძნობელობის ზონა. არსებობს ყნოსვის, გემოვნებისა და სხვა ზონებიც, რომელთა მოქმედებით ადამიანი არჩევს გარემოს და ორგანიზმში მიმდინარე ცვლილებებს და შესაბამისად იქცევა.

8.1.3. ვისცერალური სისტემა.

ვისცერალური რეგულაციის მაკონტროლებელი ცენტრები განლაგებულია ლიმბურ სისტემაში, ჰიპოთალამუსში და მოგრძო ტვინში. ლიმბური სისტემა, რომელიც შექმნილია წინა ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურისაგან აქტიურად მონაწილეობს საკვების მოპოვების, მშობლიური ზრუნვის, სასქესო და ტერიტორიის მოპოვების

განმაპირობებელ ქცევებში. მთავარი წარმონაქმნი, რომელიც იცავს ორგანიზმის შინაგანი ჰომეოსტაზის მდგრადობას ჰიპოთალამუსია. მასში მოთავსებულია ცენტრები, რომლებიც არეგულირებს სხეულის ტემპერატურას, წყლის ბალანსს და კვების მოთხოვნილებას, აგრეთვე აქტიურადაა ჩართული ემოციურ განცდებში. მოგრძო ტვინში არსებობს ცენტრები, რომლებიც არეგულირებს სისხლ-ძარღვთა და სასუნთქ სისტემას.

ვისცერალურ რეგულაციაში გამოყოფენ ორ ნაწილს, სიმპათიკურს და პარასიმპათიკურს, სიმპათიკური ნაწილი აინერვირებს უკლებლივ ყველა ორგანოს და ქსოვილს. პარასიმპათიკური მხოლოდ შინაგან ორგანოებს. ვისცერალური სისტემის ორივე ნაწილი უმეტესწილად ეფექტორული ბუნებისაა, შედგება მამოძრავებელი და სეკრეტორული ბოჭკოებისაგან. ცხრილში *(ცხრილი 8.4)* მოყვანილია სიმპათიკური და პარასიმპათიკური

ცხრილი 8.4.

ვისცერალური (ვეგეტატიური) ნერვული სისტემის რეგულაციის გავლენა ორგანოებზე

ორგანოები	სიმპათიკური ნაწილის გავლენა	პარასიმპათიკური ნაწილის გავლენა
თვალი	გუგის გაფართოება	გუგის შევიწროება
ცრემლის გამოყოფა	გავლენას არ ახდენს	სტიმულირებს გამოყოფას
საყლაპავი მილი	ასუსტებს მოქმედებას	აძლიერებს მოქმედებას
კუჭი და ნაწლავები	პერისტალტიკისა და ტონუსის დაქვეითება	პერისტალტიკისა და ტონუსის გაძლიერება
ფილტვები და სუნთქვა	ბრონქების სანათურის გაფართოება და ვენტილაციის გაძლიერება	ბრონქების სანათურის შევიწროება და ვენტილაციის დაქვეითება
შარდის ბუშტი	მოდუნება	შეკუმშვა
თირკმელი	ამცირებს შარდის წარმოქმნას	არ მოქმედებს
გული		
რიტმი	გახშირება	შენელება
შეკუმშვის ძალა	გაზრდა	შემცირება
სისხლძარღვები	ავიწროვებს ნაწლავებისა და გლუვი კუნთების არტერიებს, აფართოვებს თავის ტვინისა და ჩონჩხის კუნთების არტერიებს. ზრდის არტერიულ წნევას.	ნაწლავის გლუვ და ჩონჩხის კუნთებს უნარჩუნებს მუდმივ ტონუსს, აქვეითებს სისხლის არტერიულ წნევას.
ჯირკვლები:		
ღვიძლი	სეკრეციის შესუსტება	სეკრეციის გაძლიერება
სანერწყვე	სეკრეციის შესუსტება	სეკრეციის გაძლიერება
კუჭი და ნაწლავები	სეკრეციის შესუსტება სეკრეციის გაძლიერება	სეკრეციის გაძლიერება არ მოქმედებს

ნერვების გავლენა სხვადასხვა ორგანოზე. შინაგანი ორგანოების რეცეპტორებიდან აფერენტული ბოჭკოები, რომელთაც მიაქვთ ინფორმაცია ცენტრისაკენ, განლაგებულია ვისცერალურ ნერვებში. დიდი რაოდენობითაა აფერენტები ცთომილ ნერვში.

ყველა სიმპატიკური და პარასიმპათიკური ნერვული გზების პერიფერიული ნაწილი შედგება ორი თანამიმდევრულად განლაგებული ნეირონისაგან. პირველი ნეირონის სომა მოთავსებულია ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში, მისი აქსონი მიემართება პერიფერიისაკენ და ბოლოვდება ამა თუ იმ ნერვულ კვანძში, რომელშიც მოთავსებულია მეორე ნეირონის სომა. მეორე ნეირონის სომაზე პირველი ნეირონის აქსონები ქმნის სინაფსურ დაბოლოებას, პირველი ნეირონის ბოჭკოებს უწოდებენ პრეგანგლიურს, ხოლო მეორე ნეირონის ბოჭკოებს -- პოსტგანგლიურს. სიმპათიკურ და პარასიმპათიკურ ნერვულ ბოჭკოებში მოქმედების პოტენციალები გამოირჩევა თავისი ხანგრძლიეობით.

ვისცერალური რეგულაცია ხორციელდება ორი მთავარი მედიატორით -- ნორადრენალინით და აცეტილქოლინით. მედიატორთა მოქმედება ეფექტორულ ორგანოზე განისაზღვრება პოსტსინაფსური მემბრანის თვისებებით. აცეტილქოლინმა და ნორადრენალინმა ცალ-ცალკე მოქმედებით შეიძლება გამოიწვიოს ორგანოს მოქმედების როგორც აგზნება, ისე შეკავება. თუ ორივე მედიატორით ხდება ორგანოს ინერვაცია, მაშინ მედიატორების მოქმედება ურთიერთსანინააღმდეგოა.

სიმპათიკური ნერვული სისტემის აღგზნება ადამიანს ხელს უწყობს თავი დაიცვას სტრესულ სიტუაციაში, სიმპათიკური სისტემა კი აჩქარებს გულის რიტმს, მაღლა წევს არტერიულ წნევას, იზრდება სისხლში გლუკოზის შემცველობა და ჩქარდება კუნთების სისხლით მომარაგება. ამ დროს ქვეითდება საჭმლის მომნელებელი სისტემის მოქმედება. ეს ყველაფერი იცავს ადამიანს სტრესისაგან.

პარასიმპათიკური სისტემა ხელს უწყობს ორგანიზმს რესურსების აღდგენაში, აქეთკენ არის მიმართუ-

ლი პარასიმპათიკური ნერვების ეფექტები. ქვეითდება გულის კუნთის შეკუმშვის რიტმი, ქვეითდება არტერიული წნევა, ქვეითდება აგრეთვე საჭმლის მომნელებელი სისტემის სტიმულაცია.

8.1.4. ნერვული რეგულაციის რეფლექსური პრინციპი.

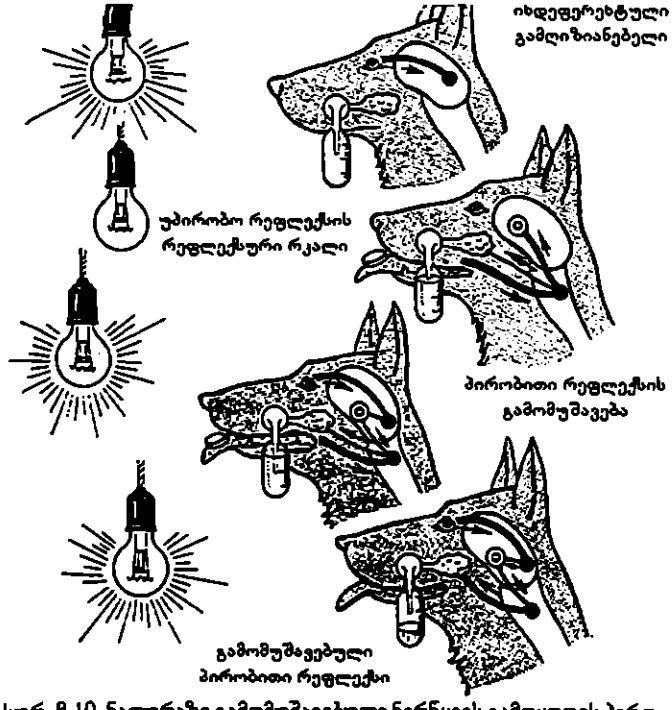
ნერვული სისტემის მიერ ორგანოთა ფუნქციების რეგულაცია ხორციელდება რეფლექსების საშუალებით. გაღიზიანებაზე ორგანიზმის საპასუხო რეაქციას, რომელიც ცენტრალური ნერვული სისტემის მონაწილეობით მიმდინარეობს, რეფლექსი ეწოდება. გზას, რომელსაც ნერვული იმპულსი რეფლექსის განხორციელების დროს გაივლის, რეფლექსური რკალი ეწოდება. რეფლექსური რკალი იწყება რეცეპტორით. რეცეპტორი ნეირონების გრძელი მორჩების დაბოლოება ან სპეციალური წარმონაქმნია. ყოველი რეცეპტორი აიგზნება მხოლოდ გარკვეული გამაღიზიანებლით. მაგალითად, კანში განლაგებული სიცივის, სითბოს, შეხების რეცეპტორები აღიგზნება შესაბამისად სიცივით, სითბოთი, შეხებით, მხედველობის რეცეპტორები — სინათლით, პირის ღრუში მოთავსებული გემოს რეცეპტორები — ნერწყვში გახსნილი საკვების ქიმიური ნივთიერებით და ა. შ. გაღიზიანებას რეცეპტორები გარდაქმნიან ნერვულ იმპულსად, რომელიც მგრძნობიარე ნეირონებით გადაეცემა ნერვულ სისტემას. ნერვული სისტემიდან მამოძრავებელი ნეირონებით იმპულსი მომუშავე ორგანომდე აღწევს. უმეტეს შემთხვევაში რეფლექსური რკალი შეიცავს რამდენიმე ჩართულ ნეირონსაც, რომლებიც მოთავსებულია როგორც ზურგის, ასევე თავის ტვინში.

განასხვავებენ რეფლექსის ორ სახეს: უპირობოსა და პირობითს. უპირობო რეფლექსებს შთამომავლობა მშობლებისაგან მემკვიდრეობით იღებს და მთელი სიცოცხლის განმავლობაში ინარჩუნებს. კვებასთან დაკავშირებული უპირობო რეფლექსებია — ნერწყვისა და კუჭის წვენის გამოყოფა პირის ღრუში საკვების მოხვედრისთანავე, ყლაპვა, ნოვა; დაცვითი რეფლექსებია — ხელის განება ცხელი საგნიდან, ცხვირის ცემინება, თვალების დახამხამება და სხვ.

თავდაცვითი, კვებითი, გამრავლების, საორიენტაციო უპირობო რეფლექსები მემკვიდრეულია და სიცოცხლის მანძილზე თითქმის არ იცვლება. უპირობო რეფლექსების საშუალებით ხორციელდება ისეთი მნიშვნელოვანი პროცესები, როგორებიცაა კვება, გამრავლება, თავდაცვა.

განვიხილოთ, როგორ ხორციელდება ნერწყვის გამოყოფის უპირობო რეფლექსი. ცხოველის პირის ღრუში საკვების მოხვედრისას, საკვების ქიმიური ნივთიერებები აღიზიანებს პირის ლორწოვანი გარსის გემოვნების რეცეპტორებს. წარმოიქმნება აგზნება. იგი მგრძნობიარე ნეირონების ბოჭკოებით მიაღწევს მოგრძო ტვინის ნერწყვის გამოყოფის ცენტრს, აქედან კი მამოძრავებელი ნეირონების ბოჭკოებით — სანერწყვე ჯირკვლებს და იწვევს ნერწყვის გამოყოფას.

ცნობილი რუსი ფიზიოლოგი ი. პავლოვი ძაღლებში ნერწყვისა და კუჭის წვენის გამოყოფას იკვლევდა. მან შეამჩნია, რომ ძაღლს ნერწყვი გამოეყოფა იმ ადამიანის დანახვაზე, რომელსაც მისთვის საკვები მიჰქონდა. ამ ფაქტით დაინტერესებულმა მეცნიერმა ჩაატარა ცდა: ძაღლის სანერწყვე ჯირკვლის სადინარი გარეთ, ლოყაზე გამოიტანა. ასეთი ოპერაციის შემდეგ ნერწყვი ჯირკვლიდან გარეთ გამოიყოფა და ლოყაზე მიმაგრებულ სინჯარაში გროვდებოდა. ძაღლს საცდელ კამერაში ათავსებდნენ. ცდის დასაწყისში რთავდნენ სინათლეს და რამდენიმე წამის შემდეგ ცხოველს საკვებს აძლევდნენ. ასეთი ცდის მრავალჯერ გამეორების შემდეგ ცხოველს ნერწყვი გამოეყოფა სინათლის ჩართვისთანავე, ე. ი. პირის ღრუში საკვების მოხვედრამდე. სინათლით გაღიზიანებაზე ნერწყვის გამოყოფას ი. პავლოვმა პირობითი რეფლექსი უწოდა, რეფლექსის გამომწვევ გამღიზიანებელს კი — პირობითი გამღიზიანებელი. ამ ცდაში პირობითი გამაღიზიანებელი იყო სინათლე *(სურ. 8.10.)*.



სურ. 8.10. ნათურაზე გამომუშავებული ნერწყვის გამოყოფის პირობითი რეფლექსის, რეფლექსური რკალი

პირობითი რეფლექსის გამომუშავებისას აუცილებელია ცხოველზე ერთდროულად იმოქმედოს პირობითმა და უპირობო გამღიზიანებლებმა. პირობითი გამღიზიანებელი შეიძლება იყოს გარემოს ნებისმიერი პირობა, რომლის აღქმის უნარიც ცხოველს აქვს. ცხოველები სხვადასხვა გარემოში არსებობენ, ამიტომ მათი პირობითი რეფლექსები განსხვავებულია.

პირობითი რეფლექსები ხელს უწყობს გარემოს ცვლად პირობებთან შეგუებას. მტაცებლის სუნი და ბგერები, რომლებსაც ის

ცხრილი 5
განსხვავება უპირობო და პირობით რეფლექსებს შორის

უპირობო რეფლექსები	პირობითი რეფლექსები
მემკვიდრულია (თანდაყოლილი)	არამემკვიდრულია (შეძენილია ცხოერების მანძილზე)
ერთნაირია სახეობაში გაერთიანებული ყველა ინდივიდისათვის	ინდივიდუალურია, გამომუშავდება ცხოველის საკუთარი გამოცდილ-ებით
ხორციელდება ზურგისა და თავის ტვინის ღეროვან ნანილებში	ხორციელდება თავის ტვინის დიდი ნახევარსფეროების ქერქის მონანილ-ეობით
უცვლელია და არსებობს მთელი ცხოერების მანძილზე	ცვალებადია, მუდმივად ხდება ნარმოქმნა და ჩაქრობა
ხორციელდება თანდაყოლილი უპირო-ბო რეფლექსური რკალის მეშვეობით	ხორციელდება დროებითი კავშირის ჩამოყალიბების საფუძველზე

გამოსცემს, პირობითი გამღიზიანებელია მისი მსხვერპლისათვის. ცვლად გარემო პირობებთან შესაბამისად ცვლადი უნდა იყოს პირობითი რეფლექსებიც. საჭიროებისამებრ, ერთი რეფლექსი უნდა შეკავდეს და გამომუშავდეს ახალი. ასე თანდათან, ცხოერების მანძილზე, ცხოველი იძენს ნადირობისა და თავდაცვის გამოცდილებას, შთამომავლობის დაცვის ჩვეულებს და ა. შ.

ერთი რეფლექსის მეორით შეცვლას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს მოცემულ პირობებში ცხოველის გადარჩენისათვის. პირობითი რეფლექსების გამომუშავებისა და შეკავების უნარის გამო გარემოსთან ცხოველის შეგუების შესაძლებლობა იზრდება, უფრო მრავალფეროვანი ხდება. განსხვავება უპირობო და პირობითი რეფლექსებს შორის ნაჩვენებია ცხრილში *(ცხრილი 8.5.)*

შეკავება. შეკავება არის ნერვულ სისტემაში მიმდინარე აქტიური პროცესი, რომლის გაელენით ქვეითდება ან დროებით სრულიად კავდება აგზნების გავრცელება. შემაკავებელი ნეირონები სინაფსური კავშირით პირდაპირ გაელენას ახდენს კუნთებსა და სეკრეტორულ უჯრედებზე. შეკავება იცავს ნეირონებს გადაჭარბებული აგზნებისაგან, რაც ხელს უნყობს მათ ნორმალურ მოქმედებას. შეკავებით დაცულია კუნთები და ორგანოები გადაღლისაგან.

ცნობილია ორი ტიპის შეკავება. პირველია პოსტსინაფსური შეკავება, როდესაც დაქვეითებულია ნეირონის სომისა და დენდრიტების მემბრანის აგზნებადობა. მეორეა პრესინაფსური შეკავება, როდესაც შემცირებულია ან არ ხდება მედიატორის გამოყოფა პრესინაფსური ნერვული დაბოლოებიდან. ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს პოსტსინაფსური შეკავება. პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში აქტიურია პრესინაფსური შეკავება.

შეკავება ხორციელდება მედიატორის გაელენით პოსტსინაფსურ მემბრანაზე, რის შედეგადაც მოკლე დროით ხდება K^+ ან Cl^- იონების მემბრანაში განელადობის გაზრდა, რაც იწვევს პოტენციალის გაზრდას — ჰიპერპოლიზაციას, რასაც მოსდევს აგზნებადობის დაქვეითება. არსებობს მრავალი სხვადასხვა შემაკავებელი მედიატორი.

შეკავებით ხორციელდება ქცევითი აქტების რეგულირება. პირობითი რეფლექსური მოქმედების შეკავება შეიძლება განხორციელდეს ორი გზით: ერთი -- შინაგანი ანუ პირობითი შეკავება, მეორე — გარეგანი ანუ უპირობო შეკავება. შინაგანი განხორციელდება იმ შემთხვევაში, როდესაც გამღიზიანებლის განმტკიცება არ ხდება უპირობო გამღიზიანებლით. გარეგანი შეკავება ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როდესაც პირობითი გამღიზიანებლის მოქმედებასთან ერთდროულად ამოქმედდება სხვა სახის გამღიზიანებელი.

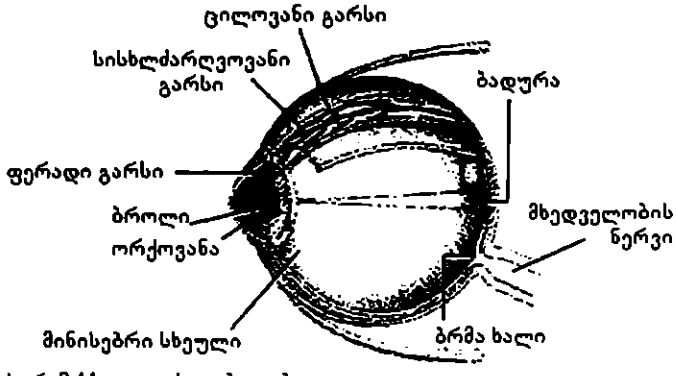
ნერვულ სისტემაში მიმდინარე ყველა პროცესი იმართება აგზნებისა და შეკავების მოქმედებით.

8.1.5. სენსორული სისტემები

სენსორული (ლათ. sensus — გრძნობა) სისტემა არის ნერვული სისტემის სხვადასხვა სტრუქტურის ფუნქციური ერთობლიობა, რომლის საშუალებითაც ადამიანი აღიქვამს გარემოს და ორგანიზმში მიმდინარე პროცესებს. აღქმა ხდება სპეციალიზებული გრძნობათა ორგანოებით, კერძოდ, თვალი, ყური, კანის საფარველი, ენა, როგორც გემოს შემგრძნები, ცხვირი — სუნის აღმქმელი. გრძნობათა ორგანოები ისეა ანატომიურად და მორფოლოგიურად აგებული, რომ ისინი რეაგირებენ მხოლოდ გარკვეულ სპეციფიკურ სტიმულზე. გრძნობათა ორგანოში არსებული რეცეპტორები სტიმულებს გარდაქმნის ნერვულ იმპულსებად და მგრძნობიარე ბოჭკოებით აგზავნის ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში, სადაც ხდება მიღებული ინფორმაციის გადამუშავება და შეგრძნების წარმოქმნა.

რეცეპტორთა ზოგადი მიმოხილვა. გარე სამყაროსა და ორგანიზმში მიმდინარე პროცესების შეგრძნება რეცეპტორთა მოქმედებით იწყება. (receptum ლათ. — მიმღები).

რეცეპტორი რთული აგებულების წარმონაქმნია, რომელიც გამღიზიანებლის მოქმედებას ნერვულ იმპულსებად გარდაქმნის და თავის ტვინში აგზავნის. რეცეპტორებიდან მოსულ ნერვულ იმპულსებს თავის ტვინი გადაამუშავებს, აყალიბებს გრძნობას და შემსრულებელ ორგანოებს ნერვების მეშვეობით უგზავნის



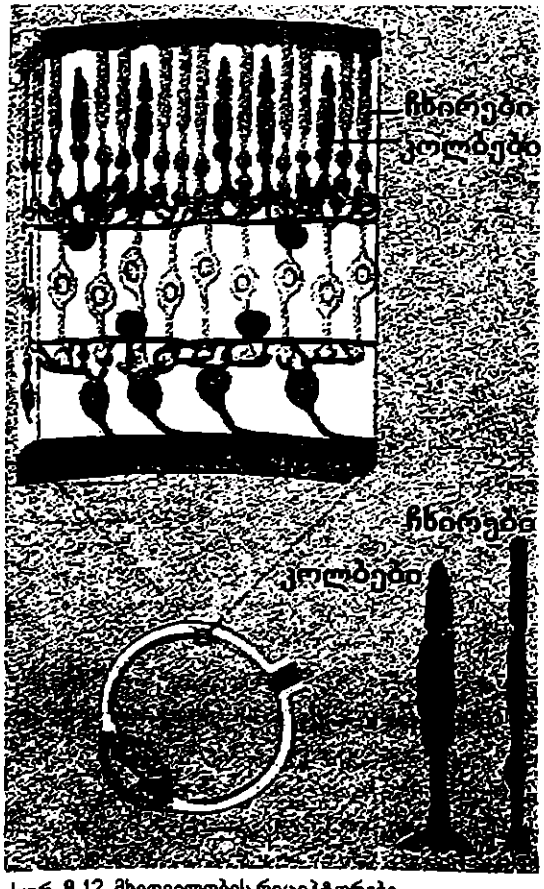
სურ. 8.11. თვალის აგებულება

ინფორმაციას მოქმედების შესახებ, რის საფუძველზეც ორგანიზმი ასრულებს გარკვეულ ქცევას. რეცეპტორებიდან მიღებული ინფორმაციის შედეგად ორგანიზმს ტკივილის, შიმშილის, სიმაძღრის, ნყურვილის, შიშის, სიხარულისა და სხვა მრავალი სახის გრძნობა უყალიბდება. იმ სიგნალების მეშვეობით, რომლებიც სხვადასხვა რეცეპტორიდან თავის ტვინს გადაეცემა, ცხოველი და ადამიანი ორიენტაციას ახდენს გარემოში და შესაბამისად რეაგირებს მათ ცვლილებებზე.

რეცეპტორი რეაგირებს მხოლოდ გარკვეულ გამღიზიანებელზე. თვალი — სინათლეზე, ყური — ხმაურზე და ა. შ. რეცეპტორთა მოქმედება სპეციფიკურია: სმენის რეცეპტორი არ აღიქვამს სინათლეს, ყნოსვის რეცეპტორი არ რეაგირებს გემოვნებაზე, ტემპერატურის შემგრძნები რეცეპტორები არ რეაგირებს წნევაზე. მაშასადამე, ყოველ რეცეპტორში აგზნება შეიძლება წარმოიშვას მხოლოდ განსაზღვრული გამღიზიანებლების ზემოქმედებით. რეცეპტორთა სპეციფიკურობა გამოწვეულია მათი აგებულების თავისებურებებით. ყველა რეცეპტორს, მიუხედავად განსხვავებული აგებულებისა, გააჩნია ერთი საერთო თვისება – გარემოდან ორგანიზმზე და ორგანიზმში მოქმედ გამღიზიანებლებს გარდაქმნის ნერვულ იმპულსებად.

მდებარეობის მიხედვით რეცეპტორებს ყოფენ სამ ჯგუფად. სხეულის ზედაპირზე მოთავსებულ რეცეპტორებს გარეგანი ეწოდება. ასეთებია: მხედველობის, სმენის, კანზე არსებული, პირისა და ცხვირის ღრუს რეცეპტორები. იმ რეცეპტორებს, რომლებიც მოთავსებულია შინაგან ორგანოებში და სისხლძარღვებში, უწოდებენ შინაგანს, ხოლო ჩონჩხის, კუნთებისა და მყესების რეცეპტორებს – პროპრიორეცეპტორებს.

ორგანიზმისათვის განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ტკივილის განცდას. ნებისმიერი მძლავრი გაღიზიანება, რომელიც ქსოვილის დაზიანებას იწვევს, ტკივილის აღმოცენებას განაპირობებს. ტკივილის ბიოლოგიური დანიშნულებაა ორგანიზმის დაცვა დამაზიანებელ აგენტთა ზემოქმედებისაგან. ტკივილი ერთგვარი გამაფრთხილებელი სიგნალია თავდაცვითი რეაქციების გამოსანვევად. იგი სხვადასხვა შემთხვევაში სხვადასხვანაირია. ამიტომ ძნელია გადაჭრით იმის თქმა, თუ რამდენი სახის შეიძლება იყოს ტკივილის განცდა.



სურ. 8.12. მხედველობის რეცეპტორები

ადამიანის თვალის აგებულება. მხედველობას განსაკუთრებული მნიშვნელობას აქვს ადამიანის საქმიანობაში, მისი სულიერი სამყაროს ჩამოყალიბებასა და განვითარებაში. სხვა გრძნობათა ორგანოებს შორის, ყველაზე მეტ ინფორმაციას ადამიანი თვალის საშუალებით იღებს. კაცობრიობის მიერ დაგროვილი ცოდნის, გამოცდილების შთამომავლობისათვის გადაცემა შეუძლებელია განათლების, წიგნის გარეშე. წიგნის კითხვის საშუალებას მხედველობა გვაძლევს.

ყველა ხერხემლიანი ცხოველის, ასევე, ადამიანის წყვილი თვალი თავის ქალას თვალბუდეებშია მოთავსებული და კარგადაა დაცული ქალას ძვლებით. გარდა ამისა, თვალს იცავს წარბები, ქუთუთოები, წამწამები, საცრემლე ჯირკვლები.

თვალები კუნთებით დამაგრებულია თვალბუდეების ძვლებზე, კუნთები თვალებს ამოძრავებს ყველა მიმართულებით. თვალის სფეროსებრი ფორმა ხელს უწყობს თვალბუდეში თვალის მოძრაობას.

თვალის კაკლის კედელი შედგება ერთმანეთის მიყოლებით განლაგებული სამი შრისაგან *(სურ. 8.11)*. გარე შრე — ცილოვანი გარსი, თვალს დაზიანებისაგან იცავს. თვალის წინა ნაწილში ცილოვანი გარსი გამჭვირვალეა. მას რქოვანა ეწოდება. უშუალოდ რქოვანას უკან სითხით სავსე წინა საკანია მოთავსებული. შუა, სისხლძარღვოვანი შრე კვებავს და ათბობს თვალს. ამ გარსის შიგნითა ზედაპირზე შავი პიგმენტის თხელი შრეა, რომელიც შთანთქავს

მავნე სხივებს. თვალის შიგნითა შრე ანუ ბადურა შეიცავს შუქმგრძნობიარე რეცეპტორებს — კოლბებსა და ჩხირებს *(სურ. 8.12)*. საგნის გამოსახულება მიიღება ბადურაზე. სინათლის სხივით გაღიზიანების შედეგად რეცეპტორებში ნარმოიქმნება აგზნება, რომელიც მხედველობის ნერვით თავის ტვინის ქერქის მხედველობის ზონაში მიემართება. აქ ხდება გაღიზიანების საბოლოო გარჩევა, ანალიზი.

თვალის წინა ნანილში სისხლძარღვოვანი გარსი ნარმოქმნის ფერად გარსს, რომლის უჯრედები შეიცავს სხვადასხვა ფერის ორგანულ ნივთიერებას — პიგმენტებს. ეს ნივთიერება განსაზღვრავს თვალის ფერს, იცავს თვალს მაენე სხივებისაგან.

ფერადი გარსის შუაში ხერელია, რომელსაც გუგას უნოდებენ. გუგის დიამეტრი ცვალებადობს განათების მიხედვით: მკვეთრ სინათლეზე გუგა ვინროვდება, ამიტომ თვალის სიღრმეში ნაკლები სინათლე აღნევს. სუსტი განათების დროს კი, პირიქით — გუგა ფართოედება. გუგის შევინროება-გაფართოება რეფლექსურად ხდება, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ჭარბი სინათლისაგან მხედველობის რეცეპტორების დაცვისათვის.

გუგის პირდაპირ, ფერადი გარსის უკან მოთავსებულია ორმხრივ ამოზნექილი გამჭვირვალე სხეული — ბროლი, რომელიც გარდატეხავს და ბადურასაკენ მიმართავს მასზე დაცემულ სხივს.

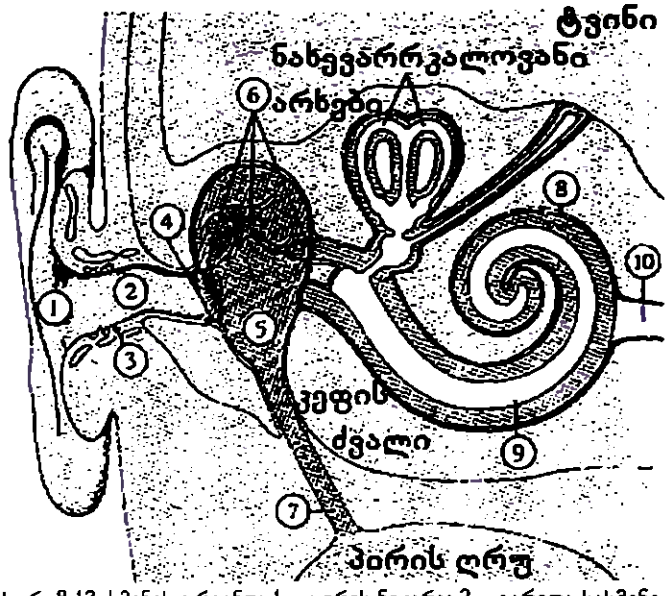
თვალის კაკლის შიგა ნანილი მთლიანად ამოვსებულია გამჭვირვალე, ბლანტი სითხით, რომელსაც მინისებრი სხეული ენოდება. იგი თვალს ფორმას უნარჩუნებს და გარდატეხავს სინათლის სხივს.

ეიდრე ბადურაზე მიიღება საგნის გამოსახულება, რომელსაც ვუცქერთ, ამ საგნიდან არეკლილმა სხივმა უნდა გაიაროს რქოვანა, რქოვანასა და ფერად გარსს შორის მდებარე თვალის წინა კამერა, გუგა, ბროლი და მინისებრი სხეული. ყეელა ნანილების გავლისას სხივი იცვლის მიმართულებას, მაგრამ ბადურაზე მკვეთრი გამოსახულების მიღებაში მაინც მთავარია ბროლის მიერ სხივის გარდატეხა, ფოკუსირება.

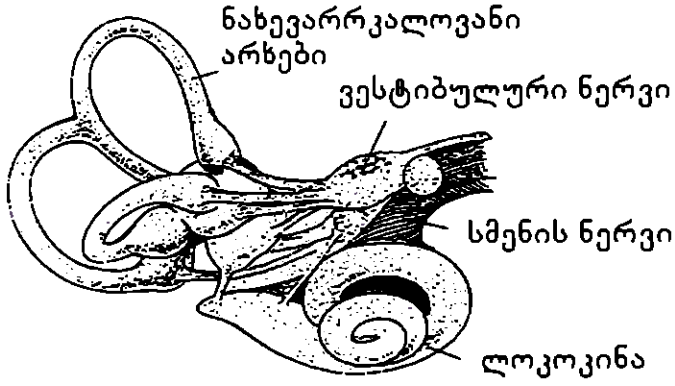
სმენის ორგანოების აგებულება. ადამიანის სმენის ორგანო შედგება გარეთა, შუა და შიგნითა ყურისაგან *(სურ. 8.13.)*.

გარეთა ყური შედგება ყურის ნიჟარისა და გარე სასმენი მილისაგან. ყურის ნიჟარა ბგერების რხევას „იჭერს" და მიმართავს გარე სასმენი მილისაკენ, რომლის ბოლოზე დაფის აპკია გადაჭიმული.

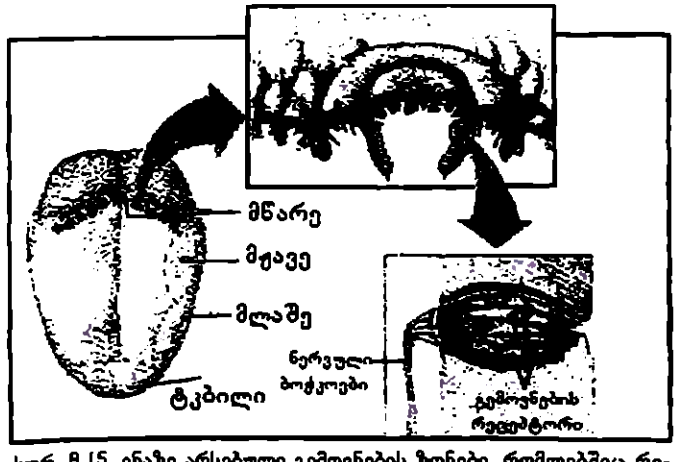
შუა ყურში მოთავსებულია თანმიმდევრულად შეერთებული სამი პატარა სასმენი ძვალი: გრდემლი, ჩაქუჩი და უზანგი. ძვლები ერთმანეთთან აკავშირებს დაფის აპკსა და შიგნითა ყურს. შიგნითა ყური *(სურ. 8.14)*.



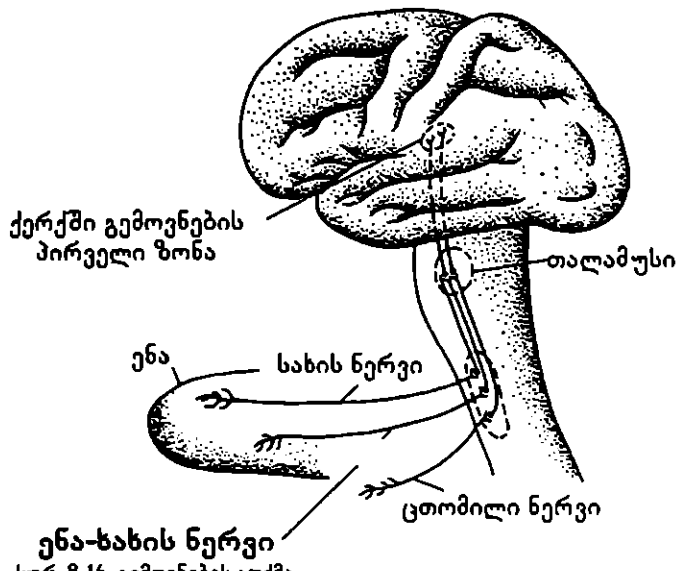
სურ. 8.13. სმენის ორგანო: 1 – ყურის ნიჟარა; 2 – გარეთა სასმენი მილი; 3 – ყბაყურა სანერწყვე ჯირკვალი; 4 – დაფის აპკი; 5 – დაფის ღრუ; 6 – სასმენ ძვალთა ჯაჭვი (ჩაქუჩი, გრდემლი, უზანგი); 7 – ევსტახის მილი; 8 – ლოკოკინა; 9 – რეცეპტორული უჯრედები; 10 – სასმენი ნერვი.



სურ. 8.14. შიგა ყური



სურ. 8.15. ენაზე არსებული გემოვნების ზონები, რომლებშიც რეცეპტორებია



სურ. 8.16. გემოვნების აღქმა

შეიცავს სითხით სავსე ღრუებსა და არხებს. ამ რთულად აგებულ ორგანოში სმენის ფუნქციას ასრულებს მხოლოდ სპირალურად დახვეული ლოკოკინა, სადაც განლაგებულია სმენის რეცეპტორების დიდი რაოდენობა. შიგნითა ყურში მოთავსებულია, აგრეთვე, წონასწორობის ორგანო.

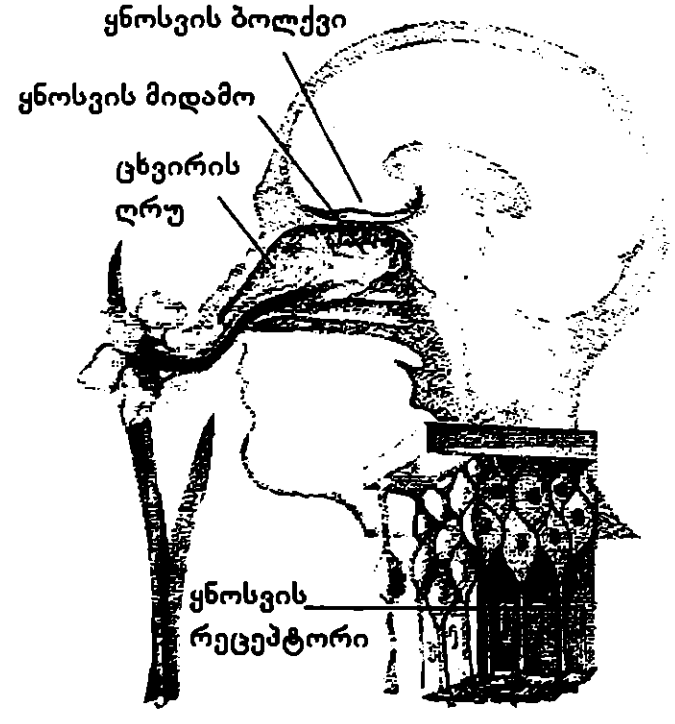
ბგერითმა ტალღებმა ლოკოკინამდე გარკვეული გზა უნდა გაიაროს. თავდაპირველად ბგერა ეცემა აპკს და მის რხევას იწვევს. შუა ყურის მხრიდან დაფის აპკს ებჯინება ჩაქუჩი, რომელიც რხევებს გადასცემს გრდემლსა და უზანგს. უზანგი რხევებს გადასცემს ლოკოკინას სითხეს. სითხის რხევა იწვევს რეცეპტორების გაღიზიანებას, რომლებიც რხევებს გარდაქმნის ნერვულ იმპულსად. სასმენი ნერვით იმპულსი აღწევს თავის ტვინის ქერქის სმენის ზონას, სადაც ხდება სმენის გრძნობის ჩამოყალიბება.

გემოს რეცეპტორები. ადამიანის გემოს რეცეპტორები განლაგებულია ენაზე, სასის უკანა კედელსა და რბილ სასაზე *(სურ. 8.15)*. ისინი აიგზნება მხოლოდ ნერწყვში გახსნილი ქიმიური ნივთიერებების მოქმედებით. ყველაზე მეტი რეცეპტორი განლაგებულია ენის წვერზე, მის კიდეებსა და უკანა ნაწილზე. ენის ქვედა მხარეს რეცეპტორები არ არის.

ადამიანი ძირითადად ოთხ გემოს აღიქვამს: ტკბილს, მლაშეს, ცხარესა და მჟავეს. კვების დროს ჩვენ რამდენიმე გემოს ერთდროულად აღვიქვამთ, თუმცა ყოველი რეცეპტორი დამოუკიდებლად აიგზნება.

საკვების ქიმიური ნივთიერებები აღიზიანებს გემოს რეცეპტორებს, გემოს ნერვით აგზნება მიემართება თავის ტვინის ქერქის გემოს ზონაში *(სურ. 8.16)*, სადაც ხდება გაღიზიანების გარჩევა. გემოსა და ყნოსვის ზონა თავის ტვინის ქერქის ერთსა და იმავე წილშია მოთავსებული.

მხედველობასა და სმენასთან შედარებით, ადამიანის ყნოსვა ნაკლებად აქვს განვითარებული, თუმცა, მაგალითად, საკვების ხარისხს მაინც ყნოსვით აფასებს *(სურ. 8.17)*.



სურ. 8.17. ყნოსვის ორგანო

პირში მოხვედრისას საკვების გემოს გარდა, ჩვენ ვგრძნობთ მის სუნს, ენით ვეხებით საკვებს, განვსაზღვრავთ მის ზედაპირს, ფორმასა და ტემპერატურას.

ყნოსვისა და გემოს გრძნობას ადამიანისათვის თავდაცვის მნიშვნელობა აქვს. ამ გრძნობის საშუალებით თავს ვარიდებთ ძველ, გაფუჭებულ საკვებს. არასასიამოვნო სუნი საკვების უვარგისობის მაჩვენებელია. გარდა ამისა, ჩვენ ვარჩევთ უცხო აირს, კვამლისა და დამწვრის სუნს.

შეხება და კუნთური გრძნობა. შეხების რეცეპტორები ძირითადად გაბნეულია კანზე, პირის ღრუში. საგანთან შეხებისას ჩვენზე ერთდროულად რამდენიმე გამღიზიანებელი მოქმედებს. მაგალითად, როცა ხელში გვიჭირავს ჭიქა ცივი წყლით, ჩვენ ვგრძნობთ წყლის ტემპერატურას, ჭიქის ზედაპირს, მის ფორმას. კანში განლაგებულია კანის რეცეპტორები. ერთ რეცეპტორს აღიზიანებს სითბო, მეორეს — სიცივე, მესამეს — საგნის ზედაპირი (ხორკლიანი, სადა). ამ რეცეპტორების გაღიზიანება იწვევს აგზნებას, რომელიც მგრძნობიარე ნერვით მიემართება თავის ტვინის ქერქის კანის მგრძნობელობის ზონისაკენ. აქ ხდება გამღიზიანებლების საბოლოო გარჩევა. შეხების გრძნობა კარგად აქვს

განვითარებული ადამიანს, განსაკუთრებით ბევრი რეცეპტორია განლაგებული თითებზე, ტუჩებზე, ცხვირის წვერზე. შრომით საქმიანობაში ადამიანისათვის შეხებას დიდი მნიშვნელობა აქვს, კანში განლაგებული შეხების რეცეპტორების საშუალებით ადამიანები რეფლექსურად თავს არიდებენ ბასრ, ნვეტიან, ცხელ საგნებს *(სურ. 8.18)*.

კუნთებში განლაგებულია რეცეპტორები, რომლებიც კუნთის დაჭიმვის დროს აიგზნება. ჩვენ შეგვიძლია თვალდახუჭულად უშეცდომოდ ვიპოვოთ ჩანთაში გასაღები, ერთი ხელი ისე ავწიოთ ან მოვხაროთ, როგორც მეორე, ზუსტი მოძრაობით შევეხოთ ცხვირის წვერს და ა. შ.

როდესაც ადამიანს დარღვეული აქვს კუნთური გრძნობა, ის კარგავს მოძრაობის სიზუსტეს. ასეთი ადამიანები იძულებულნი არიან მხედველობის საშუალებით შეამოწმონ მოძრაობა. შეხებისა და კუნთური გრძნობა განსაკუთრებით კარგად აქეთ განვითარებული უსინათლო ადამიანებს.

ზოგ გრძნობას ახასიათებს შეჩვევა, ე. ნ. შეგუება. მაგალითად, ყნოსვის რეცეპტორები მალე ეგუება სუნს და ადამიანი რამდენიმე ხანში ვეღარ გრძნობს მას. საინტერესოა, რომ ამ დროს სხვა სუნის მიმართ მგრძნობელობა ნორმალურია.



სურ. 8.18. კანის მგრძნობელობის რეცეპტორი

შეგუების თვისება ტემპერატურის რეცეპტორებსაც ახასიათებს. მაგალითად, როცა თბილ წყალში ხელს ჩავდებთ, სითბოს მხოლოდ დასანყისში ეგრძნობთ, მერე ეს გრძნობა ქრება. ტანსაცმლის შეხებას მხოლოდ ჩაცმისას აღვიქვამთ, მერე კი მთელი დღის განმავლობაში ტანისამოსის დაწოლას ვეღარ ვგრძნობთ.

8.1.6. ენდოკრინული სისტემა

შინაგანი ანუ ენდოკრინული (ბერძ. endon — შინაგანი, crino — ეყოფ) სისტემის მოქმედება მჭიდროდ არის დაკავშირებული ნერვულ სისტემასთან, ორივე სისტემა ერთობლივად არეგულირებს ორგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლიზმის პროცესებს, ორგანოებისა და ორგანოთა სისტემების შეთანხმებულ მუშაობას, აკონტროლებს ჰომეოსტაზის მდგომარეობას. ამ სისტემებს შეუძლია გამოინვიოს ქსოვილებსა და ორგანოებში როგორც ფუნქციური, ისე მორფოლოგიური ცვლილებები. ფიზიოლოგიური პროცესების რეგულირება ხორციელდება ენდოკრინულ ჯირკვლებში გამოყოფილი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით — ჰორმონებით (ბერძ. ჰორმაო – მომყავს მოძრაობაში ან ეაგზნებ).

ადამიანს ევოლუციის პროცესში ჩამოუყალიბდა ორგანიზმის მართვის მნიშვნელოვანი ნეიროენდოკრინული რეგულაცია. ნეიროენდოკრინულ რეგულაციაში აქტიურადაა ჩართული თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურა: ჰიპოთალამუსის ბირთვები, ჰიპოფიზი და ეპიფიზი. ჰიპოთალამუსის ბირთვები გავლენას ახდენს ენდოკრინულ ჯირკვალთა მოქმედებაზე, ჰიპოთალამუსის ზემოქმედებით ჰიპოფიზის წინა ნაწილი გამოყოფს ჰორმონებს, რომლებიც აამოქმედებს თირკმელზედა, ფარისებრ და სასქესო ჯირკვლებს. ჰიპოთალამუსის ბირთვების გარდა, ცენტრალური ნერვული სისტემის სხვა სტრუქტურებსაც შეუძლია ნერვული იმპულსებითა და მედიატორებით გავლენა მოახდინოს ენდოკრინული ჯირკვლების ფუნქციაზე. ენდოკრინული ჯირკვლები ჰორმონებს უშუალოდ სისხლში გამოყოფს. ასეთ რეგულაციას ჰუმორული (ლათ. ჰუმორალის – სითხე) ეწოდება. ჰორმონები არ წარმოადგენს დამოუკიდებელ რეგულატორებს. მათი წარმოქმნა და სისხლში გადასვლა ნერვული და ჰუმორული რეგულაციის ერთიანი რგოლია. ჰორმონების გამომუშავება და ამოქმედება ორგანიზმის მდგომარეობასა და გარემო პირობებზეა დამოკიდებული. ჰორმონების წარმოქმნის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მათ მიერ რეგულირებადი პროცესის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაზე. რეგულირება მიმდინარეობს უკუკავშირის პრინციპით, რაც უზრუნველყოფს შინაგან გარემოში — სისხლში ჰორმონების კონცენტრაციის საჭირო დონეზე შენარჩუნებას. ჰორმონების კონცენტრაციის მატება ან შემცირება იწვევს პათოლოგიურ ცვლილებებს, ვითარდება ნეიროენდოკრინული დაავადებები, ჰომეოსტაზი ირღვევა.

ცხრილი 8.6
ჰორმონების გამომყოფი ჯირკვლები და მათი მოქმედება

ჯირკვლები	ჰორმონები	მოქმედება
ჰიპოფიზის წინა წილი	სომატოტროფინი თიროტროპინი პროლაქტინი მელანოციტოტროპინი გონადოტროპინები ადრენოკორტიკოტროპინი	ძვლის ზრდის სტიმულაცია ფარისებრი ჯირკვლის ფუნქციის რეგულაცია სარძევე ჯირკვლების ზრდის და ლაქტაციის სტიმულირება კანის პიგმენტაციის და მელანინის სინთეზის სიტუაცია ქალებში ასტიმულირებს ოვოგენეზს, ესტროგენების სეკრეციას, ოვულაციას და ყვითელი სხეულის წარმოქმნას. კაცებში ასტიმულირებს სპერმატოგენეზის და სასქესო ჰორმონების გამოყოფას. თირკმელზედა ჯირკვლის ქერქული ჰორმონების სეკრეციის რეგულაცია
ჰიპოფიზის უკანა წილი	ოქსიტოცინი ვაზოპრესინი	საშვილოსნოს შეკუმშვა და გლუვი კუნთების ტონუსის გაძლიერება, თირკმლის არხებში წყლის შეწოვა და ნნეევის მომატება
ფარისებრი ანუ თირეოიდული	თიროქსინი, თირეოკალციტონინი	გონებრივი და ფიზიკური განვითარების და ზრდის სტიმულირება ფოსფორისა და კალციუმის ცვლის რეგულაცია
პარათირეოიდული	პარატორმონი	კალციუმისა და ფოსფორის ცვლის რეგულაცია
კუჭქვეშა ჯირკვლის ლანგერჰასის კუნძულები	ინსულინი გლუკაგონი	ნახშირწყლების ცვლის რეგულაცია
თირკმელზედა ჯირკვლის ქერქოვანი შრე	პიდროკორტიზონი ალდოსტერონი ანდროგენები	ნახშირწყლების, ცილებისა და ცხიმების ცვლის რეგულირება მინერალურ ნაერთთა, წყლის და მარილების თანაფარდობის რეგულირება ასტიმულირებს სასქესო ჯირკვლებს
თირკმელზედა ჯირკვლის ტვინოვანი შრე	ადრენალინი ნორადრენალინი	ნივთიერებათა ცვლის სტიმულირება, გავლენას ახდენს გულის სისხლძარღვებზე
საკეერცხე ყვითელი სხეული	ესტრადიოლი, ესტრონი პროგესტერონი	სასქესო ორგანოების, მეორადი სასქესო ნიშნების და სქესობრივი ქცევის განვითარება ფეხმძიმეობის ნორმალური მიმდინარეობა
სათესლე	ტესტოსტერონი	სასქესო ორგანოების, მეორად, სასქესო ნიშნების და სქესობრივი ქცევის განვითარება

ჰორმონის მოლეკულები მცირე ზომისაა და ამიტომ ადვილად ახერხებს კაპილარის კედლებისა და უჯრედების პლაზმური მემბრანების გადალახვას. ჰორმონთა ძლიერ აქტიურობაზე მეტყველებს შემდეგი მაგალითები: თირკმელზედა ჯირკვლის მიერ გამოყოფილი ჰორმონის ადრენალინის 1 გ. საკმარისია იმისათვის, რომ გააძლიეროს 10 მილიონი ბაყაყის იზოლირებული გულის მოქმედება, სხვანაირად ადრენალინი გულზე მოქმედებს 1×10^{-7} გ. რაოდენობით. პანკრეასის ლანგერჰანსის კუნძულების მიერ გამოყოფილი ინსულინის 1 გ. საკმარისია იმისათვის, რომ 125000 კურდღლის სისხლში გამოიწვიოს შაქრის დონის დაქვეითება.

ჯირკვლებიდან გამოყოფილი ჰორმონები სისხლში გადასვლის შემდეგ ცირკულირებს მთელ ორგანიზმში და მიიტანება თითქმის ყველა ორგანოსთან, მაგრამ მოქმედებს მხოლოდ სამიზნე ორგანოზე. სამიზნე ეწოდება იმ ორგანოს, რომელზეც მოქმედებს ჰორმონი.

მოქმედების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ ჰორმონთა სამ ფუნქციურ ჯგუფს. პირველ ჯგუფში გაერთიანებულია ის ჰორმონები, რომლებიც პირდაპირ მოქმედებს ეფექტორულ ორგანოებზე. შესაბამისად მათ ეფექტორულ ჰორმონებს უწოდებენ. მეორე ჯგუფის ჰორმონები უშუალოდ არ მოქმედებს ორგანოებზე, მაგრამ ხელს უწყობს ეფექტორული ჰორმონების წარმოშობა-გამოყოფას, მათ ტროფიკული ანუ გლანდოტროპული ჰორმონები ეწოდება. მესამე ჯგუფის ჰორმონებს ჰიპოფიზიოტროპულს უწოდებენ. ეს ის ჰორმონებია, რომლებიც სინთეზირდება ჰიპოთალამუსის ბირთვებში და არეგულირებს ჰიპოფიზის ჰორმონების სინთეზსა და გამოყოფას.

გარკვეულია ჰორმონთა უმრავლესობის სტრუქტურა და მოხერხდა მათი ხელოვნურად სინთეზირებაც. სტრუქტურის მიხედვით ჰორმონებს სამ კლასად ყოფენ: პირველია — სტეროიდები, მეორე — ამინომჟავათა დერივატები, მესამე — ცილა-პეპტიდური ნაერთები. ჰორმონთა მოლეკულები რთული აგებულებისაა და რამდენიმე ფრაგმენტს შეიცავს. მოლეკულის სხვადასხვა ფრაგმენტი ჰორმონის სხვადასხვა თვისებას განაპირობებს. ერთი ნაწილი პოულობს სამიზნე უჯრედს, რომელზედაც უნდა იმოქმედოს, მეორე ფრაგმენტმა კი ჰორმონის სპეციფიური ზემოქმედება უნდა განახორციელოს.

ადამიანის ორგანიზმში იდენტიფიცირებულია შემდეგი ენდოკრინული ჯირკვლები: ტვინის ქვედა და-

ნამატი ანუ ჰიპოფიზი. ჰიპოფიზში არჩევენ წინა და უკანა ნანილებს, რომლებიც განსხვავებულ ჰორმონებს გამოიმუშავებს. ტვინის ზედა დანამატია ეპიფიზი. თირკმელზედა ჯირკვლები, რომელებშიც არჩევენ ორ შრეს, გარეგანს ··· ქერქოვანს და შიგნითას – ტვინოვანს, ფარისებრი ანუ თიროიდული და პარათირეოდული ჯირკვლები. ლანგერჰასის კუნძულები, რომლებიც პანკრეასშია მოთავსებული, მკერდუკანა ჯირკვალი ანუ თიმუსი, პლაცენტა, სასქესო ჯირკვლები ანუ გონადები, რომელთა შორის გაირჩევა მდედრობითი – საკვერცხე და მამრობითი – სათესლე. ენდოკრინულ ჯირკვალთა მიერ გამოყოფილი ჰორმონები და მათი მოქმედების სფეციფიკა მოცემულია ცხრილში *(ცხრილი 8.6)*.

ადამიანში ჰომეოსტაზისა და სასიცოცხლო ფუნქციების რეგულირება მიმდინარეობს ნერვულ და ენდოკრინულ სისტემათა შეთანხმებული მოქმედებით. კავშირი მათ შორის ორმხრივია, ენდოკრინული რეგულაცია ნერვულისაგან განსხვავებით ხანგრძლივად გრძელდება.

ენდოკრინულ ჯირკვალთა ფუნქციის რეგულირებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სიმპათიკურ და პარასიმპატიკურ ნერვულ ბოჭკოებში გამოყოფილი მედიატორები. მიმდინარეობს ენდოკრინულ ჯირკვალთა მოქმედების ორმაგი კონტროლი.

გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ევოლუციის პროცესში ადამიანში ჰორმონული რეგულაცია ენდოკრინული ჯირკვლების ჩამოყალიბებამდე გაჩნდა. მოგვიანებით ჩამოყალიბდა მართვის რთული ნეიროენდოკრინული სისტემა.

8.1.7. ფსიქიკა და ქცევა

ფსიქიკური პროცესების ზეგავლენით ადამიანის მიერ განხორციელებულ კომპლექსურ აქტიურ მოქმედებას ქცევა ენოდება. იგი ხორციელდება ჩონჩხის კუნთების მოქმედებით, რეგულირდება ნერვული და ენდოკრინული სისტემების გავლენით. მუდმივად ცვლად შინაგან და გარეგან ფაქტორთა ზემოქმედების გამო ადამიანს მრავალფეროვანი ქცევების განხორციელება უხდება. ქცევა ინდივიდუალური ხასიათისაა და დასწავლით განიცდის დახვეწას.

ცნობილია სამი ტიპის მარტივი დასწავლა, რომელიც ადამიანთა ქცევას განაპირობებს. პირველია ჰაბიტუაცია ანუ შეჩვევა. შეჩვევა ხდება მაშინ, როდესაც კონკრეტული გამღიზიანებელი ხშირად მოქმედებს. პირველ ხანებში ადამიანი რეაგირებს მის მოქმედებაზე, ხოლო მომდევნო პერიოდში აღარ პასუხობს. მეორეა სენსიტიზაცია. სენსიტიზაცია ჰაბიტუაციის საწინააღმდეგო მოქმედებაა. სენსიტიზაციის შემთხვევაში ადამიანი ინტენსიურად რეაგირებს იმ გამღიზიანებელზე, რომელზედაც ადრე არ პასუხობდა. დასწავლის ორივე ფორმა ჰაბიტუაცია და სენსიტიზაცია ხელს უწყობს ადამიანს, შეეგუოს საარსებო გარემოს. ქცევის ორივე ფორმას დიდი მნიშვნელობა აქვს გადარჩენისთვის. სინსიტიზაციის შემთხვევაში ორგანიზმი გამღიზიანებელს აღიქვამს, როგორც შემაწუხებელს და ცდილობს თავი აარიდოს მის მოქმედებას. ჰაბიტუაციის შემთხვევაში გამღიზიანებელზე ორგანიზმი აღარ რეაგირებს ვინაიდან ხედება, რომ გამღიზიანებელს მისთვის არაფერი საშიშროება არ მოაქვს.

დასწავლის მესამე ფორმაა კლასიკური ანუ პავლოვის განპირობება (პირობით რეფლექსური). პირობით რეფლექსური დასწავლა განხილულია ნერვული სისტემის რეფლექსური ორგანიზაციის აღწერისას.

განხილული სამი ტიპის დასწავლას იმიტომ ენოდება მარტივი, რომ ის ცხოველებსაც ახასიათებთ და განსხვავდება ადამიანთა იმ ქცევებისაგან, რომლებიც თხოულობს გაცნობიერებას. გაცნობიერებული ქცევა არის, როდესაც იცი, რატომ აკეთებ.

XX საუკუნის დასაწყისში ფსიქოლოგიაში იწყება განვითარების ახალი დიდი ეტაპი. ფსიქოლოგიაში გაჩნდა გამოთქმა „ქცევის ფაქტი". ქცევას ფსიქოლოგები მიიჩნევენ ფსიქიკის გარეგან გამოხატულებად. ფსიქიკა არის ტვინის განსაკუთრებული თვისება – ფუნქცია, რაც გამოიხატება გარე სამყაროს ასახვაში. ის ადამიანის სულიერ ძალთა შესაძლებლობათა ერთობლიობაა.

1913 წელს ამერიკელი ფსიქოლოგი ჯონ უოტსონი აქვეყნებს სტატიას „ფსიქოლოგია ბიჰევიორისტის თვალთახედვით". ეს წელი ფსიქოლოგიაში ითვლება ახალი მიმართულების ··· ბიჰევიორიზმის დასაწყისად (ინგლ. behavior ·· ქცევა). უოტსონის განმარტებით, ქცევა არის რეაქციათა სისტემა. მან პირველმა შემოიტანა ფსიქოლოგიაში ტერმინი „რეაქცია" და დაასაბუთა მისი ნარმოშობა.

ადამიანის ნებისმიერ რეაქციას საფუძვლად უდევს გარემოს კონკრეტული ფაქტორი. მან გარემოს ფაქტორების აღსანიშნავად შემოიღო ტერმინი „სტიმული"" და ჩამოაყალიბა პოპულარული ფორმულა სტიმულ - რეაქცია:

S - R

S - არის გარემოს სტიმული

R - ორგანიზმის რეაქცია

ბიჰევიორისტული კვლევების გაფართოებამ მალევე ნათელი გახადა უოტსონის „სტიმულ-რეაქციის" სქემის შეზღუდულობა. სტიმულსა და ქცევას შორის იმდენად რთული და მრავალფეროვანი დამოკიდებულება არსებობს, რომ ძნელდება მათ შორის ცალსახა კავშირის დადგენა. ამ ხარვეზის გამოსწორებისათვის ე. ტოლმენმა გადაწყვიტა, S-R შორის შემოეტანა დამატებითი ცვლადი. უოტსტონის სქემამ მიიღო შემდეგი სახე:

S - V - R

შუალედურ V ცვლადში ტოლმენი გულისხმობს პიროვნების: სურვილს, მიზანს, ემოციურ განცდას, რომელთა შინაგანი გავლენით სტიმულები იწვევს ქცევის გარეგან გამოხატულებას. ე. ტოლმენმა მის მიერ შემოტანილ ცვლადს კონსტრუქტორი უწოდა.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ დასწავლის მეცნიერული განმარტება ვერ მოხერხდა, ერთი კი ნათელია — მკვლევართა დიდი ნაწილი ფიქრობს, რომ დასწავლა არის გამოცდილების საფუძველზე წარმოქმნილი მდგრადი ქცევა. ცხოველებისაგან განსხვავებით ადამიანი ცნობიერების საფუძველზე არეგულირებს ქცევებს.

ცნობიერება არის ობიექტური სინამდვილის ასახეის ფორმა, რომელიც დამახასიათებელია მხოლოდ ადამიანისათვის. ცნობიერება წარმოადგენს ფსიქიკური პროცესების ერთობლიობას, რომლებიც აქტიურად მონაწილეობს ადამიანის მიერ გარე სამყაროსა და საკუთარი ყოფიერების გააზრებაში. იგი განუყრელადაა დაკავშირებული მეტყველებასთან. ადამიანი ჩამოყალიბდა სიტყვებით მანიპულირების უნარის გამო. სიტყვა აძლევს ადამიანს სმენის, ხედვის, განსჯის, მსჯელობის, აზროვნების, ლაპარაკის, ოცნებისა და სიყვარულის საშუალებას. სიტყვამ ადამიანს მისცა შემოქმედების, აღმოჩენისა და გარემოს შეცვლის უნარი. ადამიანის ტვინს სიტყვები უყალიბებს ხატებს, უქმნის შინაგან სუბიექტურ სამყაროსა და ცნობიერებას. სიტყვების მეშვეობით ინფორმაცია კულტურის შესახებ გადაეცემა სხვა ადამიანებსა და თაობებს წერილობით, ვერბალურად და მათემატიკური ფორმულებით. სიტყვები ადამიანმა თვითონ შექმნა, რის შედეგადაც გამოეყო ცხოველთა სამყაროს და ჩამოაყალიბდა კოლექტიური ცნობიერი ნოოსფერო.

ფსიქოლოგები ადამიანის ფსიქიკას სწავლობდნენ ტვინის გარეშე. ნეიროფიზიოლოგები კი ტვინს ფსიქიკის გარეშე სწავლობდნენ. გასული საუკუნის ოცდაათიანი წლებიდან იწყება ახალი ერა. მოხდა კოევოლუცია. წარმოიქმნა ახალი დიდი პერსპექტივის მქონე დარგი ნეიროფსიქოლოგია. ნეიროფიზიოლოგიის ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდები მივიდა იმ შესაძლებლობამდე, რომ ადამიანის თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურაზე უშუალო ზემოქმედებით მოხერხდა ფსიქიკურ პროცესებში ჩარევა. ჩანერგილი ელექტროდებით თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურის ელექტრულმა სტიმულაციამ გამოიწვია ლაპარაკის, სურვილისა და სიამოვნების გრძნობა. ეს ადამიანთა სიტყვით, სახის გამომეტყველებითა და ქცევითაც დადასტურდა. ამ ტიპის ნეიროფიზიოლოგიური კვლევის შედეგებმა უშუალო კავშირი დაამყარა ფსიქოლოგიასთან. ფსიქოლოგიის მიზანია ნეიროფსიქოლოგიურ პროცესთა შეცნობა. შემთხვევითი არაა, რომ ახალ მიმართულებას აქტიურად დაუკავშირდნენ ნეიროლინგვისტებიც.

8.1.8. ემოცია და მოტივაცია

სიტყვა ემოცია ხმარებაში ფრანგულიდან შემოვიდა, რომლის ძირი ლათინურია და ქართულად მღელვარებას ნიშნავს. მისი გამოყენება იწყება XVII საუკუნიდან, ადამინის სულიერი მღელვარების აღსანიშნავად როგორებიცაა სიხარული, შიში, განრისხება და სხვ. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ უილიამ შექსპირი, რომელიც ითვლება მრავალფეროვანი სიტყვების გამომყენებელ მწერლად არც ერთ თავის ნაწარმოებში არ ხმარობს სიტყვას ემოცია. მიუხედავად იმისა, რომ მისი ლიტერატურული გმირები ხშირად იმყოფებიან სხვადასხვა დაძაბულობის ემოციურ მდგომარეობაში.

ადამიანს მოქმედებასთან ერთად გრძნობაც გააჩნია. ხშირად გაგვიგია გამოთქმები: „გაბრაზებული ვარ", „შენუხებული ვარ", „მე ბედნიერი ვარ", „მინდა დავეხმარო". გეესმის ყველას, რას განიცდიან ამ სიტყვების წარმომთქმელი პირები. ხშირად ვლაპარაკობთ სიხარულზე, შიშსა და სხვა ემოციურ მდგომარეობაზე, მაგრამ მეცნიერულად ვერ მოხერხდა ემოციის ისეთი განმარტება, რომელშიც არ იქნებოდა სუბიექტური განცდებისა და თვისებების ჩამონათვალი. მიუხედავად ასეთი დიდი ხარვეზისა უნდა გვახსოვდეს 2300 წლის წინანდელი არისტოტელეს ნათქვამი: „გრძნობები უნდა მართო ჭკუით". ნათქვამი უნდა განვახორციელოთ ცხოვრებაში, ვინაიდან ემოციები გვევლინება როგორც ურთიერთობის რეგულატორები. ემოციებს დიდი როლი ენიჭება პარტნიორის ამორჩევასა და საზოგადოების წევრებთან კავშირის ჩამოყალიბებაში.

ბოლო ხანებში მეცნიერება მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ არ შეიძლება ვილაპარაკოთ ემოციებზე, თუ არ იქნება გათვალისწინებული ადამიანის მოტივაცია. აგრეთვე არ შეიძლება მოტივაციაზე საუბარი, თუ არ გვეცოდინება ემოციის ხასიათი.

ადამიანის მოტივაციის ანუ მოთხოვნილების სამი ძირითადი ჯგუფი არსებობს. პირველი ჯგუფია ვიტალური ანუ ბიოლოგიური მოთხოვნილებები. მასში გაერთიანებულია: კვება, წყლის მიღება, ძილი, ნორმალური ტემპერატურის შენარჩუნება. მოტივაციის ფორმირების ნეიროფიზიოლოგიური საფუძველია ჰომეოსტაზის დისბალანსი.

მეორე ჯგუფი სოციალური მოთხოვნილებისაა. ადამიანი ცდილობს მოიპოვოს გარკვეული ადგილი სოციალურ ჯგუფში. შექმნას ოჯახი. დაიცვას ის ნორმები, რომლებიც მიღებულია სოციუმში.

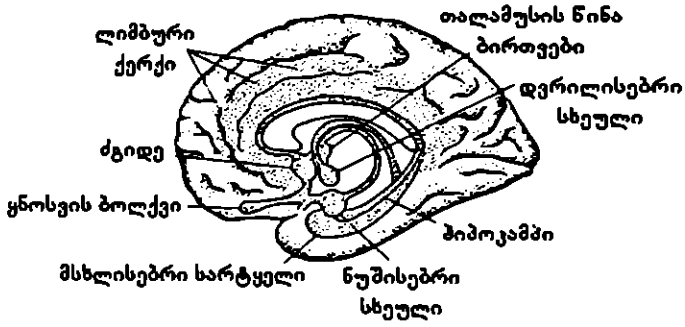
მესამე ჯგუფი მოთხოვნილებებისა არის, რომ ადამიანმა შეიცნოს საარსებო გარემო. აქტიურად გამოიყენოს თავისი მრავალფეროვანი შემოქმედებითი უნარი და გააუმჯობესოს თავისი სასიცოცხლო პირობები.

მოტივაციაზე ანუ ადამიანის მოთხოვნილებაზე (სურვილებზე) ორგვარი მოსაზრება არსებობს. პირველი — ადამიანის მოთხოვნილებები მემკვიდრეულია. მეორე — ადამიანის მოთხოვნილებები ფორმირდება ონტოგენეზში, გენომისა და ფენოტიპის ურთიერთობის ანალოგიურად. ადამიანის ძირითადი მოთხოვნილებები ფორმირდება ცნობიერებით, რომელზედაც დიდ გავლენას ახდენს კულტურული და სოციალური გარემო. ამიტომ განსხვავდებიან ადამიანები, როგორც პიროვნებები ერთმანეთისაგან. ერთი და იმავე გარემოში განსხვავებული სურვილების ადამიანები განსხვავებულად მოქმედებენ. ამიტომ ფსიქოლოგები ყურადღებას ამახვილებენ ემოციების თვითრეგულაციის უნარზე. ცნობილი ფსიქოლოგი ალბერტ ბანდურა წერს: „ტალანატი კარგია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ის რეალიზდება". ის ამტკიცებდა, რომ ადამიანმა, დასახული

მიზნის მისაღწევად აუცილებლად უნდა ისწავლოს საკუთარი ემოციების მართვა, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც არ არის დარწმუნებული თავის ძალებში.

ემოცია წარმოიქმნება გარეგანი ფაქტორებისა და სუბიექტურ მოტივაციათა ურთიერთობის შედეგად. ემოცია რეგულირდება ნეირონული და ენდოკრინული პროცესებით. ემოციის ბუნების სირთულე შეიძლება დავახასიათოთ შემდეგი ჩამონათვალით.

ემოცია წარმოქმნის აფექტურ განცდებს, როგორებიცაა დაკმაყოფილება და უკმარისობა. იყოფა ორ ნაწილად დადებით და უარყოფით ემოციად.



სურ. 8.19. ლიმბური სისტემა

ემოცია ასტიმულირებს ადამიანის შემეცნებით უნარს, დაადგინოს შეცდომების მიზეზები საკუთარ თავში ან გარემოს პირობებში.

ემოცია ავლენს მრავალ შინაგან ადაპტაციურ პროცესს.

ემოცია წარმოქმნის მიზანმიმართულ ისეთ ქცევებს, რომლებიც ადამიანს აძლევს საშუალებას შეეგუოს გარემოს მუდმივ ცვლად ფაქტორებს.

ემოციის ბუნების შესახებ მრავალი თეორიაა შექმნილი, რომელთაგან აღსანიშნავია 1937 წელს ანატომ დ. პაპეცის მიერ წამოყენებული მოსაზრება, რომელიც გამყარებული იყო მისი მიმდევრების ცხოველებზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგებით, და რასაკვირველია, კლინიკური მონაცემებით.

დღეისათვის ცნობილია, რომ ემოცია არ არის დაკავშირებული თავის ტვინის ერთ რომელიმე სპეციფიკურ ცენტრთან. ემოციის შინაგანი განცდა და გარეგანი გამოხატულება მიმდინარეობს „პაპეცის წრეში" გაერთიანებულ იმ მრავალი სტრუქტურების მოქმედებით, რომელსაც ლიმბური სისტემა ეწოდება *(სურ. 8.19).*

8.1.9. ძილი და სიზმარი

ძილი არის ორგანიზმის რეგულარულად განმეორებადი მდგომარეობა, რომლის დროსაც ადამიანის თავის ტვინი აგრძელებს სპეციფიკურ მოქმედებას და ვერ ახერხებს გარემოს რეალობის აღქმას. ძილის დროს ორგანიზმის მრავალი ფუნქცია დაქვეითებულია. შენელებულია ნივთიერებათა ცვლა, შემცირებულია გულის შეკუმშვათა სიხშირე, დაქვეითებულია ორგანიზმის კუნთური ტონუსი, გაიშვიათებულია სუნთქვა, შენელებულია სიმპათიკური ნერვული სისტემის მოქმედება და დაწეულია სხეულის ტემპერატურა.

ნორმალური გონებრივი მუშაობისათვის ძილი აუცილებელია. ხანგრძლივი უძილობა იწვევს ზოგადი ხასიათის ფსიქიკურ აშლილობას. ასეთ ადამიანებს დაქვეითებული აქვთ შრომისუნარიანობა და ვერ წყვეტენ ნამოჭრილ ამოცანებს, გამოირჩევიან მოჭარბებული აგზნებადობით, რასაც ხშირ შემთხვევაში არანორმალური ქცევები მოსდევს.

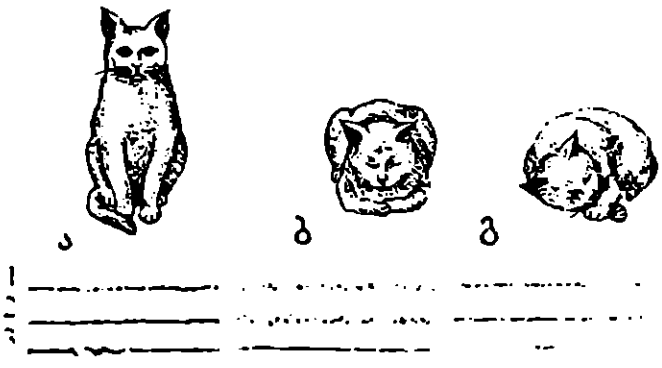
მიუხედავად იმისა, რომ ძილში ორგანიზმის მრავალი ფუნქცია დაქვეითებულია, იგი აქტიურ ფიზიოლოგიურ პროცესად ითვლება. ძილს არეგულირებს თავის ტვინი. წინა და მოგრძო ტვინის განყოფილებებში არსებობს ძილის ნერვული ცენტრები, რომელთა გავლენით რეგულირდება ძილ-ღვიძილის დღე-ღამური ციკლი. სრულასაკოვან ადამიანს საშუალოდ 7-8 საათი, ანუ დღე-ღამის ერთი მესამედი ძინავს. ბავშვებს უფრო დიდი ხანი სძინავთ, განსაკუთრებით ახალშობილებს. ამრიგად 60 წელს მიღწეული ადამიანი დაახლოებით 20 წელს ძილში ატარებს.

ძილს დიდი მნიშვნელობა აქვს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. ადამიანს შეუძლია დიდხანს გაძლოს საკვების გარეშე, მაგრამ უძილოდ ძალიან მალე იღუპება. ცხოველებზე ჩატარებული ცდებით დადგინდა, რომ ძაღლს შეუძლია შიმშილს 25 დღის განმავლობაში გაუძლოს, ხელოვნურად გამოწვეულ უძილობას კი ცხოველი 5 დღეში დაღუპვამდე მიჰყავს.

რა არის ძილი და რატომაა ასე აუცილებელი იგი ცოცხალი არსებისათვის?

კაცობრიობის მთელი ისტორიის მანძილზე ეს საკითხი ადამიანთა განსაკუთრებული ყურადღების ცენტრში იყო. ძველი ბერძნები ფიქრობდნენ, რომ ძილი ღმერთ მორფეოსისაგან იგზავნებოდა. ზოგიერთ ტომში არსებული ჩვეულების მიხედვით, არ შეიძლებოდა მძინარის გამოღვიძება, ან მისი სხვა ადგილზე გადაყვანა. ფიქრობდნენ, რომ სული, რომელიც ძილის დროს შეიძლებოდა შორს ყოფილიყო სხეულისაგან, ვერ მოასწრებდა დაბრუნებას და ადამიანი მოკვდებოდა. ძილს წინასწარმეტყველურ მნიშვნელობას ანიჭებდნენ. სიზმრის შინაარსის მიხედვით ცდილობდნენ ადამიანის მომავლის განსაზღვრას, ხალხთა ბედის წინასწარმეტყველებას. მეცნიერები ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ჰიპოთეზებს გამოთქვამდნენ, პოეტები ხოტბას ასხამდნენ სიზმარს, როგორც ობიექტურ სინამდვილეს. დანტე ალეგიერი თავის უკვდავ ქმნილებაში „ღვთაებრივი კომედია" დიდი პოეტური ძალით აღწერს საკუთარ სიზმარს – მოგზაურობას საიქიოში.

ძილის ბუნების გასარკვევად ფიზიოლოგები ფართოდ იყენებენ სპეციალურ ხელსაწყოს, რომელსაც ელექტროენცეფალოგრაფი ეწოდება. მისი გამოყენებით აფიქსირებენ თავის ტვინის ელექტრულ მოელენებს, რომლებიც აღმოცენდება ნეირონებში, ამ ხელსაწყოს საშუალებით დადგინდა, რომ სიფხიზლის დროს



სურ. 8.20. სიფხიზლისა და ძილის ელექტრული სურათი კატების თავის ტვინში: ა – ფხიზელი მდგომარეობა, ბ – ნელი ძილი, გ – სწრაფი სიზმრიანი ძილი; 1 – თავის ტვინის მარცხენა დიდი ნახევარსფეროს ელექტრული აქტიურობა; 2 – მარჯვენა დიდი ნახევარსფეროს ელექტრული აქტიურობა; 3 – თვალის სწრაფი მოძრაობა.

თავის ტვინის ელექტრული სურათი განსხვავდება ძილის ელექტრული სურათისგან. სიფხიზლისათვის დამახასიათებელია დაბალი ამპლიტუდის, ხშირი, ძილისათვის კი მაღალი ამპლიტუდის, ნელი რხევები. ექსპერიმენტატორს შეუძლია სხვა ოთახში მყოფი ადამიანის თავის კანზე მოთავსებული ენცეფალოგრაფთან მიერთებული ელექტროდების მეშვეობით შეუცდომლად განსაზღეროს ცდის პირს სძინავს თუ ფხიზლობს.

ელექტროენცეფალოგრაფული ჩანაწერების ანალიზის შედეგად მკვლევარებმა დაადგინეს მეტად საინტერესო ფაქტი. როცა ცდის პირს ძინავს და ელექტრული სურათიც ამასვე ამტკიცებს, ელექტროენცეფალოგრამაზე პერიოდულად გამოჩნდება სიფხიზლისათვის დამახასიათებელი დაბალი ამპლიტუდის ხშირი რხევები თვალის სწრაფი მოძრაობით. თუ ადამიანს ასეთი სურათის ფონზე გავაღვიძებთ, სიზმარს მოგიყვებათ, ამიტომ ძილი დაყვეს ორ პერიოდად: ერთს ეწოდება სწრაფი, მეორეს კი – ნელი ძილი. ნელი ძილისათვის დამახასიათებელია მაღალი ამპლიტუდის ნელი რხევები, ხოლო სწრაფი ძილისათვის – დაბალი ამპლიტუდის ხშირი რხევები. სწრაფი ძილის პერიოდში ადამიანი ხედავს სიზმარს, ხოლო ნელი ძილის დროს – არა. ნელი ძილის ფონზე სწრაფი ძილი სხვადასხვა ხანგრძლივობით და პერიოდულობით მეორდება. იგი უფრო ხშირად ჩნდება გამთენიის დროს, სწრაფი ძილის ჯამური ხანგრძლივობა არის მთელი ძილის ერთი მესამედი. ესე იგი ადამიანს თუ ძინავს ექვსი საათი, ორ საათს სიზმარში ატარებს. ადამიანი ყოველ ღამე ხედავს სიზმარს. ხშირად გაგიგიათ ან თავად განგიცდიათ – „სიზმარი არ მინახავსო", ეს იმიტომ ხდება რომ გაიღვიძეთ ნელი ძილის დროს, თუ გაიღვიძებთ სწრაფი ძილის დროს სიზმარი გემახსოვრებათ.

ფსიქიკური პროცესების მიხედვით ადამიანი ძილის დროს ორგვარ მდგომარეობაში იმყოფება. ნელი ძილის დროს ფსიქიკური მოვლენები არ აღინიშნება, ხოლო სწრაფი ძილის დროს სიზმარში თავს იჩენს ფსიქიკური მოვლენები. სიზმრის დროს გეეჩვენება, რომ სიზმრისეული ნარმოდგენები რეალობაა.

ძილის ელექტრული სურათი ცხოველებშიც იმგვარად მიმდინარეობს, როგორც ადამიანებში *(სურ. 8.20)*. სიზმარს ცხოველებიც ხედავენ. ეს მოსაზრება მტკიცდება იმითაც, რომ ცხოველებს სიზმრიანი ძილის დროს უძლიერდებათ თვალების მოძრაობა, რაც დამახასიათებელია ადამიანის სიზმრიანი ძილისათვის.

8.1.10. მეხსიერება

მეხსიერება არის თავის ტვინის ყველაზე დიდი საოცრება. ადამიანის ინტელექტი მეხსიერებას ეფუძნება. ვფიქრობთ და ვმოქმედებთ მეხსიერებისა წყალობით. ის ახორციელებს კავშირს ჩვენს წარსულსა და აწმყოს შორის. მეხსიერება განსაზღვრავს ჩვენს ინდივიდუალობას, რის გამოც საინტერესო ხდება სიცოცხლე.

მეხსიერების პრობლემისადმი თანამედროვე მიდგომა დაფუძნებულია: თავის ტვინის მორფოლოგიის, მოლეკულური ნეირობიოლოგიის, ნეიროგენეტიკის და საერთოდ ნეირომეცნიერებათა მიღნევებზე. ამ მიდგომამ დასახა რეალური გზები მეხსიერების ბუნების გარკვეისათვის.

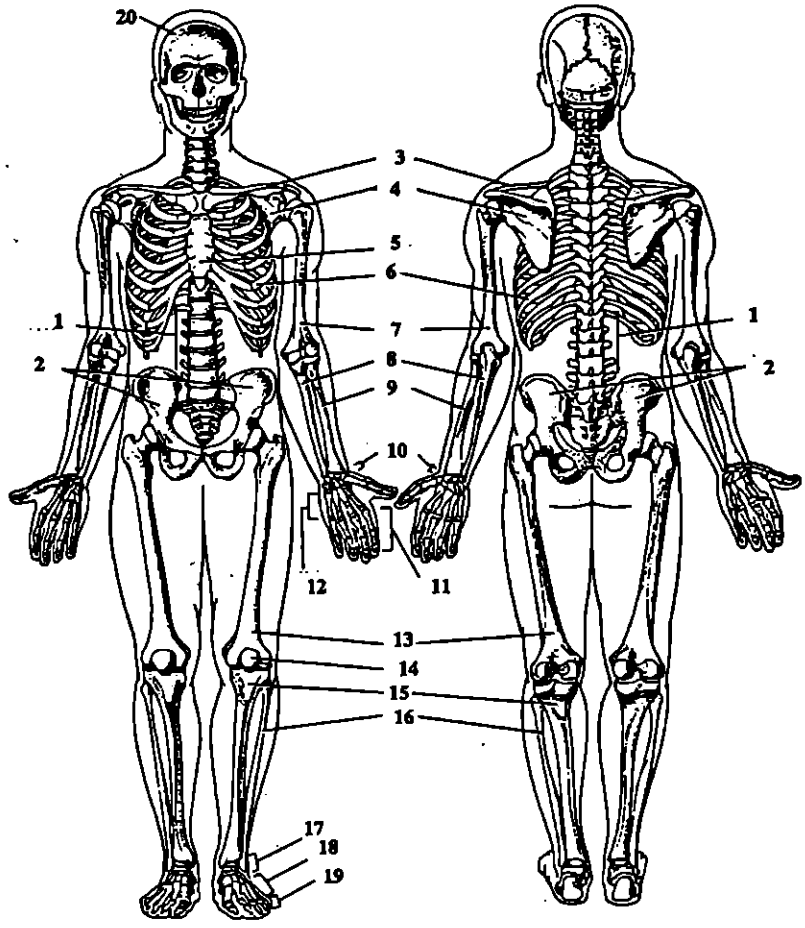
პირველი მკვლევარი, რომელმაც დაიწყო მეხსიერების ექსპერიმენტული კვლევა, ჰერმან ებინჰაუზი იყო. ექსპერიმენტი მან თავის თავზე ჩაატარა. შეადგინა რამდენიმე ფურცელი, თითოეულზე ჩამონერილი იყო 16 სიტყვა. გარკვეულ დღეს იღებდა შემთხვევით რომელიმე ფურცელს, რომელიც ადრე არ ჰქონდა აღებული. თითო სიტყვას 2.5 წამის სიჩქარით იმეორებდა 8-ჯერ, 16, 24, 53 ან 64-ჯერ. სიტყვები ჩამონერილი იყო ულოგიკოდ. მას აინტერესებდა მხოლოდ დამახსოვრების ხარისხის დროზე დამოკიდებულება.

მრავალი მკვლევარი ცდილობდა მოენახა თავის ტვინში მეხსიერების სივრცული ორგანიზაცია. ვინაიდან გამოთქმული იყო მოსაზრება, რომ თავის ტვინი ნეირონულურ ქსელებში მეხსიერებას ინახავს ისე, როგორც მაგნიტური ფირი ჩაწერილ ინფორმაციას. მაგნიტურ ფირს ელექტრულ ქსელში ჩართვა ჩაწერილი ინფორმაციის იმდენჯერ მოსმენის საშუალებას იძლევა, რამდენჯერაც გსურს.

ადამიანის თავის ტვინში ანალოგიური მოვლენა პირველად აღწერეს უ. პენფილდმა და გ. ჯასპერმა 1958 წელს მონრეალის კლინიკაში. ნეიროქირურგიული ოპერაციის დროს 27 წლის ქალს ელექტრული სტიმულაციით გაუღიზიანეს შუბლის წილის ახლოს მდებარე ნეირონები. ელექტროდის მცირე გადაადგილებით ავადმყოფი ალაპარაკდა. მან გაიხსენა 14 წლის წინათ განცდილი ფაქტი. 13 წლის ასაკში ის შეუშინებია მეზობელს ტომარაში ჩასმული სათამაშო გველით. მომხდარი დაადასტურეს ავადმყოფის მშობლებმა. რასაკვირველია, ეს საინტერესო მოვლენა შემთხვევით იქნა მოპოვებული, ვინაიდან ნარმოუდგენელია მილიარდობით ნეირონთა სიმრავლეში მიზანდასახულად დადგინდეს ამა თუ იმ ინფორმაციის ლოკალიზაცია. დიდი პემისფეროს ქერქის ნეირონების ელექტროსტიმულაციის დროს მკვლევრები წააწყდნენ მსგავს მოვლენებს. ყველა დაკვირვებული

მოვლენა ეხებოდა რეალურად მომხდარ ფაქტებს. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ადამიანთა მოყოლილი ფაქტები არ იყო ისეთი მნიშვნელოვანი, რათა ისინი გაცნობიერებულად დაემახსოვრებინათ. გამოდის, რომ ელექტრულმა სტიმულაციამ მეხსიერების არქივიდან ამოატივტივა შემთხვევითი, არასაჭირო ინფორმაცია. ამის საფუძველზე შეიქმნა შეხედულება, რომ ტვინი იმახსოვრებს ყოველგვარ ინფორმაციას, მაგრამ საჭიროებისას გამოყენება უჭირს.

მეხსიერება არ წარმოადგენს ერთ მთლიან ფუნქციას. მის განხორციელებაში მონაწილეობს მრავალი სხვადასხვა პროცესი. თანამედროვე ნეიროფსიქოლოგიური თვალთახედვით, ადამიანის მეხსიერებაში გამოყოფილია სამი თანმიმდევრული ძირითადი სისტემა. პირველი — უნდა მოხდეს ინფორმაციის მიღება და გადამუშავება. მეორე — უნდა მოხდეს გადამუშავებული ინფორმაციის შენახვა ნეირონულ ქსელებში. მესამე — სწრაფად მოინახოს ჩაწერილი ინფორმაცია საჭიროებისამებრ. კარგი და ცუდი ინდივიდუალური მეხსიერება განისაზღვრება ამ სამი სისტემის მოქმედებით.



სურ. 8.21. ადამიანის ჩონჩხის ნინა და უკანა ხედი
1 — ხერხემლის სვეტი; 2 — მენჯის ძვალი; 3 — ლაყინი; 4 — ბეჭი; 5 — მკერდის ძვალი; 6 — ნეკნები; 7 — მხრის ძვალი; 8 — იდაყვის ძვალი; 9 — სხივის ძვალი; 10 — მაჯის ძვლები; 11 — ზემო კიდურის ფალანგები; 12 — ნების ძვლები; 13 — ბარძაყის ძვალი; 14 — კვირისტავი; 15 — დიდი წვივის ძვალი; 16 — მცირე წვივის ძვალი; 17 — უკანა ტერფი; 18 — ნინა ტერფის ძვლები; 19 — ქვემო კიდურის ფალანგები; 20 — ქალა.

არსებობს მეხსიერების სხვადასხვა ფორმები და მისი კლასიფიკაციაც საკმაოდ მრავალფეროვანია. ჩვენ შევეხებით ადამიანის მეხსიერების იმ პოპულარულ ფორმას, რომელიც დროზეა დამყარებული. ადამიანს გააჩნია სამი ტიპის მეხსიერება: პირველი — მყისიერი, რომელიც გრძელდება 2-3 წამი; მეორე — მოკლევადიანი, რომელიც გრძელდება რამდენიმე დღე; მესამე — გრძელვადიანი, რომელიც გრძელდება წლობით და შეიძლება გაგრძელდეს მთელი ცხოვრება.

მოკლევადიანი მეხსიერების გადასვლას გრძელვადიანში კონსოლიდაცია ეწოდება. კონსოლიდაცია ლათინური სიტყვაა და განმტკიცებას, გაერთიანებას, შემჭიდროვებას ნიშნავს. რემინისცენცია არის გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ ჩაწერილი ინფორმაციის გაუმჯობესება. ამ დროს ხდება მეხსიერებაში შენახული მასალის უფრო დიდი მოცულობით და სიზუსტით გახსენება. მაგალითად, ღამით ძილის წინ ნასწავლი ლექსი, რომელსაც შეცდომით ვამბობდით, დილას გამოლეიძების შემდეგ უკეთ გვახსოვს. რემინისცენცია უფრო ხშირად ბავშვობის ასაკში ვლინდება.

მეხსიერების სივრცით და დროებით ორგანიზაციაში ჩართულია თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურა. აქტიურ როლს თამაშობს ნახევარსფეროების შუბლის, საფეთქლისა და კეფის წილები, თალამუხის ბირთვები და ნათხემი, პიპოკამპის მონაწილეობით ხდება ინფორმაციის შერჩევა, რომელი მიმართულებით უნდა იქნას გაშვებული დასამახოვრებლად მოკლევადიან თუ გრძელვადიან სისტემაში.

ასაკი გავლენას ახდენს მეხსიერების ხარისხზე, ფსიქოლოგების მიერ დადგენილია, რომ ადამიანთა ორივე სქესის წარმომადგენლებში 20-25 წლამდე მეხსიერება უმჯობესდება. 40-45 წლამდე მეხსიერება სტაბილურია და მისი ხარისხი არ იცვლება. 40-45 წლის ზევით კი მეხსიერება ქვეითდება.

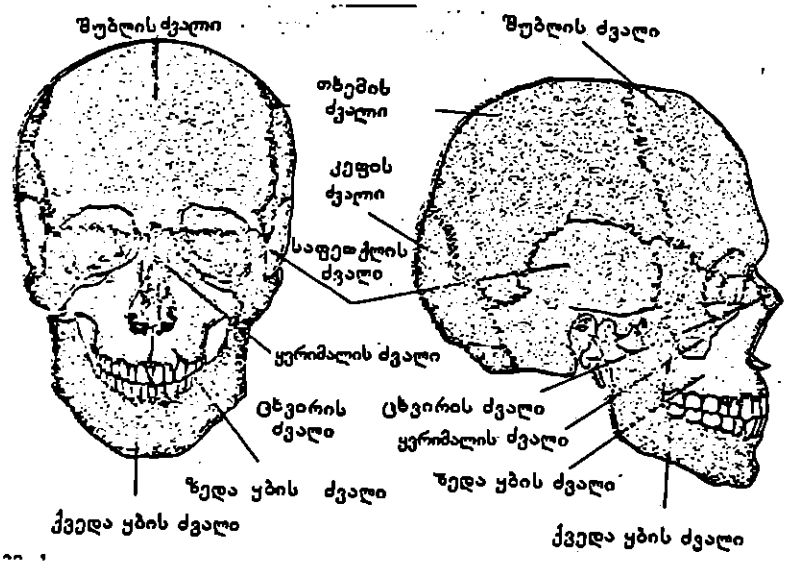
8.2. საყრდენ-მამოძრავებელი სისტემა

ჩონჩხი და კუნთები ადამიანის საყრდენი სტრუქტურებიცაა და მოძრაობის ორგანოებიც. ისინი აგრეთვე ორგანოთა დამცველ ფუნქციას ასრულებს. კერძოდ, შემოსაზღვრავენ ღრუებს, რომლებშიც მოთავსებულია ორგანოები. მაგალითად, ქალაში მოთავსებულია თავის ტვინი, ზურგის ტვინი — ხერხემლის არხში. გულს და ფილტვებს გულმკერდი და მკერდისა და ზურგის კუნთები იცავს. მუცლის ღრუს ორგანოებს (კუჭი, ღვიძლი, ელენთა, ნაღვლის ბუშტი, ნაწლავები, თირკმელები) იცავს ხერხემლის ქვედა ნაწილი, მენჯის ძვლები, ზურგისა და მუცლის კუნთები.

მოძრაობის ორგანოები ორ ნაწილად იყოფა, პასიურად და აქტიურად. პასიურ ნაწილს ეკუთვნის ძვლები და სახსრები, აქტიურს კი — კუნთები. ადამიანში ძვალთა კომპლექსს ეწოდება ჩონჩხი (skeleton — გამომშრალი). ძვლის ღრუში მოთავსებულია ძვლის ტვინი, რომელიც წარმოშობს სისხლის ფორმიან ელემენტებს. ამრიგად, ჩონჩხის ფუნქციებია საყრდენი, მოძრაობითი, დამცველი და ჯირკვლოვანი.

ჩონჩხი, ზრდასრულ ადამიანს 200-ზე მეტი ძვალი გააჩნია. მათ შორის, 33-34 კენტი, დანარჩენი კი — წყვილი ძვლები. ძვლები ინონის 5-7 კგ, რაც მთელი სხეულის დაახლოებით 15-17%-ია. თავის ქალას ქმნის 29 ძვალი, ხერხემლის სვეტს — 26 (24 თავისუფალი მალა, გავა და კუდუსუნი), გულმკერდს — 25 (24 ნეკნი და მკერდის ძვალი). ზედა კიდურები შეიცავს 64 ძვალს, ხოლო ქვედა კიდურები — 62. ძვლები სხვადასხვა ფორმისაა და განსხვავდებიან ფუნქციურადაც *(სურ. 8.21)*.

ადამიანს გააჩნია ძვლების ხუთი ჯგუფი: ესენია გრძელი, მოკლე, განიერი ანუ ბრტყელი, შერეული და ჰაეროვანი. გრძელი ძვლები კიდურებშია (მხრის, იდაყვის, სხივის, ბარძაყისა და წვივის ძვლები). გრძელი ძვალი ლულისებურია. მოკლე ძვლებში სამივე ზონა თითქმის ერთნაირია და გვხვდება იქ, სადაც საჭიროა მჭიდრო შეერთება. მაგალითად, მაჯის ძვლები. განიერი ბრტყელი ძვლები ქმნის ღრუს კედლებსა და ძვლოვან კოლოფებს (კეფის, თხემის, მენჯის ძვლები). შერეულ ძვლებს ეკუთვნის ისეთი ძვლები, რომლებიც არ გავს პირველი სამი ჯგუფის ძვლებს (სახის ძვლები). ჰაეროვან ძვლებს აქვთ წიაღები ამოფენილი ლორწოვანი გარსით და შეიცავს ჰაერს.



სურ. 8.22. ადამიანის ქალა

ადამიანის სხეულში არჩევენ თავს, ტორსსა და კიდურებს. ქალა *(სურ. 8.22)*, ხერხემლის სვეტი და გულმკერდის ყაფაზი ეკუთვნის ძირითად ჩონჩხს, ხოლო ზედა და ქვედა კიდურები განიხილებიან, როგორც დამატებითი ჩონჩხი.

მოზრდილი ადამიანის ხერხემალი შედგება 24 მალის, გავის ძვლისა და კუდუსუნისაგან. 24 მალა ნარმოადგენს თავისუფალ ძვლებს. გავა და კუდუსუნი ცალკე ძვლებისაგან შედგებიან მხოლოდ ბავშვობისა და ყრმობის ხანაში. ასაკოვნებში გავის ძვლები უერთდება ერთმანეთს და ქმნის ერთ ძვალს. ხერხემლის თავისუფალი ძვლები სამ ჯგუფად იყოფა: კისრის, გულმკერდისა და წელის მალებად. მთელ ხერხემალში შეიძლება გამოვყოთ 7 კისრის მალა, 12 გულმკერდის, 5 წელის, 5 გავის და 4-5 კუდუსუნის მალა.

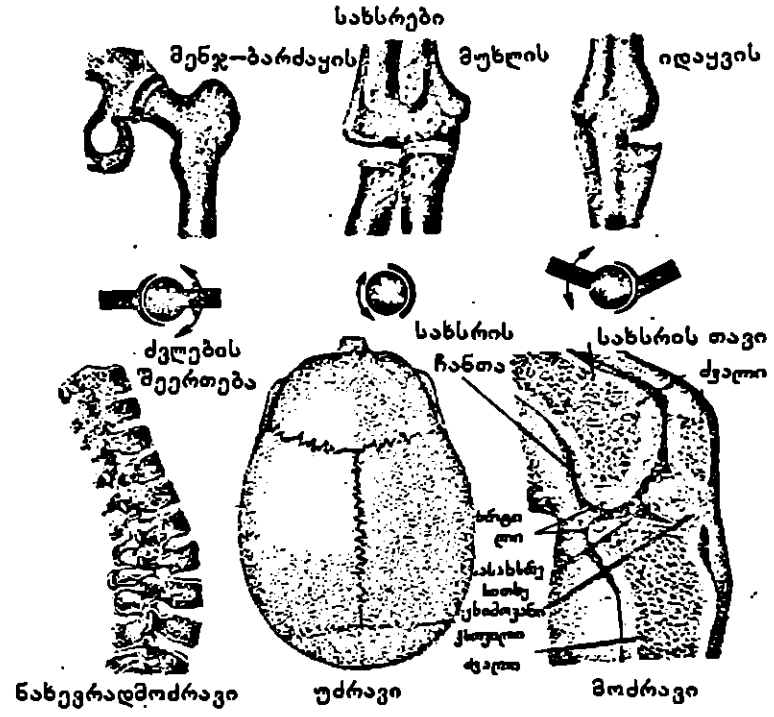
ზოგი ძვალი სრულიად უძრავად არის შეერთებული, მაგალითად, ქალას ძვლები. სხვები მოძრავად ან ნახევარმოძრავად. ძვლების მოძრავ შეერთებას სახსრები ეწოდება. ასეთებია მუხლის, იდაყვის, ბარძაყის სახსრები *(სურ. 8.23)*.

მოძრავი სახსარი ორი ძვლის ურთიერთობით მოქმედებს. ერთი ძვალი ქმნის ფოსოს, რომელსაც სასახსრე ღრმული ეწოდება. მასში შედის მეორე ძვლის შესაბამისი ფორმის თავი. ღრმული და ძვლის თავი დაფარულია მბრწყინავი, გლუვი ხრტილოვანი ფენით, რაც უზრუნველყოფს სახსარში მოძრაობის დროს ძვლის სრიალს თავის ღრმულში. სახსრის შემადგენელი ძვლები ძალიან მტკიცე იოგებით ერთდება. სახსარი ზემოდან დაფარულია სასახსრე ჩანთით. მასში მოთავსებულია სასახსრე სითხე. სასახსრე სითხე ამცირებს ხახუნს და ხელს უწყობს ძვლის თავის თავისუფალ მოძრაობას სასახსრე ღრმულში. ხრტილები, იოგები და სასახსრე ჩანთა შემაერთებელ ქსოვილებს განეკუთვნება. ხრტილოვანი ფენით ძვლების ნახევრადმოძრავ შეერთებას ნახევრადსახსარი ეწოდება.

ბავშვობასა და ჭაბუკობაში ადამიანის ძვლები იზრდება სიგრძესა და სისქეში. ჩონჩხის ჩამოყალიბება

22-25 წლის ასაკში მთავრდება. ძვლის სისქეში ზრდა გამოწვეულია იმით, რომ ძვლისსაზრდელას შიდა ზედაპირის უჯრედები იყოფა. ამ დროს ძვლის ზედაპირზე უჯრედების ახალი ფენა წარმოიქმნება, ხოლო ამ უჯრედების ირგვლივ ყალიბდება უჯრედშორისი ნივთიერება.

სიგრძეში ძვლები იზრდება იმ ხრტილოვანი ქსოვილის უჯრედების დაყოფის ხარჯზე, რომელიც ძვლის თავებს ფარავს. ძვლების ზრდას არეგულირებს ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები. ასეთ ნივთიერებას წარმოადგენს ჰიპოფიზის მიერ გამოყოფილი ზრდის ჰორმონი. ამ ჰორმონის ნაკლებობის შემთხვევაში ბავშვი ძალიან ნელა იზრდება. ასეთი ადამიანები 5-6 წლის ბავშვის სიმაღლეზე მეტს არ იზრდებიან. ისინი ქონდრისკაცები არიან. თუ ბავშვობაში ჰიპოფიზი გააქტივებულია და ბევრ ჰორმონს გამოიმუშავებს, იზრდება გოლიათი — 2 მ და მეტი სიმაღლის ადამიანი. მოზრდილ ადამიანს თუ გაუაქტიურდება ჰიპოფიზის ფუნქცია, არაპროპორციულად ეზრდება სხეულის ზოგიერთი ნაწილი ენა, ცხვირი, ხელებისა და ფეხების თითები, რასაც აკრომეგალია ეწოდება.



სურ. 8.23. ადამიანის ძვლების შეერთება და სახსრები

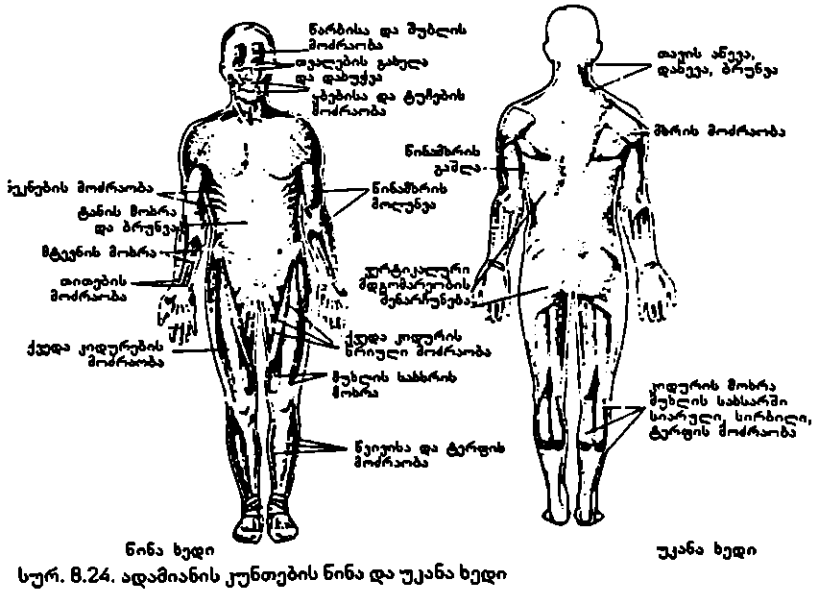
ჯანმრთელ მოზრდილებს ძვლები არც უგრძელდებათ და არც უსქელდებათ, მაგრამ ძვლის ძველი ნივთიერების შეცვლა ახლით მთელი სიცოცხლე გრძელდება. რაც უფრო აქტიურია ჩონჩხი, მით უფრო აქტიურად მიმდინარეობს ნივთიერებათა განახლების პროცესები და მით უფრო მტკიცეა ძვლის ნივთიერება.

ძვლები ორგანული და არაორგანული ნივთიერებებისაგან შედგება. ორგანული ნაერთები ძვალს მოქნილობასა და სიმტკიცეს ანიჭებს, არაორგანული ნივთიერებები კი — სიმკვრივეს.

კუნთები. კუნთები ხასიათდებიან სხვადასხვა ფორმით, შენებით და ფუნქციით. მათი რაოდენობა ადამიანის ორგანიზმში აღწევს 400. ზრდასრული ადამიანის კუნთების მასა მთელი სხეულის მასის 35-40%-ია. ადამიანის სხეულის ძირითადი კუნთები ნაჩვენებია სურათზე *(სურ. 8.24)*.

ჩონჩხის კუნთების საშუალებით ადამიანი იცავს წონასწორობას, გადაადგილდება სივრცეში, ახორციელებს სუნთქვით და ყლაპვის ფუნქციებს, გამოხატავს მიმიკურ მდგომარეობას. ადამიანის ყველა ფიზიკური საქმიანობა ხორციელდება კუნთების მეშვეობით *(სურ. 24.)*.

ჩონჩხის კუნთები განივზოლიანი კუნთების ბოჭკოების კონუსებისაგან შედგება. ყოველ კუნთთან სისხლძარღვები და ნერვები მიდის. კუნთები დაფარულია შემაერთებელი ქსოვილის გარსით და ძვალზეა მიმაგრებული მყესების საშუალებით.



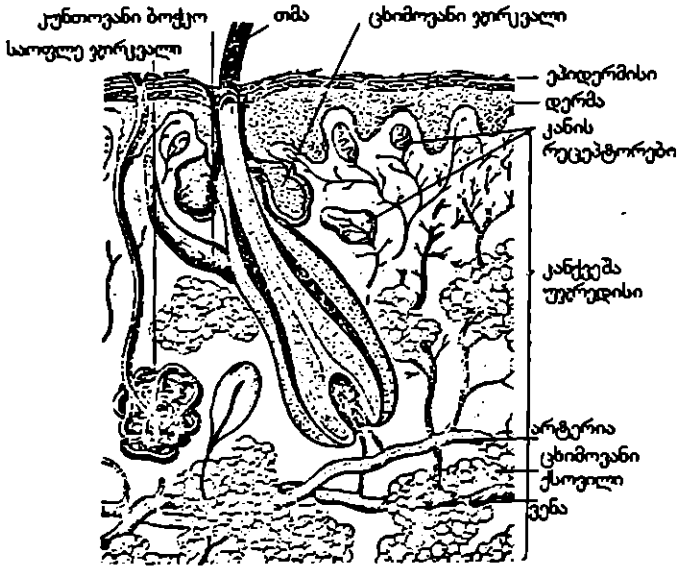
სურ. 8.24. ადამიანის კუნთების ნინა და უკანა ხედი

გრებული მყესებით. მგრძნობიარე ნეირონების აქსონებით ცენტრალურ ნერვულ სისტემას გადაეცემა კანის, კუნთების, მყესებისა და სახსრების რეცეპტორების იმპულსები. მამოძრავებელი ნეირონებით ნერვული იმპულსები ტარდება ზურგის ტვინიდან კუნთებამდე, რის შედეგადაც კუნთი იკუმშება.

ამრიგად, კუნთების შეკუმშვა რეფლექსურად ხორციელდება. ადამიანის ნებისმიერ მოძრაობაში და პოზის მიღებაში მონაწილეობს ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მოქმედი კუნთების ორი ჯგუფი: სახსრების მომხრელი და გამშლელი კუნთები. სახსრის მოღუნვა მომხრელი კუნთების შეკუმშვით და იმავდროულად გამშლელი კუნთების მოდუნებით ხდება. მომხრელი და გამშლელი კუნთების შეთანხმებული მოქმედება რეგულირდება ზურგის ტვინიდან, ზურგის ტვინში მიმდინარე აგზნებისა და შეკავების პროცესების შეთანხმებული მიმდინარეობით. მაგალითად, ხელის მომხრელი კუნთების შეკუმშვას ზურგის ტვინის მამოძრავებელი აქსონების ნერვული იმპულსები იწვევს. იმავდროულად დუნდება გამშლელი კუნთები, რაც მამოძრავებელი ნეირონების შეკავებასთან არის დაკავშირებული. სახსრის მომხრელი და გამშლელი კუნთები შესაძლოა ერთდროულად მოდუნებულ მდგომარეობაში იყოს მაგალითად, როცა სხეულის გასწვრივ მშვიდად ჩამოშვებული ხელები მოდუნებულია. სიმძიმე ჰორიზონტალურად განვდილ ხელში რომ დავიჭიროთ, შევნიშნავთ სახსრის მომხრელი და გამშლელი კუნთების ერთდროულ შეკუმშვას.

8.3. კანის აგებულება და ფუნქციები

კანის აგებულება. კანი ადამიანის სხეულის გარეგანი საფარველია, რომლის ფართობი დაახლოებით ორი კვადრატული მეტრია. იგი რთული აგებულებისაა და მრავალ ფუნქციას ასრულებს. კანი სამი ძირითადი ფენისაგან შედგება *(სურ. 8.25)*.



სურ. 8.25. კანის აგებულება

გარეთა შრე — ეპიდერმისი წარმოქმნილია მრავალშრიანი ეპითელური ქსოვილისაგან, რომელიც მუდმივად იქერცლება და ახლდება უფრო ღრმად განლაგებული უჯრედების გამრავლების ხარჯზე.

ეპიდერმისის ქვეშ მოთავსებულია მკვრივი შემაერთებელი ქსოვილის შრე, რომელსაც დერმა ეწოდება. დერმაში მოთავსებულია სისხლძარღვები და ლიმფური ძარღვები, მრავალი სხვადასხვა რეცეპტორი, ქონისა და საოფლე ჯირკვლები, თმის ძირები.

კანის ყველაზე ღრმა ფენას კანქვეშა უჯრედისი ეწოდება. იგი წარმოქმნილია ცხიმოვანი ქსოვილისაგან. მას საკვები ნივთიერებებისა და ენერგიის საცავს უწოდებენ. წარმოადგენს აგრეთვე საიზოლაციო შრეს.

კანის ფუნქციები. კანი მრავალ ფუნქციას ასრულებს. კანი იცავს ორგანიზმს სხვადასხვა სახის მექანიკური დაზიანებისაგან. ხელს უშლის ორგანიზმში უცხო ნივთიერებებისა და დაავადებების გამომწვევი მიკრობების შეღწევას. კანში მოთავსებულია მრავალი სხვადასხვაგვარი რეცეპტორი, რომლებიც აღიქვამენ წნევას, ტკივილს, სითბოსა და სიცივეს. რეცეპტორი ადამიანს საშუალებას აძლევს აიცილოს თავიდან ჭრილობები, მოყინვა, დამწვრობა. კანის მგრძნობელობა ხელს უწყობს ადამიანს საარსებო გარემოსთან ურთიერთობაში. კანის მგრძნობელობის დაკარგვა ტრამვების გამომწვევი ხდება. შეიძლება ზოგიერთი ტრამვა სიკვდილის მიზეზიც გახდეს. კანში სინთეზირდება D ვიტამინი, რომელიც ხელს უშლის ბავშვებში რაქიტის განვითარებას. კანში გამომუშავდება მუქი პიგმენტი, რომელიც ორგანიზმს იცავს ჭარბი ულტრაიისფერი სხივების მავნე ზეგავლენისაგან. კანი გამოყოფის ფუნქციასაც ასრულებს. საოფლე ჯირკვლების მეშვეობით ორგანიზმიდან ჭარბი წყალი და მარილები გამოიდევნება. კომფორტულ პირობებში, როდესაც ტემპერატურა გარემოში 18º-20ºC-ს აღწევს, ადამიანი დღე-ღამეში 500 მლ. ოფლს გამოყოფს. ოფლის ეს რაოდენობა შეიცავს 2 გრამამდე NaCl-ს და 1 გრამამდე N_2-ს. ოფლის გამოყოფა მიმდინარეობს განუწყვეტლივ. ოფლი სწრაფად ორთქლდება კანის ზედაპირიდან.

ქონის ჯირკვლები, უმთავრესად თმების ახლოს არის განლაგებული და მათი სადინარები იხსნება თმის პარკებში. დღე-ღამის განმავლობაში 20 გრამამდე ქონი გამოიყოფა. კანის ზედაპირზე გამოყოფილი ქონი არბილებს კანს და დამახასიათებელ ბზინვარებას აძლევს თმებს.

კანი აგრეთვე მონაწილეობს სხეულის მუდმივი ტემპერატურის შენარჩუნებაში.

თმები და ფრჩხილები. ფრჩხილები და თმები კანის რქოვანი წარმონაქმნებია.

თმები მოთავსებულია თმის ძირებში, რომლებიც მდებარეობს ღრმად დერმაში. ადამიანის მთელი სხეული, გარდა ხელის გულებისა და თითებისა, ტუჩებსა და ფეხის გულებისა, თხელი ბუსუსებით არის დაფარული გრძელი თმა თავზეა განლაგებული. ის ადამიანს იცავს მზის სხივებისა და გაციებისაგან. თმის სიცოცხლის შენარჩუნების ხანგრძლივეობა ინდივიდუალურია და დამოკიდებულია ადამიანის ასაკზე. აგრეთვე ნერვული სისტემისა და შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლების მდგომარეობაზე.

თმის ყოველ ღერს სიცოცხლის საკუთარი ციკლი აქვს. ყოველდღიურად ადამიანს 100 ღერამდე თმა სცვივა. ამავე დროს ახლად ამოდის. ამიტომ თმის რიცხვი შეფარდებითად მუდმივია. თმის ღერი ტანზე 50 დღე ძლებს. თავზე კი ერთი წელი და ზოგიერთი უფრო დიდხანს. თმის ღერები სხვადასხვა სისწრაფით იზრდება.

ფრჩხილები ისე, როგორც თმები ეპიდერმისის ნარმონაქმნია. ყოველი თითის ზურგის მხარე რქოვანი ნიეთიერებით არის დაფარული, რომელიც ფრჩხილებს წარმოქმნის. ფრჩხილები განუწყვეტლივ იზრდება, რაც ეპიდერმისის უჯრედების დაყოფით ხორციელდება. კვირის განმავლობაში ფრჩხილები საშუალოდ 0,5 მმ-ით იზრდება, ზაფხულში უფრო სწრაფად, ვიდრე ზამთარში. ხელისა და ფეხის ფრჩხილების ზრდის სისწრაფე ერთნაირი არ არის. ხელის ფრჩხილები უფრო სწრაფად იზრდება.

კანის როლი თბორეგულაციაში. ორგანიზმში სითბოს წარმოქმნასა და გადაცემის პროცესთა გაწონასწორებას თბორეგულაცია ეწოდება. ორგანიზმში სითბოს წარმოქმნა სხვადასხვა ორგანოში ხდება. განსაკუთრებული ინტენსივობით სითბო წარმოიქმნება ღვიძლში და კუნთებში. ჭარბი სითბო ორგანიზმიდან კანის მეშვეობით და ამოსუნთქულ ჰაერთან ერთად გამოიყოფა. ცხიმოვანი უჯრედისი ხელს უშლის სითბოს გაცემას. კანში დიდი რაოდენობის ნერილი სისხლძარღვებია. გარემოს ტემპერატურის დაცემა, რეფლექსურად იწვევს სისხლძარღვების შეკუმშვას, რის გამოც კანში ნაკლები რაოდენობის სისხლი მიდის. ამიტომ, ბუნებრივია სითბოს გაცემაც მცირდება. ისეთ პირობებში, როდესაც გარემოს ტემპერატურა აიწევს, რეფლექსურად კანის სისხლძარღვები ფართოვდება. კანში დიდი რაოდენობის სისხლი მიედინება. ეს კი სითბოგაცემას ზრდის. ორგანიზმის ზედაპირიდან ჭარბი აორთქლების პროცესში ებმება საოფლე ჯირკვლები. ხდება ოფლის დიდი რაოდენობით გამოყოფა.

საოფლე ჯირკვლების რეგულაცია. საოფლე ჯირკვლების ინერვაციას სიმპათიკური ბოჭკოები ქმნის. ადამიანის თავის, კისრისა და გულმკერდის ზედა ნაწილის საოფლე ჯირკვლების სეკრეციული ნერვების ბირთვები (ცენტრები) მოთავსებულია ზურგის ტვინის კისრის უკანასკნელ და გულმკერდის მეექვსე სეგმენტებს შორის. ზედა კიდურების ოფლის გამომყოფი ნერვების ბირთვები მოთავსებულია ზურგის ტვინის გულმკერდის მეხუთე და მეშვიდე სეგმენტებს შორის. ქვედა კიდურების ოფლის გამომყოფი ნერვების ბირთვები კი გულმკერდის უკანასკნელ და წელის ზედა სეგმენტშია მოთავსებული.

ოფლის გამოყოფის მარეგულირებელი ნერვული ცენტრი მოგრძო ტვინშია მოთავსებული, რომელიც ექვემდებარება ჰიპოთალამუსისა და დიდი ტვინის ქერქიდან მიღებულ ნერვულ იმპულსთა გაელენას.

8.4. სისხლის მიმოქცევის სისტემა

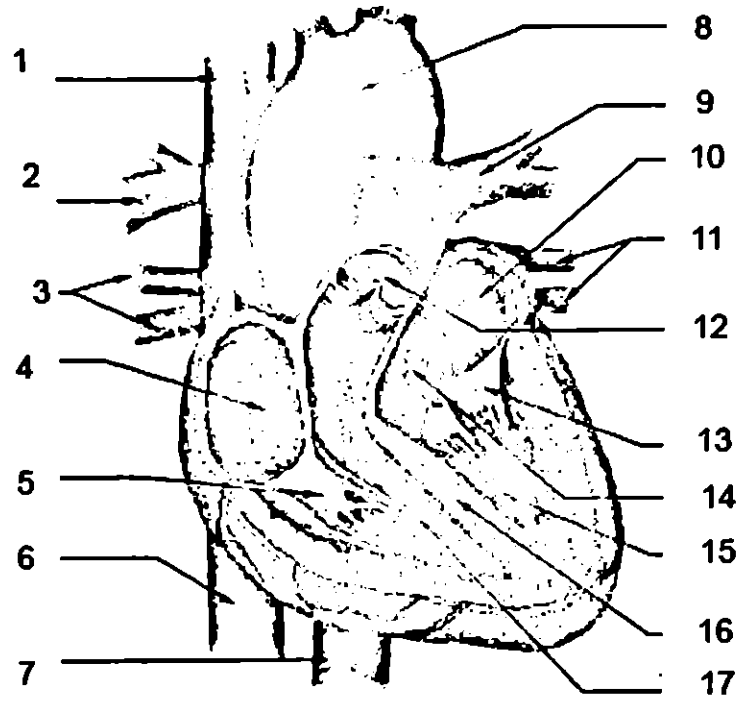
სისხლის მრავალფეროვანი ფუნქციები (*იხ. თავი 4.6.1. ცხოველებისა და ადამიანის ქსოვილები – სისხლი*) ვერ განხორციელდება თუ სისხლი სისხლძარღვებში მუდმივად არ მოძრაობს. ეს კი სისხლის მიმოქცევის სისტემის მეშვეობით ხორციელდება. სხვადასხვა ორგანოებში გამდინარე სისხლიდან ქსოვილურ სითხეში გადადის ჟანგბადი და უჯრედების ნორმალური მოქმედებისათვის საჭირო ნიეთიერებები, ხოლო ქსოვილური სითხიდან სისხლში გადადის ცხოველქმედების პროცესში წარმოქმნილი დაშლის პროდუქტები. ადამიანის სისხლის მიმოქცევის სისტემის ორგანოებია ოთხსაკნიანი გული და სისხლძარღვები.

8.4.1 გული

ადამიანის გული ოთხ საკნად გაყოფილი ღრუ კუნთოვანი ორგანოა, რომელიც მასთან დაკავშირებული ვენური და არტერიული სისხლძარღვებით უზრუნველყოფს ორგანიზმში სისხლის მუდმივად ცირკულირებას, ანუ გული სისხლის მიმოქცევის სისტემის მუდმივმოქმედი ცენტრალური ორგანოა.

მოზრდილი ადამიანის გულის მასა 250-300 გრამია. გული გულმკერდის ღრუში, მკერდის შუა ხაზიდან მარცხნივ მდებარეობს. ის მოთავსებულია შემაერთებელქსოვილოვან *გულის პერანგში – პერიკარდიუმში*, რომლის სიღრუე სეროზული სითხის მცირე რაოდენობას შეიცავს. პერიკარდიუმი გულს სხვა ორგანოებისაგან მიჯნავს, სეროზული სითხე კი გულის მოძრაობისას ხახუნს მნიშვნელოვნად ამცირებს. გულს ოდნავ გაბრტყელებული კონუსის ფორმა აქვს. ის მთლიანი ძგიდით მარჯვენა და მარცხენა ნაწილებად არის გაყოფილი. თითოეული მათგანი იყოფა ერთმანეთთან დაკავშირებულ ორ საკნად – *წინაგულად* და *პარკუჭად (სურ. 8.26).*

გულის კედელი სამი შრისაგან – *ეპიკარდიუმის, მიოკარდიუმისა და ენდოკარდიუმისაგან* შედგება. ეპიკარდიუმი ანუ გულის გარეთა გარსი წარმოქმნილია თხელი, დაახლოებით 0,3-0,4 მმ სისქის შემაერთებელქსოვილივანი ფირფიტისაგან. ენდოკარდიუმით ანუ გულის შიგნითა გარსით მთლიანად ამოფენილია გულის სიღრუეები. მიოკარდიუმი ანუ გულის კუნთოვანი გარსი გულის განივზოლიანი კუნთოვანი ქსოვილისაგან არის წარმოქმნილი. წინაგულების კედლები პარკუჭების კედლებზე თხელია, ხოლო მარცხენა პარკუჭის კედელი მარჯვენა პარკუჭის კედელთან შედარებით დაახლოებით სამჯერ უფრო სქელია. ეს მათ მიერ შესრულებული სამუშაოს განსხვავებით არის გამონვეული.



სურ. 8. 26. გულის ფრონტალური განაკვეთი.
1 – ზემო ღრუ ვენა, 2 – მარჯვენა ფილტვის არტერია, 3 – მარჯვენა ფილტვის ვენები, 4 – მარჯვენა წინაგული, 5 – მარჯვენა წინაგულ-პარკუჭის (სამკარიანი) სარქველი, 6 - ქვემო ღრუ ვენა, 7 –აორტა, 8 – აორტის რკალი, 9- მარცხენა ფილტვის არტერია, 10 – მარცხენა წინაგული, 11 – მარცხენა ფილტვის ვენები, 12 – ფილტვის ღეროს სარქველი (შედგება სამი ნახევარმთვარისებრი აფრისაგან), 13 – მარცხენა წინაგულ-პარკუჭის (ორკარიანი) სარქველი, 14 – აორტის სარქველი (შედგება სამი ნახევარმთვარისებრი აფრისაგან), 15 – მარცხენა პარკუჭი, 16 – პარკუჭთაშუა ძგიდე, 17 – მარჯვენა პარკუჭი.

მარჯვენა წინაგულს *ღრუ ვენები* ერთვის, მარცხენას კი *ფილტვის ვენები*. მარჯვენა პარკუჭთან დაკავშირებულია *ფილტვის არტერია (ფილტვის ღერო)*, მარცხენასთან კი – *აორტა*.

სისხლის მიმოქცევის სისტემაში სისხლის ერთი მიმართულებით დინებას უზრუნველყოფა სარქველები *(სურ. 8.26)*, რომლების საჭირო მომენტში სისხლის ნაკადის გასატარებლად იღება, ხოლო ნაკადის უკან დაბრუნების აღსაკვეთად – იხურება.

მარჯვენა წინაგულსა და პარკუჭს შორის არსებულ *მარჯვენა წინაგულ-პარკუჭის (მარჯვენა ატრიოვენტრიკულურ)* სარქველს სამი საგდული (კარი) აქვს და მას სამკარიანი სარქველიცეწოდება. თითოეული კარი ნაზი შემაერთებელქსოვილოვანი სიმებით დაკავშირებულია მარჯვენა პარკუჭში არსებულ შესაბამის დერილისებრ კუნთთან. მარჯვენა წინაგულის შეკუმშვის დროს ეს სარქველი იღება და სისხლი წინაგულიდან მარჯვენა პარკუჭში გადადის, ხოლო პარკუჭის შეკუმშვისას შემაერთებელქსოვილოვანი სიმები იჭიმება და სარქველი იხურება, რაც სისხლის უკუდინებას გამორიცხავს.

მარჯვენა პარკუჭსა და ფილტვის ღეროს შორის არსებობს *ფილტვის ღეროს სამკარიანი სარქველი*, რომელთა საგდულებს ფორმის შესაბამისად მახეუარმთვარისებრი აფრები ეწოდება. პარკუჭის შეკუმშვისას სარქველი იღება და სისხლი ფილტვის ღეროში გადადის, ხოლო პარკუჭის მოდუნებისას სარქველი იხურება, რაც სისხლის უკუდინებას გამორიცხავს.

მარცხენა წინაგულსა და პარკუჭს შორის არსებულ სარქველს ორი საგდული აქვს და *ორკარიანი* ანუ *მიტრალური სარქველი* ეწოდება. თითოეული საგდული მყესოვანი სიმებით დაკავშირებულია მარცხენა პარკუჭში არსებულ შესაბამის დერილისებრ კუნთთან. ამ სარქველის გაღებისას, რაც წინაგულის შეკუმშვის დროს ხდება, სისხლი მარცხენა პარკუჭში გადადის, ხოლო პარკუჭის მოდუნებისას სარქველი იხურება, რაც სისხლის უკუდინებას გამორიცხავს.

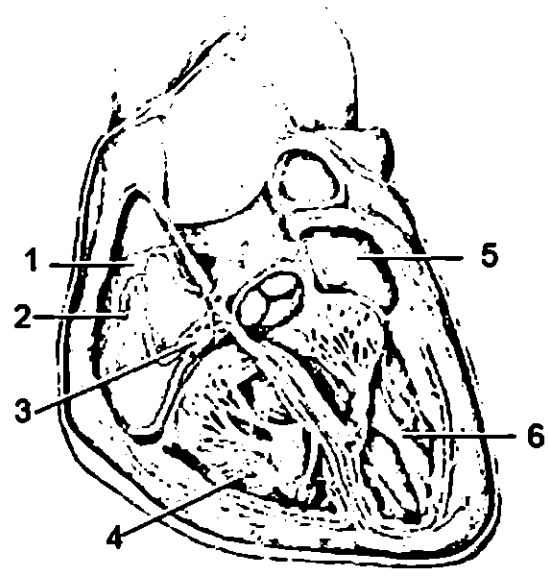
მარცხენა პარკუჭის ფუძესთან მდებარეობს *აორტის სარქველი*, რომელიც სამი ნახევარმთვარისებრი აფრისაგან შედგება. პარკუჭის შეკუმშვისას სარქველი იღება და სისხლი აორტაში გადადის, ხოლო პარკუჭის მოდუნებისას სარქველი იხურება, რაც სისხლის უკუდინებას გამორიცხავს.

გულის ციკლი წარმოადგენს გულის ერთი შეკუმშვისას და შემდგომი მოდუნებისას მიმდინარე პროცესების თანამიმდევრობას. გულის შეკუმშვას განაპირობებს აგზნების იმპულსები, რომლებიც პერიოდულად წარმოიქმნება თვით მიოკარდიუმში მიმდინარე პროცესების საპასუხოდ. ამ მოვლენას *გულის ავტომატიზმი* ეწოდება. აეტომატიზმის უნარი აქვს მიოკარდიუმის გარკვეულ უბნებს. ეს უბნებია *წინაგულ-სინუსის კვანძი*, რომელიც გულის რიტმის წამყვანს წარმოადგენს, და *წინაგულ-პარკუჭის კვანძი*. ამ კვანძებიდან საწყისს იღებს ნერვული კონები, რომლებიც უკავშირდება გულის კუნთოვან უჯრედებს *(სურ. 8.27)*.

გულის ციკლი მოიცავს სამ სტადიას – *წინაგულებისა* და *პარკუჭების სისტოლას, დიასტოლას* და *პაუზას (სისტოლა ეწოდება გულისცემის დროს წინაგულებისა და პარკუჭების შეკუმშვას, სისტოლებს შორის ინტერვალებში მათ მოდუნებას კი – დიასტოლა)*. თუ გულის შეკუმშვათა სიხშირე 75-ია წუთში, მაშინ გულის ციკლის ხანგრძლივობა 0,8 წამს შეადგენს. გულის შეკუმშვა წინაგულების სისტოლით იწყება, რომლის ხანგრძლივობა 0,1 წამია. ამას მოსდევს წინაგულების დიასტოლა, რომლის ხანგრძლივობა 0,7 წამია და იწყება პარკუჭების სისტოლა, რაც 0,33 წამი გრძელდება. სისტოლის დროს მარცხენა პარკუჭში წნევა სინდიყის

სეტის 120-130 მმ-მდე იზრდება, მარჯვენაში კი – 25 მმ-მდე. პარკუჭების სისტოლა ორ პერიოდად იყოფა. პირველია დაძაბვის პერიოდი, რომელიც 0,08 წამს გრძელდება. ამ დროს კარიანი და ნამგლისებრი სარქველები დაეტილია; მეორეა სისხლის განდევნის პერიოდი, რომლის ხანგრძლივობაა 0,25 წამი. სისტოლის ბოლოს პარკუჭების კუნთი მოდუნებას იწყებს; დგება პარკუჭების დიასტოლა. მისი ხანგრძლივობა 0,47 წამია. სტადიას როდესაც გული მთლიანად მოდუნებულია პაუზა ეწოდება. მისი ხანგრძლივობა 0,37 წამია. ეს დრო საკმარისია, რათა გულმა მუშაობის უნარი აღიდგინოს.

გულის პარკუჭებიდან ერთი წუთის განმავლობაში გადასროლილი სისხლის რაოდენობას სისხლის ნაკადის წუთმოცულობა, ანუ გულის წუთმოცულობა ეწოდება. მშვიდ მდგომარეობაში მყოფი ადამიანის გულის წუთმოცულობა საშუალოდ 4,5-5,0 ლიტრია. თუ გულის შეკუმშვათა სიხშირე წუთში 70-75-ია, მაშინ სისხლის ნაკადის სისტოლური მოცულობა საშუალოდ 65-70 მლ-ს შეადგენს.



სურ. 8.27. გულის გამტარებელი სისტემა.
1 –-ნინაგულ-სინუსის კვანძი, 2 – მარჯვენა ნინაგული, 3 - ნინაგულ-პარკუჭის კვანძი, 4 – მარჯვენა პარკუჭი, 5 – მარცხენა ნინაგული, 6 – მარცხენა პარკუჭი.

მოსვენებულ მდგომარეობაში ადამიანის ორგანიზმში არსებული სისხლის მოცულობის 45-50% სისხლის დეპოებში – ელენთაში, ღვიძლში, კანქვეშა სისხლძარღვოვან ქსელსა და ფილტვებშია. ელენთაში დაახლოებით 500 მლ სისხლია. ამასთანავე, მისი სისხლძარღვოვანი სისტემა ისეა მოწყობილი, რომ იქ სისხლი სქელდება და მასში მკვეთრად იზრდება ერითროციტების კონცენტრაცია, ანუ ელენთა ერითროციტების ძირითად დეპოს წარმოადგენს. აქვე მიმდინარეობს დაბერებული ერითროციტების დაშლა და მაკროფაგების მიერ მონელება.

8.4.2 სისხლძარღვები და სისხლის მიმოქცევის დიდი და მცირე წრე

სისხლძარღვები მთელ სხეულს ქსელავენ. განარჩევენ *არტერიებს, ვენებსა* და *კაპილარებს.*

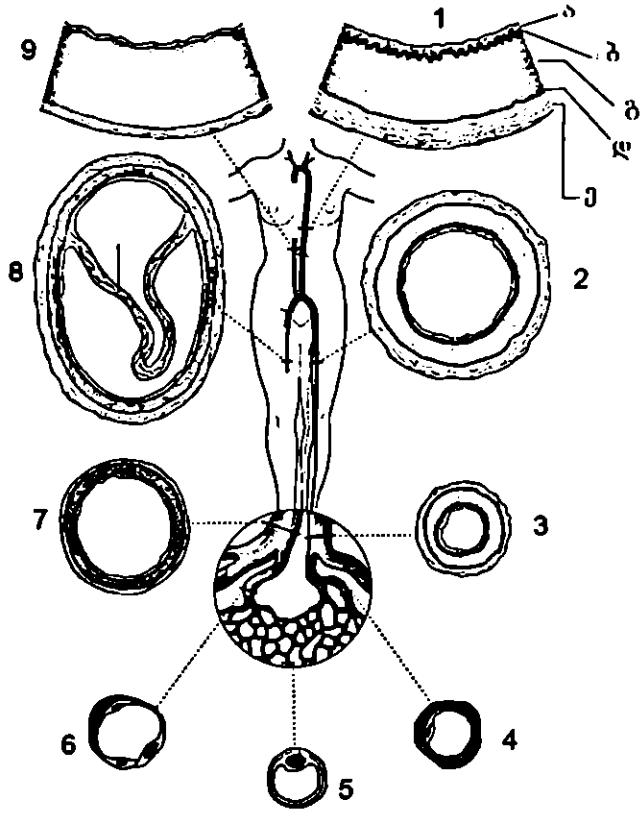
სისხლძარღვებს, რომლებშიც სისხლი გულიდან სხვადასხვა ორგანოებისაკენ მოძრაობს *არტერიები* ეწოდება. არტერიების კედელი სამი გარსისაგან შედგება. შიგნითა გარსი შედგება ენდოთელური უჯრედებისა და სუბენდოთელური შემაერთებელ ქსოვილოვანი ელასტიური შრისაგან. შუა გარსი წარმოქმნილია გლუვკუნთოვანი გასწვრივი და ირგვლივი შრეებით (*სურ.* 8.28). გასწვრივი შრე სისხლის დინებას უწყობს ხელს, ირგვლივი შრე კი არტერიის სანათურის ცვლილებას უზრუნველყოფს. გარეთა გარსი შემაერთებელი ქსოვილისაგან არის წარმოქმნილი. არტერიები კალაპოტისა და დატვირთვის შესაბამისად განსხვავებული რაოდენობის კუნთოვან და ელასტიურ ბოჭკოებს შეიცავს. უნერილეს არტერიებს *არტერიოლები* ეწოდება; ისინი კაპილარებად იტოტება.

კაპილარები უწერილესი სისხლძარღვებია, რომლებიც ენდოთელური უჯრედების ერთი შრისა და ბაზალური მემბრანისაგან შედგება. კაპილარების კედლის გაელით ხდება სისხლიდან ჟანგბადისა და სხვადასხვა ნივთიერებების ქსოვილურ სითხეში, იქიდან კი ცხოველქმედების პროდუქტების სისხლში გადადის (*სურ.* 8.28).

ვენები ის სისხლძარღვებია, რომლებშიც სისხლი სხვადასხვა ორგანოებიდან გულისაკენ მოძრაობს. ვენების კედელი, არტერიების მსგავსად, სამი შრისაგან შედგება, მაგრამ უფრო თხელია. ვენების კედლის შუა – კუნთოვანი შრის სისქე ვენის კალიბრზეა დამოკიდებული. ეს შრე ქვედა კიდურების ვენებში განსაკუთრებით კარგად არის განვითარებული. ამ ვენების შიგნითა ზედაპირზე სარქველებია, რომლებიც ხელს უშლის სისხლის უკუ მიმართულებით დინებას. კაპილარებიდან სისხლი უწერილეს ვენებში – *ვენულებში* გადადის, იქიდან კი ვენებში, რომელთა დიამეტრი გულთან მიახლოვების პარალელურად იზრდება *(სურ. 8.28).*

ორგანიზმში სისხლის მოძრაობა ხორციელდება სისხლის მიმოქცევის დიდი და მცირე წრეების მეშვეობით *(სურ. 8.29).*

სისხლის მიმოქცევის დიდი წრე იწყება გულის მარცხენა პარკუჭიდან, საიდანაც საკმაოდ მაღალი წნევით აორტის გაელით დიდი წრის არტერიებში გადაიგზავნება. არტერიები არტერიოლებად იტოტება, ისინი კი უწერილეს სისხლძარღვებად – კაპილარებად და იქმნება მიკროცირკულაციური ბადე. კაპილარებში გაელი-



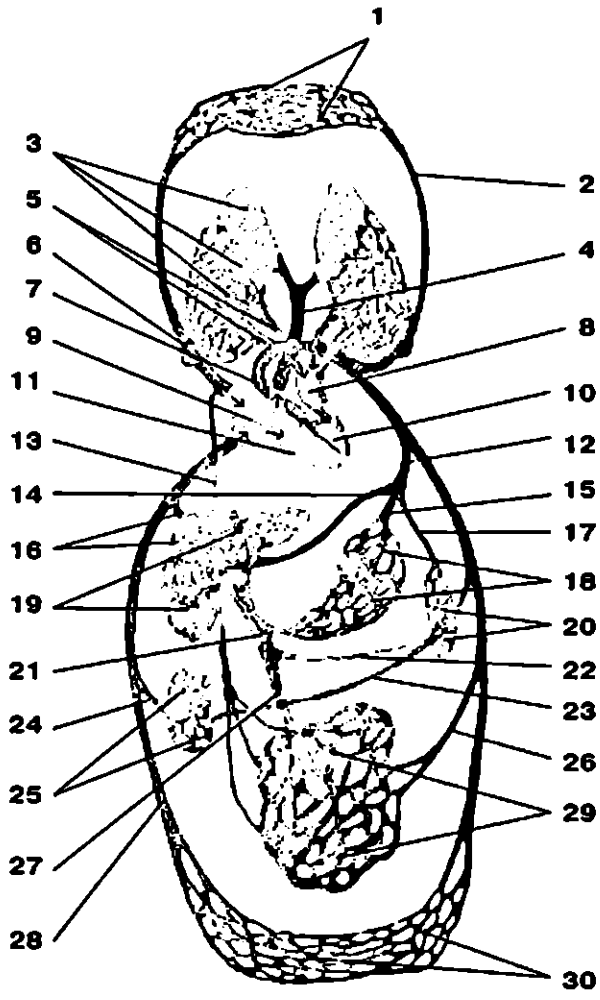
სურ. 8.28. სისხლძარღვების განივი ჭრილების სქემა.
1.აორტის კედლის სტრუქტურა: ა) შიგნითა გარსის ენდოთელური შრე, ბ) შიგნითა გარსის შემაერთებელქსოვილობანი ელასტიური შრე, გ) შუა გარსი, დ) გარეთა ელასტიური შემბრანა, ე) გარეთა გარსი;
2. მსხვილი არტერია (კუნთოვანი ტიპის არტერია);
3. ნერილი არტერია;
4. არტერიოლა (შეიცავს გლუვკუნთოვანი უჯრედების 1-2 შრეს);
5. კაპილარი (შედგება ენდოთელური უჯრედების ერთი შრისა და ბაზალური მემბრანისაგან);
6. ვენულა;
7. ნერილი ვენა;
8. მსხვილი ვენა (აქვს სარქველები);
9. ღრუ ვენა (კუნთოვან შრეებს შორის განლაგებულია ელასტიური ბოჭკოები).

სას სისხლიდან ჟანგბადი, საკვები ნივთიერებები, ჰორმონები და ბიოლოგიურად აქტიური სხვა ნაერთები სხვადასხვა ორგანოებს მიეწოდება, ორგანოებიდან კი სისხლში ნახშირორჟანგი და ცხოველქმედების შედეგად წარმოქმნილი დაშლის პროდუქტები გადადის. მიკროცირკულაციურ ბადეში გავლის შემდეგ სისხლი კაპილარებდან ვენულებში, ვენულებიდან ვენებში, ვენებიდან კი ორ უმსხვილეს – ზედა და ქვედა ღრუ ვენაში გადაედინება, იქიდან კი მარჯვენა წინაგულში ჩაედინება. აქ მთავრდება სისხლის მიმოქცევის დიდი წრე *(სურ. 8.29)*.

მარჯვენა წინაგულში დაბრუნებული ჟანგბადით ღარიბი და ნახშირორჟანგით გამდიდრებული ანუ ვენური სისხლი მარჯვენა პარკუჭში გადაედინება. აქედან იწყება *სისხლის მიმოქცევის მცირე წრე*. მარჯვენა პარკუჭიდან სისხლი გადაისროლება საწყის სისხლძარღვში, რომელსაც ფილტვის ღერო ენოდება. ის მარჯვენა და მარცხენა ფილტვის არტერიებად იტოტება. ისინი ფილტვებში შესვლისას წერილ სისხლძარღვებად იტოტება და წარმოქმნილია მიკროცირკულაციური კალაპოტი. სწორედ აქ ხდება აირთა ცვლა გარემოს ჰაერსა და სისხლს შორის (*აირთა ცვლის შესახებ დაწვრილებითი მონაცემები მოყვანილია 8.6 თავში*). ჟანგბადით გამდიდრებული სისხლი ფილტვების ოთხი ვენით მარცხენა წინაგულში ჩაედინება. აქ მთავრდება სისხლის მიმოქცევის მცირე წრე.

სისხლის მოძრაობა სისხლძარღვებში

სისხლის წნევა სისხლის მიმოქცევის სისტემის მუშაობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. სისხლის წნევას განსაზღვრავს გულის პარკუჭების სეკუმშვის ძალა,დროის ერთეულში გადატუმბული სისხლის რაოდენობა და სისხლძარღვოვანი კალაპოტის წინაღობა. გულის ყოველი შეკუმშვის დროს სისხლი დიდი წნევით გადაისროლება არტერიებში. სისხლძარღვთა სისტემის სხვადასხვა უბანზე სისხლის წნევა განსხვავებულია. ეს სხვაობა უზრუნველყოფს სისხლის უწყვეტ დინებას მაღალი წნევის უბნიდან დაბალი წნევის უბნისაკენ.სისხლის წნევა მაქსიმალურია აორტასა და მსხვილ არტერიებში, შედარებით დაბალია არტერიებსა და არტერიოლებში, კიდევ უფრო დაბალია კაპილარებში, ვენებში და ღრუ ვენებში ნულამდე ქვეითდება (ცხრ. 8.7). ამასთანავე წნევა აორტასა და არტერიებში გულის ციკლის განმავლობაში განსხვავებულია: მაქსიმალურია სისტოლის მომენტში და მინიმალურია დიასტოლის დროს. ზრდასრულ ადამიანებში მოსვენებულ მდგომარეობაში მხრის არტერიაში *სისტოლური წნევა* სინდიყის სვეტის (სს) 110-120 მმ-ია, *დიასტოლური* კი



სურ. 8.29. სისხლის მიმოქცევის დიდი და მცირე წრის სქემა
1 – თავის, სხეულის ზედა ნაწილებისა და ზედა კიდურების კაპილარები, 2 – მარცხენა საერთო საძილე არტერია, 3 – ფილტვების კაპილარები, 4 – ფილტვების ღერო, 5 – ფილტვების ვენები, 6 – ზემო ღრუ ვენა, 7 – აორტა, 8 – მარცხენა წინაგული, 9 – მარჯვენა წინაგული, 10 – მარცხენა პარკუჭი, 11 – მარჯვენა პარკუჭი, 12 – მუცლის ღერო, 13 – მკერდის ლიმფური სადინარი, 14 – ღვიძლის საერთო არტერია, 15 – კუჭის მარცხენა არტერია, 16 – ღვიძლის ვენები, 17 – ელენთის არტერია, 18 – კუჭის კაპილარები, 19 – ღვიძლის კაპილარები, 20 – ელენთის კაპილარები, 21 – კარის ვენა, 22 – ელენთის ვენა, 23 – თირკმლების არტერია, 24 – თირკმლების ვენა, 25 – თირკმლების კაპილარები, 26 – ჯორჯლის არტერია, 27 – ჯორჯლის ვენა, 28 – ქვემო ღრუ ვენა, 29 - ნაწლავების კაპილარები, 30 – სხეულის ქვედა ნაწილებისა და ქვედა კიდურების კაპილარები.

– სს-ის 60-80 მმ. სხვაობას სისტოლურ და დიასტოლურ წნევებს შორის (სს 40-50 მმ) *პულსური წნევა* ეწოდება.

ცხრილი 8.7

სისხლძარღვი	*სისხლის წნევა (სს მმ)*
აორტა	110-120
არტერიები	105-110
კაპილარები	8-40
ნვრილი ვენები	20-30
კიდურების ვენები	5-10
ღრუ ვენები	0

ადამიანებში სისხლის არტერიული წნევის უსუსხლოდ გასაზომად იყენებენ კოროტკოვის მეთოდს რივა-როჩის სფიგმომანომეტრით. გამოსაკვლევ პირს მხარზე შემოახვევენ რეზინის მანჟეტს, რომელიც მიერთებულია რეზინის ბალონთან და მანომეტრთან. ბალონით მანჟეტში პაერს ჩატუმბავენ. მანჟეტი პაერით გავსებისას მხარს და, შესაბამისად მხრის არტერიას ანევბა, მანომეტრი კი უჩვენებს პაერის წნევას მანჟეტში. არტერიაში, რომელიც ზეწოლას არ განიცდის, სისხლის მოძრაობის ტონი არ ისმის (ტონების მოსმენა შესაძლებელია მანჟეტის დადების ქვემოთ, იდაყვია არტერიის პულსაციის მიდამოში). როდესაც მანჟეტში წნევა გადააჭარბებს სისტოლურ არტერიულ წნევას, მაშინ მანჟეტი მთლიანად ახშობს არტერიის სანათურს, მასში სისხლის ნაკადი ნყდება და ტონი არ მოისმინება. მანჟეტიდან პაერის ნელ-ნელა გამოშვებისას იმ მომენტში, როდესაც მასში წნევა სისტოლური არტერიულ წნევაზე ოდნავ დაბალი გახდება, სისტოლისას სისხლი გადალახავს ზეწოლას და ხმაურით გააღწევს მანჟეტს. ეს ის მომენტია, როდესაც მანჟეტში წნევა შეესაბამება მაქსიმალურ, ანუ სისტოლურ არტერიულ წნევას. მანჟეტში წნევის შემდგომი დაქვეითებისას დგება ის მომენტი, როდესაც წნევა დიასტოლურ წნევაზე დაბალი ხდება. ამ მომენტიდან ტონები არტერიაში ქრება და მანჟეტში წნევის სიდიდე შეესაბამება მინიმალურ, ანუ დიასტოლურ წნევას. აღნიშნული მეთოდით წნევის გაზომვისას გასათვალისწინებელია პაციენტის სხეულის მდგომარეობა, მხრის შემონერილობა, მანჟეტის სიგანე, ფონენდოსკოპში ბგერის გატარების სიჩქარე და სხვ.

პულსი ეწოდება სისტოლის დროს წნევის აწევით გამოწვეულ არტერიების კედლის რიტმულ რხევებს. არტერიების პულსაციის შეგრძნება ადვილია შეხებისათვის ხელმისანედომი ნებისმიერი არტერიის (მაგალითად, მაჯის შიგა ზედაპირზე, საფეთქელზე, კისრის ორივე მხარეს და სხვა ადგილებში) პალპაციისას.

პულსი, ანუ წნევის აწევის ტალღა წარმოიქმნება მარცხენა პარკუჭიდან აორტაში სისხლის გადასროლის მომენტში. ამ დროს წნევა აორტაში მკვეთრად მატულობს, არტერიის კედელი იჭიმება და ამით გამოწვეული სისხლძარღვთა კედლის რხევები აორტიდან პერიფერიისაკენ გარკვეული სიჩქარით ვრცელდება. პულსის გავრცელების სიჩქარე სისხლის დინების სიჩქარეზე არ არის დამოკიდებული. არტერიებში სისხლის მაქსიმალური სიჩქარე წამში 0,3-0,5 მეტრს არ აღემატება, აორტაში პულსის გავრცელების სიჩქარე კი წამში 5,5-8,0 მეტრია.

პულსის ყოველი ბიძგი გულის ერთ შეკუმშვას შეესაბამება, ანუ პულსის დათვლით შეიძლება გულის რიტმის განსაზღვრა.

სისხლის დინების სიჩქარე. მოსვენებულ მდგომარეობაში მყოფი ადამიანის სისხლის მიმოქცევის დიდ და მცირე წრეებს სისხლი 21-23 წამის განმავლობაში გადის, მაგრამ სხვადასხვა სისხლძარღვებში სისხლი სხვადასხვა სიჩქარით მიედინება. მისი სიჩქარე დამოკიდებულია გარკვეული სახის სისხლძარღვთა სანათურის ჯამურ დიამეტრზე. რაც უფრო დიდია დიამეტრი, სისხლი მით უფრო ნელა მიედინება. სისხლის დინების სიჩქარე ყველაზე მაღალია აორტაში და ყველაზე დაბალია კაპილარებში (*კაპილარების სანათურის ჯამური დიამეტრი 600-800-ჯერ აღემატება აორტის დიამეტრს, ხოლო ღრუ ვენების ჯამური დიამეტრი – 2-ჯერ*). აორტაში სისხლის დინების სიჩქარეა დაახლოებით 0,5 მ/წმ, კაპილარებში – 0,5-1,2 მ/წმ, ღრუ ვენებში კი – 0,2-0,25 მ/წმ. კაპილარებში სისხლის დაბალი სიჩქარით დინებისას ჟანგბადი, საკვები და ცხოველქმედებისათვის საჭირო სხვა ნივთიერებანი ასწრებს ქსოვილურ სითხეში, იქიდან კი ნახშირორჟანგისა და დაშლის პროდუქტების სისხლში გადასვლას.

ვენების კედლის კუნთოვანი გარსი თხელია და ვერ უზრუნველყოფს სისხლის გულისაკენ გადასაადგილებლად საჭირო წნევის შექმნას. ამ ძარღვებში სისხლის გულისაკენ მოძრაობას ხელს უწყობს: ა) არტერიულ სისტემაში არსებული წნევა; ბ) მარჯვენა წინაგულის შემწოვი ძალა მისი დიასტოლის დროს; გ) გრავიტაციული ძალის ზემოქმედება (თავის და კისრის ვენებისათვის); დ) ვენის კედელზე მეზობელი ორგანოების პერიოდული ზეწოლა (სუნთქვის პროცესი, ჩონჩხის კუნთების შეკუმშვა და სხვ.) ე) ვენის კედლის ენდოთელური გარსის ნაოჭები, რომლებიც ვენურ სარქველებს ქმნის. ეს სარქველები ხელს უშლის სისხლის საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობას. სარქველები განსაკუთრებით კარგად აქვს განვითარებული ქვედა კიდურების ვენებს.

8.4.3 გულის მუშაობისა და სისხლძარღვთა სანათურის რეგულაცია

მიუხედავად იმისა, რომ გულშიეე ხდება მისი შეკუმშვის გამომწვევი იმპულსების გენერირება, გულის მოქმედება რეგულირდება *ნერვული* და *ჰუმორული* მარეგულირებელი მექანიზმებით.

ნერვული რეგულაცია ხორციელდება *ცთომილი* და *სიმპათიკური* ნერვების მეშვეობით. ცთომილი ნერვები (თავის ტვინის X წყვილი) დასაბამს იღებს მოგრძო ტვინიდან, ხოლო სიმპათიკური ნერვები – ზურგის ტვინის კისრის სიმპათიკური კვანძიდან. ცთომილი ნერვებით მოსული იმპულსები ანელებს გულის მუშაობას, პარასიმპათიკური ბოჭკოებით მოსული იმპულსაები კი იწვევს გულის შეკუმშვათა სიხშირისა და ძალის გაზრდას.

სისხლძარღვთა სანათურის ცვლილებას იწვევს სიმპათიკური სისხლძარღვთა შემავიწროვებელი ნერვების იმპულსები.

გარეგანი ან შინაგანი გამღიზიანებლის მოქმედების შედეგად ადგილი აქვს გულისა და სისხლძარღვების რეფლექტორულ რეაქციას. ნებისმიერი მგრძნობიარე ნერვული დაბოლოების გაღიზიანებით შესაძლებელია გულის შეკუმშვათა გახშირება ან გაიშვიათება. სხვადასხვა სახის გამღიზიანებლის (სითბო, სიცივე, ნემსის ჩხვლეტა და სხვ.) მოქმედების შედეგად ცენტრისკენული ნერვების დაბოლოებებში აგზნების იმპულსები გენერირდება, რომლებიც ცნს-ს გადაეცემა, იქიდან კი ცთომილი ან სიმპათიკური ნერვით გულამდე აღწევს და იწვევს მისი მუშაობის ცვლილებას. ნერვული იმპულსები სისხლძარღვებამდეც ტარდება, რაც მათი სანათურის ცვლილების მიზეზია.

გულის მუშაობაზე გავლენას ახდენს სისხლში ცირკულირებადი ზოგიერთი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერება. *ადრენალინი* და *ნორადრენალინი* ზრდის გულის შეკუმშვათა ძალასა და რიტმს. ფიზიკური დატვირთვის ან ემოციური დაძაბულობის დროს თირკმელზედა ჯირკვლების ტვინოვანი შრიდან სისხლში დიდი რაოდენობით ადრენალინი გადაისროლება, რაც აძლიერებს გულის მოქმედებას. მიოკარდიუმის შეკუმშვის ძალას ზრდის თირკმელზედა ჯირკვლების ჰორმონები *ანგიოტენზინი* და *სეროტონინი*, ხოლო ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონი *თიროქსინი* გულის შეკუმშვათა სიხშირის ზრდას იწვევს. სისხლში კალიუმის იონების (K+) კონცენტრაციის ზრდა იწვევს გულის რიტმის შენელებას, კალციუმის იონების (Ca++) კონცენტრაციის ზრდა კი – გახშირებას.

ადრენალინი სისხლძარღვთა სანათურის ცვლილებასაც იწვევს.

ნერვული და ჰუმორული რეგულაცია ერთობლივად უზრუნველყოფს სისხლის მიმოქცევის სისტემის მუშაობის შეგუებას მუდმივად ცვლად საარსებო პირობებთან. მაგალითად, დაზაბული ფიზიკური მუშაობისას ჩონჩხის კუნთებსა და მყესებში არსებულ მგრძნობიარე ნერვული დაბოლოებებიდან იმპულსები ცნს-ს გადაეცემა და რეფლექტორულად ხდება გულის შეკუმშვათა ძალისა და სიხშირის გაზრდა. ამას ხელს უწყობს სისხლში ადრენალინის დონის მატებაც. გულის მუშაობის გაძლიერებასთან ერთად იცვლება მომუშავე ორგანოების სისხლძარღვთა სანათურიც.

ფიზიკური დატვირთვის, შიშის, მრისხანების, სიხარულის ან სხვა ემოციური დატვირთვისას სისხლძარღვთა სანათურის ცვლილების გამო ადამიანი ან ფითრდება, ანდა წითლდება.

8.5. იმუნიტეტი

ადამიანს არსებობა უხდება სხვადასხვაზომის, ფორმისა და სტრუქტურის მქონე ინფექციის გამომწვევი აგენტების გარემოცვაში. მათ შეუძლიათ შეაღწიონ ადამიანის ორგანიზმში, დაარღვიონ შინაგანი გარემოს პომეოსტაზი და გამოიწვიონ სიცოცხლისათვის საშიში დაავადებები. ევოლუციის პროცესში ადამიანებს ჩამოუყალიბდათ სხვადასხვა ფორმის თავდაცვის საშუალება. ორგანიზმი აქტიურად ებრძვის მასში მოხვე-

დრილ გენეტიკურად უცხო სხეულებსა და ნივთიერებებს და ახდენს მათ ნეიტრალიზაციას. ორგანიზმის თავდაცვის უნარს იმუნიტეტი (ლათ. immunitas – ვთავისუფლდები რაღაცისგან) ეწოდება. იმუნური რეაქციების აქტივობა ერთგვარ ბიოლოგიურ საათს წარმოადგენს. ინყება ემბრიონული განვითარებიდან და გრძელდება სიკვდილამდე. მოხუცებულობაში, ასაკის მატებასთან ერთად, იმუნური აქტივობა ქვეითდება.

ევოლუციის პროცესში ადამიანს გამოუმუშავდა ისეთი მდგრადი იმუნური სისტემა, რომელიც კონკრეტული პათოგენური მიკროორგანიზმების მოქმედებისაგან ორგანიზმის დაცვის საშუალებას იძლევა. ეს ხორციელდება თანდაყოლილი იმუნიტეტის არასპეციფიური მექანიზმების საშუალებით (ფაგოციტოზი და კომპლემენტის სისტემის აქტივაცია) და შეძენილი იმუნიტეტის მაღალსპეციფიური იმუნური პასუხით — ანტიგენ-ანტისხეულის კომპლექსებისა და სპეციფიური ლიმფოციტების წარმოქმნით.

ანტიგენი არის ნივთიერება, რომელსაც ორგანიზმი აღიქვამს, როგორც უცხო სხეულს. ანტიგენი შესაძლოა იყოს ბუნებრივი წარმოშობის მაღალმოლეკულური პოლიმერი ან ხელოვნურად სინთეზირებულიც. ქიმიური ბუნების მიხედვით, ანტიგენები იყოფა ცილოვან, პოლისაქარიდულ, ლიპიდურ ანტიგენებად. იგი შედგება მოლეკულა-გადამტანისაგან და დეტერმინანტული ჯგუფისაგან, რომელიც განსაზღვრავს დაავადების სპეციფიკას.

გარდა გარედან შეჭრილი ეგზოგენური ანტიგენებისა, ორგანიზმში წარმოიშობა შინაგანი (ენდოგენური) ანტიგენები (მაგ, საკუთარ ქსოვილებსა და უჯრედებზე სხვადასხვა ზემოქმედების შედეგად).

ანტისხეული არის სისხლის გამა-გლობულინი, რომელსაც აქვს სპეციალური დამაკავშირებელი უბნები. ამ უბნებით ანტისხეული კომპლემენტარობის პრინციპით უერთდება ანტიგენს. ყალიბდება კომპლექსი ანტიგენი-ანტისხეული, ამ კომპლექსის წარმოქმნის მიზანია ანტიგენის ნეიტრალიზაცია. ადამიანის ორგანიზმში დიდი რაოდენობითაა ანტისხეულები, რომლებიც იმუნოგლობულინების 5 კლასში ერთიანდება.

იმუნიტეტი ხორციელდება არასპეციფიკური და სპეციფიკური მექანიზმებით. ორივე მექანიზმი ხორციელდება უჯრედული და არაუჯრედული ანუ ჰუმორული გზით. უჯრედული იმუნიტეტის მთავარი იარაღია სპეციფიური ლიმფოციტი, ხოლო ჰუმორულის სპეციფიური ანტისხეულები.

იმუნურ სისტემაში გაერთიანებულია: ცენტრალური (პირველადი) და პერიფერიული (მეორადი) ორგანოები და ქსოვილები. ძვლის ტვინი და თიმუსი (მკერდუკანა ჯირკვალი) იმუნური სისტემის ცენტრალური ორგანოებია. ლიმფური კვანძები, ელენთა, პერიფერიული სისხლი და ლიმფური კვანძები იმუნური სისტემის პერიფერიულ ორგანოებსა და ქსოვილებს მიეკუთვნება. იმუნიტეტის მთავარი უჯრედი ლიმფოციტია. უჯრედულ იმუნიტეტს არეგულირებს თიმუსი, ჰუმორულს – ძვლის ტვინი.

ცნობილია, რომ თავის ტვინში ლიმფოიდური სისტემა არ არის. ჰემატო-ენფალური ბარიერი მაღალმოლეკულურ ნაერთებს, ცილებსა და იმუნოკომპეტენტურ უჯრედებს სისხლიდან ტვინისაკენ არ ატარებს. იმუნოკომპეტენტური ეწოდება ორგანიზმის ყველა იმ უჯრედს, რომელიც მონაწილეობს იმუნურ მექანიზმებში და უზრუნველყოფს ორგანიზმის იმუნიტეტის მდგრადობას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თავის ტვინი ორგანიზმის იმუნური სისტემისაგან იზოლირებულია, ამიტომ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ იყო ცნობილი, არსებობდა თუ არა, და თუ არსებობდა, როგორ ხდებოდა ტვინის იმუნური დაცვა. ბოლო ათწლეულის მონაცემებით, რომლებიც ამ კითხვაზე პასუხის ნაწილობრივად გაცემის საშუალებას იძლევა. აღმოჩნდა, რომ თავის ტვინს საკუთარი, შედარებით ავტონომიური იმუნური სისტემა გააჩნია. ამის შესაძლებლობას იძლევა, იმ ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მედიატორებისა და ციტოკინების შესწავლა, რომლებიც ტვინისმიერი იმუნოლოგიური რეაქციების ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს, აღნიშნული ფაქტი განსაკუთრებული აქტუალობით წარმოაჩენს ნერვული და იმუნური სისტემების ურთიერთმოქმედების საკითხს. მესამე სისტემა ეს არის ენდოკრინული სისტემა, რომელიც ნერვულ სისტემასთან ერთად ჩართულია იმუნური სისტემის ინტეგრალურ რეგულაციაში. ამ სისტემათა კორექტულ ფუნქციონირებაზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ორგანიზმის ჰომეოსტაზის შენარჩუნება.

ინფექციის შეჭრის ბარიერები. ორგანიზმის ინფიცირებისაგან დაცვის ძლიერ ფიზიკურ ბარიერს წარმოადგენს დაუზიანებელი კანის საფარველი. ინფექციის გამომწვევი ბევრი აგენტი ვერ ახერხებს კანის დაუზიანებელი ბარიერის გადალახვას. თუ კანი დაზიანებულია — დამწვარია ან გაჭრილია, ინფექცია მთავარი პრობლემა ხდება.

კანის ფიზიკურ ბარიერს აძლიერებს ქიმიური დაცვა. რძის მჟავა და ცხიმოვანი მჟავეები, რომლებიც ოფლთან ერთად გამოიყოფა, ანადგურებს კანზე არსებულ ბაქტერიებს.

ლორწოვანი გარსებიც განიხილება, როგორც დამცავი ბარიერი. ლორწო არ აძლევს საშუალებას მიკრობებს მიემაგრონ ეპითელურ უჯრედებს. ლორწოში მოხვედრილი მიკრობები და უცხო სხეულაკები მექანიკურად სცილდება უჯრედებს. ამას ხელს უწყობს ხველება და დაცემინებაც. ლორწოვან გარსებში სეკრეტირებული ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები აძლიერებენ არასპეციფიკურ ქიმიურ დაცვას. მაგ, ლიზოციმი ცრემლში, ინტერფერონები ცხვირის ღრუს სეკრეტებში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ინფექციის გამომწვევი აგენტი ახერხებს დამცველობითი ბარიერის გადალახვას და შინაგან გარემოში სისხლში ხვდება, ამოქმედებას იწყებს თავდაცვის ორი გზა. პირველი — ბრძოლა ქიმიური ნაერთებით მიმდინარეობს. მეორე გზაა ფაგოციტოზი და კომპლემენტის სისტემის აქტივაცია.

ორგანიზმის უნარს განთავისუფლდეს ყოველგვარი უცხო სხეულისაგან ი. მეჩნიკოვმა ფაგოციტოზი უწოდა. ეს უნიკალური ბიოლოგიური პროცესი ი. მეჩნიკოვის მიხედვით მიმდინარეობს სპეციალიზებული ორი ტიპის უჯრედებით, რომელებსაც მან მიკრო- და მაკროფაგები უწოდა. ფაგოციტოზი რთული თანამიმდევრუ-

ლი პროცესია. პირველ რიგში უნდა მოხდეს ორგანიზმისათვის უცხო სხეულის ამოცნობა, შემდეგ შებოჭვა და შთანთქმა. ფაგოციტოზის ობიექტს წარმოადგენს მიკრობები, უცხო სხეულები, შეცვლილი საკუთარი უჯრედები და მათი ფრაგმენტები, ანტიგენ-ანტისხეულის კომპლექსი და სხვ. ფაგოციტოზის პროცესი დაყოფილია ორ ფაზად: ქემოტაქსისად და საკუთრივ ფაგოციტოზად.

ქემოტაქსისის უნარი ანუ მიგრაცია „მსხვერპლის" მიმართულებით ახასიათებთ მაფაგოციტირებელ უჯრედებს. ორგანიზმში მოხვედრილი ბაქტერიები გამოყოფენ ნაერთებს, რომლებიც უერთდება ქსოვილის მეტაბოლიტებს და იწვევს მათ ქემოტაქსისურ გაღიზიანებას, რაც იწვევს ფაგოციტების გამოსვლას კაპილარებიდან და ხდება მიგრაცია ინფიცირებული ქსოვილის ადგილისაკენ. შემდეგ ხდება ამოცნობა და იწყება ფაგოციტოზის ფაზა, რომელიც მიმდინარეობს დიდი ენერგიის გამოყენებით და სრულდება მიკრობების განადგურებით. როგორც წესი, ეფექტური ფაგოციტოზის დამთავრების შემდეგ, ყველა მონანილე ფაგოციტი კვდება. მაფაგოციტირებელ უჯრედებს (მაკროფაგებს) უნარი აქვთ წარუდგინონ ანტიგენი სპეციფიკურ (ადაპტურ) იმუნიტეტს ანუ მოახდინონ ანტიგენის პრეზენტაცია.

არასპეციფიკური იმუნიტეტი. არასპეციფიკურ იმუნიტეტს, რომელსაც ფართო მოქმედების სპექტრი გააჩნია განეკუთვნება გენეტიკური (თანდაყოლილი) იმუნიტეტი. იმუნიტეტი ხორციელდება უჯრედული და ჰუმორული მექანიზმებით.

არასპეციფიკურ უჯრედულ მექანიზმებს საფუძვლად უდევს ფაგოციტოზის პროცესი. პროცესი რეალიზდება სისხლის უჯრედების: გრანულოციტებისა და მაკროფაგების მეშვეობით.

არასპეციფიკურ ჰუმორულ იმუნიტეტში ძირითად როლს თამაშობს სისხლის პლაზმის დამცველობითი ნაერთები, ესენია: ინტერფერონი, ლიზოციმი და პროპერდინი და კომპლემენტის სისტემის 20-მდე ცილა. ინტერფერონი სისხლის პლაზმის გლობულინია, სწრაფად სინთეზირდება, მოქმედების ფართო სპექტრი გააჩნია. ინტერფერონი არასპეციფიურად იცავს ორგანიზმს ვირუსისაგან, მაშინაც, სანამ მოხდება სპეციფიური ანტისხეულების მომატება. ლიზოციმი ცილაა და გააჩნია ფერმენტული და მუკოლიზური აქტივობა, ებრძვის ორგანიზმში მოხვედრილ გამაღიზიანებლებს. აქტიურად ებრძვის მათ ზრდასა და განვითარებას. არასპეციფიკურ ჰუმორულ მექანიზმებს მიეკუთვნება საჭმლის მომნელებელ არხში გამოყოფილი ზოგიერთი სეკრეტი და კუჭის წვენის მაღალი მჟავიანობაც დაცვის ერთერთი საუკეთესო საშუალებაა. შედარებით განსხვავებულად მოქმედებს შრატის ცილების – კომპლემენტის სისტემა, რომელიც აქტივდება კასკადურად და ქმნის ბაქტერიის მემბრანის შემტევ კომპლექსს. იგი არღვევს მემბრანის მთლიანობას და ამ გზით იწვევს პათოგენის განადგურებას.

სპეციფიკური იმუნიტეტი. შეძენილი იმუნიტეტი სპეციფიკური ხასიათისაა, სპეციფიკური იმუნიტეტი ანადგურებს ისეთი ჯგუფის უცხო სხეულებს ან ტოქსინებს, რომლებთანაც ორგანიზმს ერთხელ უკვე ჰქონდა კონტაქტი. სპეციფიკურ იმუნიტეტს არასპეციფიკურის მსგავსად, ორგვარი მექანიზმი უდევს საფუძვლად: უჯრედული და ჰუმორული. ორივე მექანიზმი დაკავშირებულია იმუნოკომპეტენტურ უჯრედებთან. იმუნოკომპეტენტური T და B ლიმფოციტები წარმოიქმნება ძვლის ტვინის ღეროვანი უჯრედებისაგან, შემდეგ სისხლის ნაკადის მეშვეობით T ლიმფოციტები თიმუსში ხვდება. B ლიმფოციტები კი — მომწიფებასა და დიფერენცირებას განაგრძობს ძვლის ტვინში. შემდეგ კი პერიფერიაზე, ანტიგებთან შეხვედრისას იწყებენ პროლიფერაციას და ყალიბდებიან ანტისხეულ მასინთეზირებელ უჯრედებად. T ლიმფოციტები უჯრედული იმუნიტეტის საფუძველს ქმნის, B ლიმფოციტები კი ჰუმორულ იმუნიტეტს უზრუნველყოფს.

თიმუსში მოხვედრილი T ლიმფოციტები განიცდის დიფერენცირებას და წარმოიქმნება ფუნქციის მიხედვით სამი განსხვავებული ჯგუფი. პირველი — ციტოტოქსიურ-კილერული T ლიმფოციტები და ბუნებრივი კილერები, რომლებიც პირდაპირ უკავშირდება ორგანიზმში შეჭრილ უცხო სხეულებს და ანადგურებენ, მეორე — იმუნური მეხსიერების უჯრედები. აქვთ უნარი ერთჯერადი კონტაქტის შემდეგ დაიმახსოვრონ და მეორედ შეჭრის შემთხვევაში ამოიცნონ უცხო სხეული და დაასინთეზონ სპეციფიური ანტისხეულები. მესამე — ჰელპერ-ინდუქტორები, რომლებიც უშუალოდ არ მონანილეობენ უცხო სხეულების განადგურებაში, მაგრამ მთავარ როლს ასრულებს როგორც ჰუმორული, ასევე იმუნური პასუხის რეგულაციაში. ამ უჯრედებს, მათი მთავარი ფუნქციის გამო, იმუნური სისტემის „დირიჟორებს" უწოდებენ.

B ლიმფოციტები ძვლის ტვინში დიფერენცირების შემდეგ სისხლის ნაკადის მეშვეობით ხვდება ელენთაში, ლიმფოიდურ კვანძებსა და გროვებში და განიცდის ანტიგენდამოკიდებულ დიფერენცირებას, გარდაიქმნება იმუნოკომპეტენტურ უჯრედებად. B ლიმფოციტები სისხლში არააქტიური ფორმითაა, სანამ არ შეხვდება უცხო სხეულს, ანტიგენთან კონტაქტს ამყარებს ზედაპირული სტრუქტურით შესაბამისი B ლიმფოციტები. ეს უკანასკნელები აქტიურდებიან, იწყებენ პროლიფერაციას, რის შედეგადაც სისხლში იზრდება სპეციფიური კლონის ლიმფოციტების რაოდენობა. B ლიმფოციტები პროგრამირდება ძვლის ტვინში, იძენს უნარს, რათა მოახდინოს სინთეზი დამცველობითი ცილებისა — იმუნოგლობულინების ანუ ანტისხეულებისა. მომწიფებულ B ლიმფოციტს, რომელსაც ანტისხეულების სინთეზის უნარი აქვს – პლაზმატური უჯრედები ეწოდება. სისხლის ნაკადით პერიფერიაზე მოხვედრილი B ლიმფოციტები აგრძელებს პროგრამირებულ ფორმირებას. ხდება დასწავლა ანტიგენების ცნობისა და ხუთი ტიპის G, A, M, D, E იმუნოგლობულინების სინთეზი. იმუნოგლობულინები არის სისხლის შრატში შემავალი ცილების ჯგუფი, რომელთაც ანტისხეულის თვისებები გააჩნია.

T და B ლიმფოციტები მაფაგოციტირებელ და ანტიგენწარმდგენ უჯრედებთან ერთად წარმართავენ იმუნურ რეაქციებს ორგანიზმში. მათი რაოდენობრივი და ფუნქციური მაჩვენებლების შეფასებით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ორგანიზმის იმუნურ სტატუსზე.

8.6. სუნთქვა

სუნთქვა ადამიანის სიცოცხლის განუწყვეტელი პროცესია, რომელსაც იწყებს დაბადებისთანავე და აგრძელებს სიკვდილამდე. ესუნთქავთ დღეც და ღამეც, ღრმა ძილშიც, ავადმყოფობის თუ კარგად ყოფნის დროს. სუნთქვა ფიზიოლოგიურ პროცესთა ერთობლიობაა, რომელთა შედეგად ორგანიზმში ჟანგბადს მოიხმარს და ნახშირორჟანგს გამოყოფს. ნავარჯიშებ ადამიანს აქვს უნარი 3–4 წუთით შეაჩეროს სუნთქვა, ზოგიერთს 6 წუთითაც. სუნთქვის მეტი დროით შეკავება სიკვდილს იწვევს. ადამიანის ყველა უჯრედისათვის აუცილებელია ენერგია.

ენერგიის წყარო არის ორგანულ ნაერთთა განუწყვეტელი დაშლა და დაჟანგვა. დაჟანგვის პროცესში ჟანგბადი მონაწილეობს, ამიტომ უჯრედებს მუდმივად ესაჭიროება მისი მინოდება. ნებისმიერი ორგანული ნაერთის დაჟანგვის შედეგად მიიღება ნახშირორჟანგი და წყალი, რომლებიც ორგანიზმიდან განიდევნებიან.

ადამიანი სუნთქავს ატმოსფერული ჰაერით, რომლის შემადგენლობაც ასეთია: 20,94% ჟანგბადი, 0,03% ნახშირორჟანგი, 79,03% აზოტი. ამოსუნთქული ჰაერი შეიცავს: 16,3% ჟანგბადს, 4% ნახშირორჟანგს და 79,7% აზოტს. გარემოსა და ორგანიზმს შორის ჰაერის ცვლას გარეგანი სუნთქვა ეწოდება. გარეგანი სუნთქვის შემადგენელ ნივთიერებათა პროცენტული მდგომარეობა სხვადასხვა გარემოში ცვალებადია.

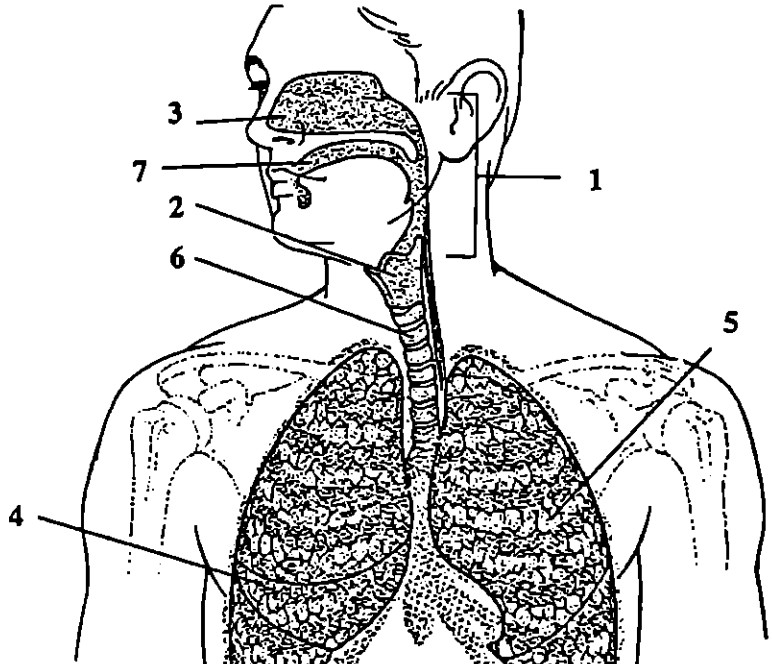
ჩასუნთქულ და ამოსუთქულ გაზთა ცვლას ახორციელებს სუნთქვის ორგანოთა სისტემა, რომელიც შედგება გულ-მკერდის ღრუში მოთავსებული ორი ფილტვისაგან და ჰაერგამტარი გზებისაგან შემდეგი თანამიმდევრობით: ცხვირის ღრუ, ხახა, ხორხი, სასულე, ბრონქები, ბრონქიოლები, ალვეოლები *(სურ. 8.30)*.

ჰაერგამტარი გზები. ჰაერგამტარი გზები იწყება ცხვირის ღრუთი, რომელსაც ძვლოვან-ხრტილოვანი ძგიდე მარჯვენა და მარცხენა ნახევრებად ყოფს. ყოველ მათგანში მოთავსებულია დაკლაკნილი ხვრელები, რომლებიც აფართოებენ ცხვირის ღრუს შიგა ზედაპირს, ლორწოვანი გარსი, რომლითაც ამოფენილია ცხვირის ღრუ და უხვად არის მომარაგებული წამწამებით, სისხლძარღვებითა და ლორწოს გამომყოფი ჯირკვლებით.

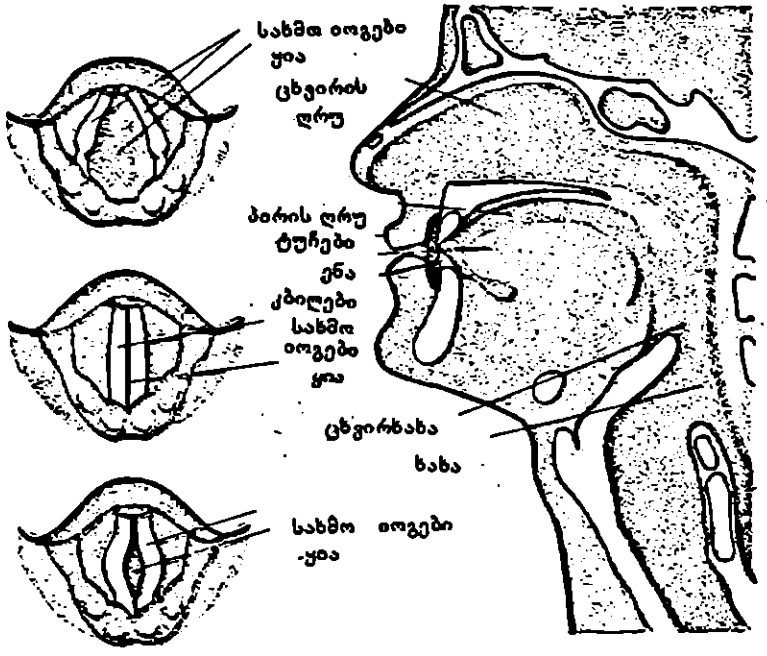
ჰაერგამტარი გზების გავლისას ატმოსფერული ჰაერი სუფთავდება მტვრისაგან, თბება და ტენიანდება. ჰაერის გასუფთავება მტვრისაგან განსაკუთრებით ეფექტურია ცხვირით სუნთქვის დროს. ცხვირის ვიწრო სავალებში ჰაერის გავლისას წარმოიქმნება გრიგალისებური მოძრაობა. მტვრის მსხვილი ნაწილაკები ეჯახებიან ცხვირს, ცხვირ-ხახის კედლებს. ეკვრიან ჰაერგამტარი გზების ლორწოს, გასუფთავების აღწერილი მექანიზმი იმდენად ეფექტურია, რომ შიგნითა სასუნთქ გზებში შეიძლება მოხვდეს მხოლოდ მტვრის ნაწილაკები, რომელთა დიამეტრი არ აღემატება 4-6 მკ. მტვრის ნაწილაკების მოცილებას ხელს უწყობს აგრეთვე ბრონქებისა და ტრაქეის მოციმციმე ეპითელიუმის მოქმედება.

სასულესა და ბრონქებში მტვრის მსხვილი ნაწილაკების მოხვედრისას რეფლექსურად გამოიწვევა ხველა, ხოლო ცხვირში მოხვედრისას კი ცხვირის დაცემინება. ხველება და დაცემინება სასუნთქი დაცვითი რეფლექსებია, რომლებიც ასუფთავებენ სასუნთქ გზებს სუნთქვის შემაფერხებელი უცხო ნაწილაკებისა და ლორწოსაგან.

ცხვირის ღრუდან ჰაერი გადადის ხახაში და შემდეგ ხვდება ხორხში. ხორხს ძაბრის ფორმა აქვს, რომლის კედლები რამდენიმე ხრტილისაგან არის წარმოქმნილი. მასში მოთავსებულია ორი წყვილი ნაოჭი სახმო და კარიბჭის. გააჩნია ელასტიკური ხორხსარქველი. საჭმლის ყლაპვის დროს ხორხის შესასვლელი იხურება ხრტილოვანი



სურ. 8.30. სასუნთქი სისტემა
1 — ხახა; 2 — ხორხი; 3 — ცხვირის ღრუ; 4 — მარჯვენა ფილტვი; 5 — მარცხენა ფილტვი; 6 — სასულე; 7 — პირის ღრუ.



სურ. 8.31. ბგერების წარმოქმნაში მონაწილე ორგანოები.

ხორხსარქველით, რაც იცავს ჰაერგამტარ გზას, რომ მასში არ მოხვდეს საკვების მარცვლები. ხორხის ხრტილებს შორის მოთავსებულია ლორწოვანი ნაოჭი — მბგერავი სახმო იოგები. სახმო იოგებს შორის მოთავსებულ სივრცეს ყია ეწოდება. როდესაც ადამიანი დუმს, სახმო იოგები ერთმანეთს შორდება და ყია ტოლფერდა სამკუთხედს ემსგავსება *(სურ. 8.31).* ლაპარაკის, სიმღერის დროს სახმო იოგები ერთდება. ამოსუნთქული ჰაერი ნაოჭებს აწევება. ისინი რხევას იწვევს და წარმოიქმნება ბგერა. ჩურჩულის დროს სახმო იოგები ოდნავ იღება.

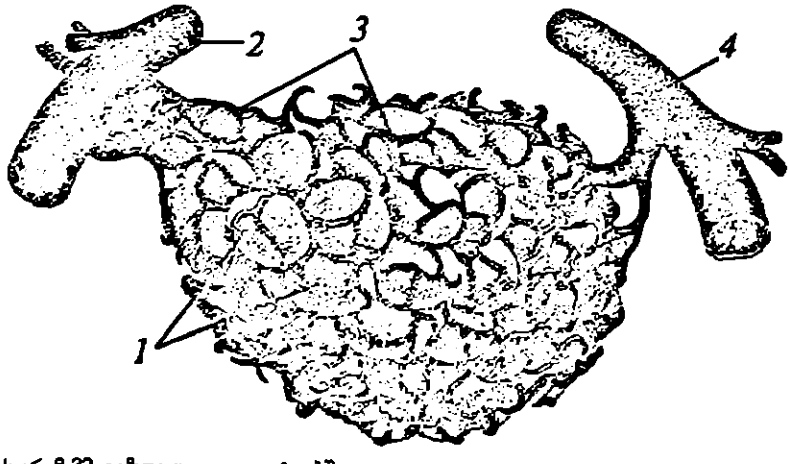
ადამიანის ხმის სიმაღლე დამოკიდებულია სახმო იოგების სიგრძეზე. რაც უფრო მოკლეა სახმო იოგები, მით უფრო მეტია მათი რხევის სიჩქარე და მით მაღალია ხმა. ქალებს უფრო მოკლე სახმო იოგები აქვთ, ვიდრე მამაკაცებს. ამიტომ ქალის ხმა მუდამ მაღალია.

სახმო იოგებს შეუძლია 80-დან 10 000 რხევა შეასრულოს ერთ წამში. ადამიანის მეტყველების ბგერების საბოლოო ჩამოყალიბება ხდება ხახის, ცხვირ-ხახისა და ცხვირის ღრუებში, ენის, ტუჩების, ქვედა ყბის მდებარეობის შეცვლის შედეგად *(სურ. 8.31).*

ფილტვები

ყოველი ბრონქი ფილტვებში ხესავით იტოტება და ჰაერგამტარი გზების მილაკების დიამეტრი თანდათან მცირდება. ყველაზე ნვრილი ბრონქული მილაკები ჰაერით სავსე ფილტვის ბუშტუკების თხელკედლიანი მტევნებივით ბოლოვდება *(სურ. 8.32).* მათი კედლები ეპითელიური უჯრედების ერთი შრისაგან შედგება და მჭიდროდ გარემოსილია კაპილარების ქსელით. ბუშტუკების ეპითელური უჯრედები ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს გამოჰყოფს, რითაც აპკის სახით გამოფენილია ბუშტუკების შიგა ზედაპირი. ეს აპკი ინარჩუნებს ბუშტუკების მუდმივ მოცულობას და მათ შეერთების საშუალებას არ აძლევს. გარდა ამისა, აპკის ნივთიერებები ფილტვებში ჰაერთან ერთად შეღწეულ მიკროორგანიზმებს აუვნებლებს.

ფილტვების ანთების, ტუბერკულიოზისა და ფილტვების სხვა ინფექციური დაავადებების დროს შესაძლოა აპკი დაზიანდეს. ამ დროს ბუშტუკები ერწყმის ერთმანეთს და გაზთა ცვლაში მონაწილეობას ვეღარ ღებულობს. ინტენსიური სუნთქვა ხელს უწყობს ფილტვის ბუშტუკების განახლებას.

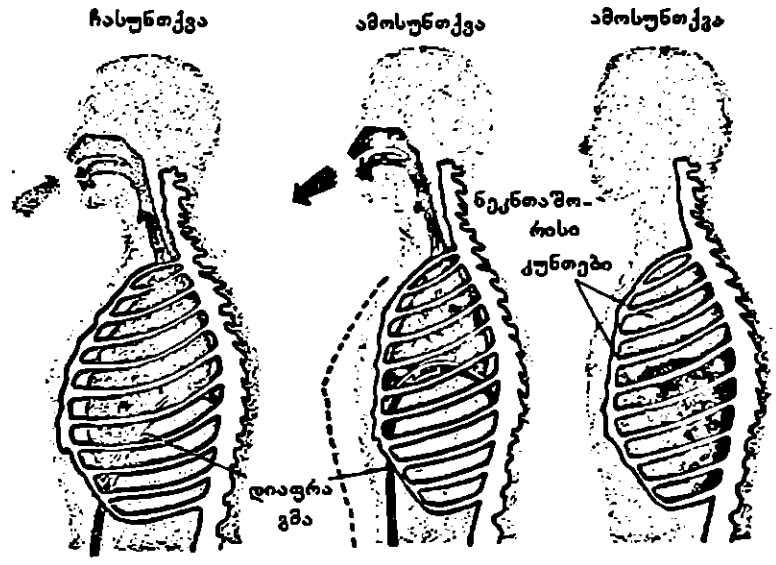


სურ. 8.32. გაზთა ცვლა ფილტვებში
1 — ალვეოლები; 2 — არტერია; 3 — ალვეოლთა კაპილარული ქსელი; 4 — ვენა.

ფილტვის ბუშტუკები წარმოქმნიან ღრუბლისებრ ნივთიერებას, რომელიც ფილტვებს აყალიბებს. ფილტვები გულმკერდის მთელ ღრუს ავსებს იმ ადგილის გარდა, რაც გულს, სისხლძარღვებს, ჰაერგამტარ გზებსა და საყლაპავ მილს უჭირავს. ყოველ ფილტვში 300-350 მილიონი ბუშტუკია. მათი საერთო ზედაპირი 120 კვადრატული მეტრია, რაც სხეულის ზედაპირზე დაახლოე-

ბით 60-70-ჯერ მეტია.

ფილტვი გარედან დაფარულია გლუვი პრიალა შემაერთებელ-ქსოვილოვანი აპკით — ფილტვის პლევრით. გულმკერდის შიგა ზედაპირიც ამოფენილია კედლის ამყოლი პლევრით. მათ შორის მოთავსებულია ჰერმეტული პლევრის ღრუ, რომელიც ნოტიოა და სრულებით არ შეიცავს ჰაერს. ამიტომ ფილტვები მუდამ ეკვრის გულმკერდის ღრუს კედლებს და მისი მოცულობა გულმკერდის ღრუს მოცულობის ცვლილებისდაგვარად იცვლება.



სურ. 8.33. ჩასუნთქვისა და ამოსუნთქვის რიტმულობა

ზრდასრული ადამიანი დღე-ღამის განმავლობაში 10 ათას ლიტრ ჟანგბადს ჩაისუნთქავს. დიდი რაოდენობის ჟანგბადს თხოულობს ახალშობილი. იგი 50 სუნთქვით სიხშირეს ასრულებს ერთი წუთის განმავლობაში. მოზარდი — 20-ს. ზრდასრული ადამიანი 16-18-ს. დიდი რაოდენობის ჟანგბადს საჭიროებს ზრდასრული ადამიანი ფიზიკური დატვირთის პირობებში, მძიმარე ადამიანი ერთი საათის განმავლობაში 15-20 ლიტრამდე ჟანგბადს მოიხმარს. მღვიძარე ნამოწოლილი ადამიანი ერთი მესამედით მეტ ჟანგბადს მოიხმარს, ვიდრე ძილში. მოსიარულე ორჯერ მეტს. მსუბუქი მუშაობისას სამჯერ მეტს. მძიმე ფიზიკური დატვირთვისას ექვსჯერ მეტს. ფიზიკური დატვირთვისას ფილტვების მოცულობა იზრდება, მაგრამ სუნთქვითი სიხშირე ქვეითდება. იგი ხდება 6-10-მდე, ნაცვლად 16-18 სიხშირისა, რომელიც ერთი წუთის განმავლობაში მიმდინარეობს. ადამიანი ყოველ ჩასუნთქულ 500 სმ³ ჰაერიდან ღებულობს 20 სმ³ ჟანგბადს. ამოსუნთქვის დროს გამოყოფს 17,5 სმ³ ნახშირორჟანგს.

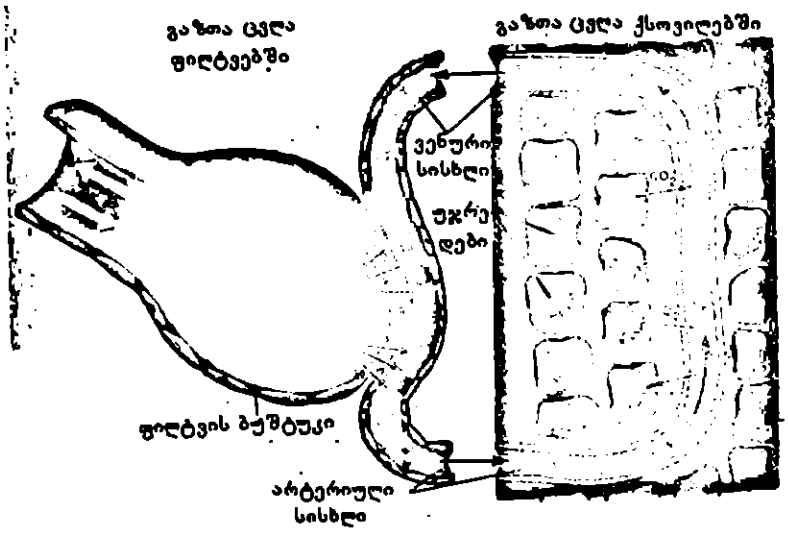
ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ დღის განმავლობაში ადამიანის საქმიანობის გათვალისწინებით ჟანგბადის მოხმარების რაოდენობა ცვალებადია. როდესაც ადამიანი ისუნთქავს მტერიან ჰაერს, ორგანიზმში ხვდება დიდი რაოდენობის მიკრობი. თუ ადამიანს სუნთქვა უხდება სუფთა ოთახში 1 მ³ მოცულობის ჰაერში 15-20 მიკრობია. ქუჩაში კი 5 000. გამოთვლილია, ერთი ბაქტერიიდან +30°C ყოველ 30 წუთში ორი ჩნდება. +20°C ბაქტერიის გამრავლება ორჯერ მცირდება, ხოლო +10°C მცირდება 20-ჯერ. +3°C მიკრობები გამრავლებას წყვეტენ. ზამთრის ცივ პირობებში ჰაერში მიკრობები საერთოდ არ არის. მიკრობებს სპობს აგრეთვე მზის სხივები.

სუნთქვითი მოძრაობანი და მათი რეგულირება. ჩასუნთქვა და ამოსუნთქვა რიტმულად ენაცვლება ერთმანეთს და უზრუნველყოფს ფილტვებში ჰაერის გავლას ანუ ფილტვების ვენტილაციას. ჩასუნთქვა ხორციელდება გულმკერდის ღრუს მოცულობის გაზრდის გამო, რომელიც ხორციელდება ნეკნების ანევისა და დიაფრაგმის დაწევის გამო *(სურ. 8.33)*. როდესაც ჩასუნთქვა დამთავრდება სასუნთქი კუნთები დუნდება. ნეკნები იწევა ქვეითი, ხოლო დიაფრაგმის გუმბათი იწევს ზევით. გულმკერდის ღრუს მოცულობა მცირდება. ხდება ამოსუნთქვა. ეს პროცესი მიმდინარეობს პასიურად, კუნთების მონაწილეობის გარეშე.

სასუნთქი სისტემის რიტმულობის მოქმედებას არეგულირებს სუნთქვის ცენტრი, რომელიც მდებარეობს მოგრძო ტვინში. აქედან წამოსული მამოძრავებელი აქსონებით ნერვული იმპულსები კოორდინირებას უწევს ჩასუნთქვა-ამოსუნთქვაში მონაწილე კუნთების მუშაობას. თვითონ სასუნთქი ცენტრის ნეირონების აგზნებას ახორციელებს სხვადასხვა რეცეპტორიდან წამოსული ნერვული იმპულსები და აგრეთვე სისხლის ქიმიური შემადგენლობა. სუნთქვის ცენტრში არსებობს მგრძნობიარე ნეირონები, რომლებიც რეაგირებენ ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მომატებაზე. იწყება სუნთქვის გაძლიერება. როგორც კი შემცირდება ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია და გახდება ნორმალური, სუნთქვის სიხშირე შემცირდება.

როგორც დავინახეთ, სუნთქვის რეგულაცია ხორციელდება რეფლექსურად, მაგრამ კონტროლირდება თავის ტვინის დიდი ჰემისფეროების გავლენით, რაც მარტივად შეიძლება დავადგინოთ. ყველა ადამიანს აქვს უნარი ცვალოს სუნთქვის სიხშირე.

ფილტვების სასიცოცხლო ტევადობა. მშვიდი შესუნთქვის დროს მოზრდილი ადამიანის ფილტვებში დაახლოებით 500 კუბური სანტიმეტრი ჰაერი შედის. ჰაერის ამ მოცულობას სასუნთქი ჰაერი ეწოდება. სასუნთქი ჰაერის გარდა, ადამიანს აქვს უნარი შეისუნთქოს სამჯერ მეტი მოცულობის ჰაერი. მას დამატებითი ჰაერი ეწოდება (1500 სმ³). ჩვეულებრივი ამოსუნთქვის შემდეგ შესაძლებელია ადამიანმა ამოისუნთქოს კიდევ 1500 სმ³ ჰაერი, რომელსაც სარეზერვო ჰაერი ეწოდება. ასეთია საშუალო ციფრები ნორმალური მოზრდილი



სურ. 8.34. გაზთა ცვლა ფილტვებსა და ქსოვილებში

მამაკაცისთვის. ამ ციფრებიდან გამომდინარეობს, რომ მშვიდი სუნთქვის დროს გულმკერდის ღრუ არ ფართოვდება და არ ივწროვდება მაქსიმუმამდე. საჭიროების შემთხვევაში სასუნთქი მოძრაობის სიდიდე შეიძლება გაიზარდოს როგორც ამოსუნთქვით, ასევე ჩასუნთქვით.

ფილტვებში შემავალი და ამოსუნთქული ჰაერის მოცულობა იზომება სპეციალური გაზომეტრით, რომელსაც სპირომეტრი ეწოდება. თუ სპირომეტრით დავაკვირდებით ადამიანის მაქსიმალურ შესუნთქვას და აგრეთვე მაქსიმალურ ამოსუნთქვას, აღმოჩნდება, რომ სპირომეტრში შევა როგორც სასუნთქი, აგრეთვე სარეზერვო და დამატებითი ჰაერი, ე. ი. 500+1500+1500=3 500 კუბური სანტიმეტრი. ამას ფილტვების სასიცოცხლო ტევადობა ეწოდება.

აღსანიშნავია ერთი გარემოება. ზუსტი ციფრების მოტანა ფილტვების სასიცოცხლო ტევადობის შესახებ პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან იგი ცვალებადია სხვადასხვა პირობებში. მნიშვნელობა აქვს სქესს, ასაკს, სხეულის ზომას და განსაკუთრებით ცდის პირს, რომელიც გავარჯიშებულია ფიზიკურად. ამიტომაც არ არის გასაკვირი, როდესაც ლიტერატურაში ვხვდებით ფილტვების სასიცოცხლო ტევადობის შესახებ სხვადასხვა ციფრს. ეს ციფრები მერყეობს საშუალოდ 2 000-7 000 სმ^3 შორის.

გაზთა ცვლა ფილტვებსა და ქსოვილებში. გარეგანი სუნთქვის თანადროულად გაზთა ცვლა მიმდინარეობს ფილტვებსა და ქსოვილებში. ქსოვილებში მიმდინარე გაზთა ცვლას შინაგანი სუნთქვა ეწოდება. გაზთა ცვლა ფილტვებსა და ქსოვილებში ხორციელდება სისხლის მიმოქცევის ორივე წრის მეშვეობით. სისხლის მიმოქცევის მცირე წრეში, რომლის კაპილარული სისტემა მოთავსებულია ფილტვებში, წარმოებს ჟანგბადის შეთვისება სისხლის მიერ და ნახშირორჟანგის გადაცემა ფილტვებში, ე. ი. ვენური სისხლი გადაიქცევა არტერიულად. თავისუფლდება ნახშირორჟანგისაგან და მდიდრდება ჟანგბადით.

სისხლის მიმოქცევის დიდ წრეში ხორციელდება საწინააღმდეგო პროცესი. სისხლის მიმოქცევის დიდ წრეში, რომლის კაპილარული სისტემა გაშლილია ორგანიზმის ყველა ქსოვილში, წარმოებს ჟანგბადის გადაცემა ქსოვილებში და ნახშირორჟანგის გამოტანა ქსოვილებიდან. არტერიული სისხლი გადაიქცევა ვენურად. თავისუფლდება ჟანგბადისაგან და მდიდრდება ნახშირორჟანგით.

ორგანიზმში გაზების ტრანსპორტი სისხლის საშუალებით ხდება. ჟანგბადი ალვეოლური ჰაერიდან დიფუნდირებს სისხლის პლაზმაში, საიდანაც იგი გადადის ერითროციტებში და უერთდება ჰემოგლობინს. ქმნის არამტკიცე ნაერთს ოქსიჰემოგლობინს ქსოვილებში. ოქსიჰემოგლობინი ადვილად ათავისუფლებს ჟანგბადს და ადვილად გარდაიქმნება კვლავ ჰემოგლობინად.

ნახშირორჟანგი სისხლში გადადის ქსოვილებიდან. რთული ბიოქიმიური გარდაქმნების შედეგად უკავშირდება ერითროციტებს. ნახშირორჟანგის გადასვლასთან ერთდროულად ხდება ოქსიჰემოგლობინის მიერ ჟანგბადის გამოთავისუფლება.

შესუნთქულ და ამოსუნთქულ ჰაერში გარეგანი სუნთქვის დროს, ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის სხვადასხვა რაოდენობა ფილტვების ბუშტუკებში გაზთა ცვლით აიხსნება. ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია ფილტვების ვენურ კაპილარებში გაცილებით მეტია, ვიდრე ბუშტუკებში *(სურ. 8.34)*. ამიტომ ვენური სისხლიდან ნახშირორჟანგი ფილტვების ბუშტუკებში გადაინაცვლებს და ამოსუნთქვის დროს ორგანიზმიდან გამოიდევნება, ვინაიდან ჟანგბადის კონცენტრაცია ბუშტუკებში მეტია, ვიდრე სისხლში. ჟანგბადი ფილტვის ბუშტუკებიდან სისხლში გადადის. აქ ხდება ვენური სისხლის არტერიულად გარდაქმნა. ფილტვების ვენებით არტერიული სისხლი მარცხენა წინაგულში ჩაედინება. შემდეგ გადადის მარცხენა პარკუჭში და სისხლის მიმოქცევის დიდი წრით მიაღწევს ორგანიზმის ყველა ქსოვილს.

სისხლის მიმოქცევის დიდი წრის კაპილარებიდან ჟანგბადი ქსოვილებში გადადის *(სურ. 8.34)* იმიტომ, რომ არტერიულ სისხლში მეტი ჟანგბადია, ვიდრე უჯრედებში. ნახშირორჟანგი უჯრედებიდან სისხლში გადადის. ამგვარად, ორგანოთა ქსოვილში არტერიული სისხლი ვენურ სისხლად გადაიქცევა. სისხლის მიმოქცევის დიდი წრის ვენებით ვენური სისხლი მარჯვენა წინაგულში ჩაედინება. შემდეგ პარკუჭში, საიდანაც ფილტვებში ხვდება.

8.7. საჭმლის მომნელებელი სისტემის ფიზიოლოგია

კუება აკავშირებს ადამიანს გარემოსთან ნივთიერებათა ცვლის საშუალებით, რომელსაც არეგულირებს ნერვული სისტემა. საკვები, რომლითაც ადამიანი იკვებება მრავალფეროვანია. ნარმოშობის მიხედვით საკვები იყოფა ორ დიდ ჯგუფად: მცენარეულ და ცხოველურად. სრულყოფილი საკვები უნდა შეიცავდეს ყველა იმ ნივთიერებას, რომელიც აუცილებელია ორგანიზმისთვის. ცნობილია, რომ ადამიანის ორგანიზმი შეიცავს დაახლოებით 60-65% წყალს, 5,8% მარილს, 15-20% ცილას, 0,6% ნახშირწყალს, 19% ცხიმს. კუების საშუალებით ორგანიზმი ინაზღაურებს აღნიშნულ ნივთიერებათა დანაკარგს. ეს ნივთიერებები ორგანიზმში სხვადასხვა ფუნქციას ასრულებს. იმის მიხედვით, საკვებში რომელი ნივთიერება ჭარბობს, არჩევენ ცხიმოვან, ცილოვან და ნახშირწყლოვან კუებას.

ორგანიზმის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია ენერგია. ადამიანი ენერგიას მიღებული საკვების ქიმიური გარდაქმნის შედეგად ღებულობს. ნარმოქმნილი ენერგიის 70%-ს ადამიანი ახმარს სხეულის ტემპერატურის შენარჩუნებას. ენერგია გარდაიქმნება სითბოდ. რაც ნაკლები სითბო გამოიყოფა კანიდან, მით ნაკლები საკვებია საჭირო. ეს კი გავლენას ახდენს ადამიანის აღნაგობაზე. დარჩენილი ენერგიის 30% ხმარდება ორგანიზმში მიმდინარე სხვადასხვა ფიზიოლოგიური პროცესის განხორციელებას.

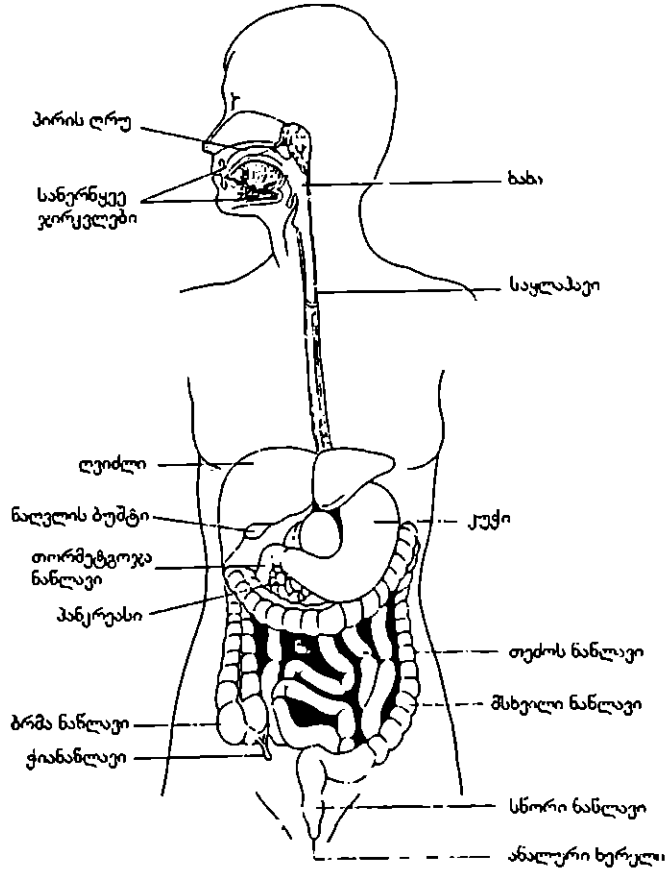
საჭმლის მონელება რთული ფიზიოლოგიური პროცესია, რომლის საშუალებითაც საჭმლის მომნელებელ ტრაქტში მოხვედრილი საკვები განიცდის ფიზიკურ და ქიმიურ ცვლილებებს და მასში შემავალი საკვები ნივთიერებები შეიწოვება სისხლში ან ლიმფაში. საკვების ფიზიკური ცვლილებები მდგომარეობს მის მექანიკურ დამუშავება-დაქუცმაცებაში, არევასა და გახსნაში. ქიმიურ ცვლილებებს აქვს ცილების, ცხიმებისა და ნახშირწყლების ჰიდროლიზური დაშლის მთელი რიგი თანამიმდევრული ეტაპები.

ადამიანის საჭმლის მომნელებელი სისტემა შედგება გრძელი მილისაგან, მრავალი წვრილი და მსხვილი ჯირკვლებისაგან *(სურ. 8.35.)* და იყოფა სამ ნაწილად: წინა, შუა და უკანა ნაწილებად.

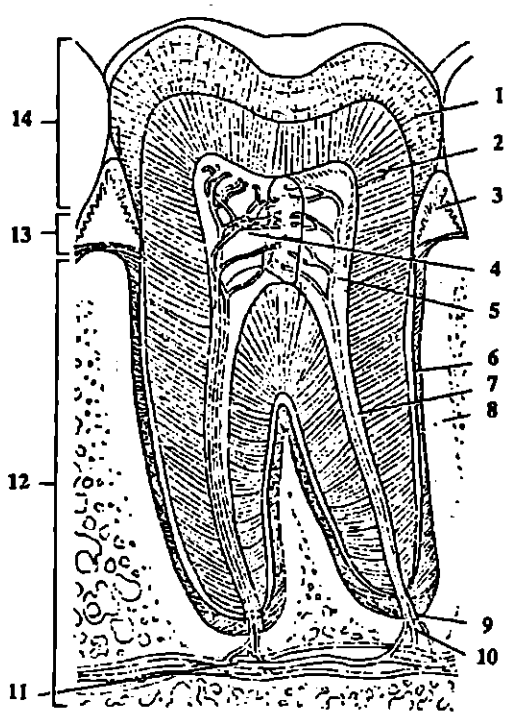
წინა ნაწილი იწყება პირის ნაპრალით და გრძელდება კუჭის გასაელამდე; შუა ნაწილი — კუჭის გასაელიდან მსხვილი ნაწლავის დასაწყისამდე; უკანა ნაწილი იწყება მსხვილი ნაწლავის დასაწყისიდან და ბოლოვდება ანალური ხვრელით. ყოველი ჩამონათვალი ნაწილი თავის მხრივ იყოფა რამდენიმე ნაწილად. წინა ნაწილი შედგება პირის ნაპრალის, პირის კარიბჭის, პირის ღრუს, ხახის პირის, ხახის, საყლაპავი მილისა და კუჭისაგან. შუა ნაწილი — თორმეტგოჯა ნაწლავის, მლივი ნაწლავის, თეძოს ნაწლავისაგან (ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი წარმოადგენს წვრილ ნაწლავებს). უკანა ნაწლავი — ბრმა ნაწლავის, ჭიანაწლავის, ასწერივი კოლინჯის, განივი კოლინჯის, დასწერივი კოლინჯის, სიგმოიდური კოლინჯის, სწორი ნაწლავის, უკანა გასავალისაგან.

საჭმლის მონელება პირის ღრუში. საკვების გადამუშავება იწყება პირის ღრუში, სადაც ნარმოებს მისი დაქუცმაცება და ლუკმის ფორმირება. პირის ღრუში საკვები საშუალოდ 15-18 წამამდე რჩება. ამ ხნის განმავლობაში ხდება პირის ღრუს მთელ ლორწოვან გარსში მიმოფენილი ისეთი მგრძნობიარე ელემენტების გააქტიურება, როგორებიცაა გემოვნების, ტაქტილური, თერმული და ტკივილის რეცეპტორები. ამ რეცეპტორებიდან სამწვერა, სახის და ენა-ხახის ნერვების შემადგენლობაში შემავალი მგრძნობიარე ბოჭკოებით ნერვული იმპულსები თავის ტვინის სათანადო ნერვულ ცენტრებს აღენევს. გააქტივებული ნერვული ცენტრები ამოქმედებს რეფლექსურ რკალებს და იწყება ნერწყვის გამოყოფა პირის ღრუში. მეორეს მხრივ იწყება ღეჭვითი მოძრაობები. ღეჭვა ხორციელდება საღეჭი კუნთების შეკუმშვით, რომლის დროსაც წარმოებს ქვედა ყბის გადაადგილება ზედა ყბის მიმართ. ყბის მოძრაობის გამო, ზედა და ქვედა ყბის კბილები ეხება ერთმანეთს და გლეჯს და აქუცმაცებს საკვებს.

ადამიანს კბილები ორჯერ ამოსდის.



სურ. 8.35. ადამიანის საჭმლის მომნელებელი სისტემა



სურ. 8.36. ადამიანის კბილის აგებულება
1 — მინანქარი; 2 — დენტინი; 3 — ღრძილები; 4 — კბილის ღრუ; 5 — კბილის პულპა; 6 — დუღაბი; 7 — კბილის ფესვის არხი; 8 — კბილბუდეთა მორჩი; 9 — კბილის მწვერვალის ხვრელი; 10 — კბილის ნერვები; 11 — კბილის არტერიები და ვენები; 12 — კბილის ფესვი; 13 — კბილის ყელი; 14 – კბილის გვირგვინი.

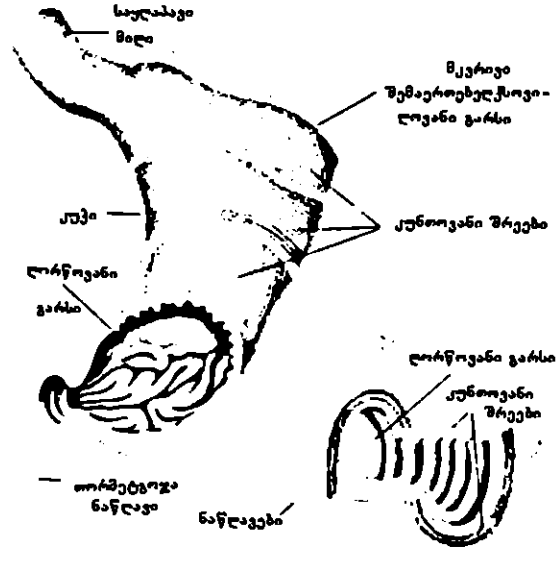
პირველი პერიოდის კბილებს მოსაცვლელ (სარძევე) კბილებს უწოდებენ. მოსაცვლელი კბილები 20-ია: 8 საჭრელი, 4 ეშვი, 8 დიდი ძირითადი კბილი. მეორე პერიოდის კბილებს უწოდებენ მუდმივ კბილებს. მათი რიცხვი 32-ია: 8 საჭრელი, 4 ეშვი, 8 მცირე ძირითადი და 12 დიდი ძირითადი კბილი. კბილის აგებულება ნაჩვენებია სურათზე (*სურ. 8.36*).

ლუკმად გამზადებული საკვები ენის და რბილი სასის კუნთების მოქმედებით გადადის ხახის პირში, ხახაში და საყლაპავი მილით ჩაედინება კუჭში.

საჭმლის მონელება კუჭში. კუჭში მოხვედრილი საკვები რამოდენიმე საათის განმავლობაში იმყოფება და მხოლოდ თანდათანობით გადადის წვრილ ნაწლავში. საკვებზე მექანიკურ ზემოქმედებას ახდენს კუჭის მუსკულატურის პერიოდული შეკუმშვები; ხოლო ქიმიურს — საკვებში შერეული ნერწყვის ფერმენტები და თვით კუჭის წვენი.

კუჭი ღრუ ორგანოა. მდებარეობს მარცხენა ფერდქვეშა მიდამოში. შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ძირი, სხეული და გასაეალი ანუ პილორუსი. აქვს ორი კედელი, წინა და უკანა. ორი სიმრუდე ზედა (მცირე სიმრუდე) და ქვედა (დიდი სიმრუდე). ზრდასრული ადამიანის კუჭის სიგრძე 15-18 სმ-ია. კუჭის საშუალო ტევადობა სამი ლიტრია. კუჭის კედელი სამ გარსიანია. გარეთა — სეროზული, შუა — კუნთოვანი, რომელიც ქმნის კუჭის გასაეალთან პილორუსის სფინქტერს. შიგნითა — ლორწოვანი. კუჭის კუნთოვანი გარსი სამშრიანია. გარეთა — გასწვრივი, შუა — ირგვლივი და შიგნითა — ირიბი (*სურ. 8.37*).

კუჭის წვენის გამომუშაევება ხდება თვითონ კუჭში არსებულ ჯირკვლებში, რომლებიც განლაგებულია ლორწოვან გარსში. ადამიანის კუჭში დღე-ღამის განმავლობაში 2,0-2,5 ლიტრი წვენი იყოფა. წვენი გამჭვირვალე სითხეა და კუჭში ქმნის მჟავე არეს. მჟავე რეაქცია განპირობებულია მარილმჟავის არსებობით, რომლის შემცველობა ადამიანის კუჭში 0,4-0,5%-ია. კუჭის წვენი შეიცავს ფერმენტებს, რომლებიც მონაწილეობს საკვების ქიმიურ დამუშავებაში.



სურ. 8.37. საჭმლის მომნელებელი მილის აგებულება

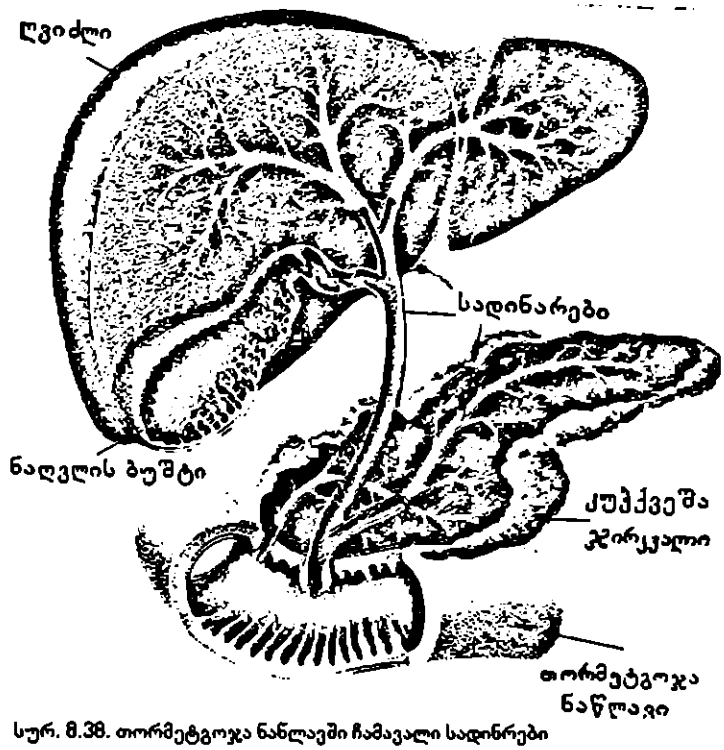
საჭმლის მონელება წვრილ ნაწლავში. ნაწილობრივად მონელებული და მარილმჟავათი შემჟავებული საკვები, კუჭიდან წვრილ ნაწლავის პირველ განყოფილებაში — თორმეტგოჯაში გადადის. ადამიანში წვრილი ნაწლავების სიგრძე 3-3,5 მეტრია. თორმეტგოჯა ნაწლავში ჩაედინება ღვიძლისა და კუჭქვეშა ჯირკვლის გამომტანი სადინრები. ნაწლავში იქმნება სუსტი ტუტე არე, რომლის შექმნაში აქტიურ როლს თამაშობს კუჭქვეშა ანუ პანკრეასის წვენი. პანკრეასის წონა დაახლოებით 70-80 გრამია, შედგება სამი ნაწილისაგან: თავი, სხეული და კუდისაგან (*სურ. 8.38*). აქვს სადინარი და ნაღველის საერთო სადინართან ერთად ჩაედინება თორმეტგოჯა ნაწლავში. ნაღველი წარმოიქმნება ღვიძლში.

პანკრეასის წვენი მდიდარია ფერმენტებით და იწყება საკვების ქიმიური დამუშავება. ხდება ცილების, ცხიმებისა და ნახშირწყლების დაშლა. ნაღველი ხელს უწყობს ცხიმების მონელებას. ნაწლავის კედლების ტალღისებური შეკუმშვები (*სურ. 8.39*) ხელს უწყობს საჭმლის ფაფის მოძრაობას.

საკვების მოძრაობა იწვევს ნაწლავის ლორწოვან გარსში მდებარე დიდი რაოდენობის ჯირკვლების გაღიზიანებას, რომლებიც ნაწლავების წვენს

გამოყოფს. ნაწლავების ნვენში დიდი რაოდენობით ფერმენტების არსებობა აძლიერებს დაწყებული საკვების დაშლის პროცესს. მაღალი ორგანული ნაერთები დაიშლება წყალში ხსნად მარტივ ნაერთებად. ცილები იშლება ამინომჟავებად. ცხიმები გლიცერინად და ცხიმოვან მჟავებად. ნახშირწყლები გლუკოზად.

საჭმლის მონელება მსხვილ ნაწლავში. მსხვილ ნაწლავს საჭმლის მონელებისთვის ძალიან მცირე მნიშვნელობა აქვს, რადგან საკვები, ზოგიერთი მცენარეული ნივთიერების გარდა, თითქმის მთლიანად მონელებულია და შეწოვილი უკვე წვრილ ნაწლავში. მსხვილ ნაწლავში ხვდება მცენარეული საკვების დაუშლელი უჯრედები, რომელთა გარსს ფერმენტები ვერ შლის. მიუხედავად ამისა, მცენარეული უჯრედების ნაწილი მაინც იშლება მსხვილ ნაწლავში იქ არსებული ბაქტერიების ზეგავლენით. გათავისუფლებული შიგთავსი კი მოინელება წვრილი ნაწლავიდან გამოყოფილი ფერმენტებით. მიკროორგანიზმების მიერ მცენარეული გარსის დაშლასა და მონელების პროცესს ბაქტერიულ დულილს უწოდებენ.



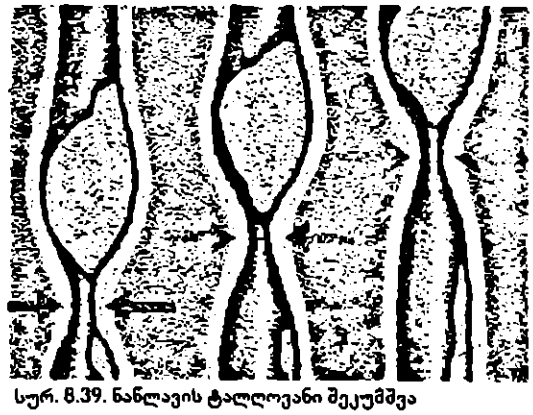
სურ. 8.38. თორმეტგოჯა ნაწლავში ჩამავალი სადინრები

თავისებურ გარდაქმნას განიცდის მსხვილ ნაწლავში ცილის ნარჩენები. მათზე მოქმედებს გარკვეული ტიპის ბაქტერიები, რომლებიც ცილის ლპობას იწვევს. ცილის ლპობის დროს წარმოიშვება გარკვეული შხამები. შხამები მსხვილი ნაწლავიდან გადადის სისხლში. კარის ვენის გავლით ხვდება ღვიძლში, სადაც ხდება მათი გაუვნებელყოფა. ნაწლავის მიკროფლორას დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანისათვის.

შეწოვა. შეწოვა ეწოდება გარემოდან, სხეულის ღრუებიდან და ღრუ ორგანოებიდან სისხლში ან ლიმფაში სხვადასხვა ნივთიერების გადასვლას უჯრედთა ერთი ან რამდენიმე შრის გავლით. განსაკუთრებული ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს შეწოვას საჭმლის მომნელებელ არხში. ამ გზით ორგანიზმი იღებს მისთვის აუცილებელ საყუათო ნივთიერებებს.

კუჭში შეწოვა მეტად უმნიშვნელოა. აქ ძლიერ ნელა შეიწოვება მხოლოდ მინერალური მარილები, მონოსაქარიდები, ალკოჰოლი და წყალი.

ყველაზე ინტენსიური შეწოვა წვრილ ნაწლავებში ხდება, სადაც შემწოვი ზედაპირი მეტად დიდია. ხაოების (გამობურცულობები) დიდი რაოდენობა მნიშვნელოვნად ადიდებს წვრილი ნაწლავების ლორნოვანი გარსის ზედაპირს. ყოველ ხაოში შედის სისხლძარღვები და ლიმფური ძარღვები. წვრილი ნაწლავების ხაოების გამო ნაწლავის ზედაპირი დიდად აღემატება სხეულის გარეთა ზედაპირს. წვრილ ნაწლავში მიმდინარეობს ცილების, ცხიმებისა და ნახშირწყლების დაშლის პროდუქტების შეწოვა. ხაოები დამცველ ფუნქციასაც ასრულებს. ხელს უშლის ნაწლავებში არსებულ მიკროორგანიზმების შეღწევას სისხლსა და ლიმფაში.

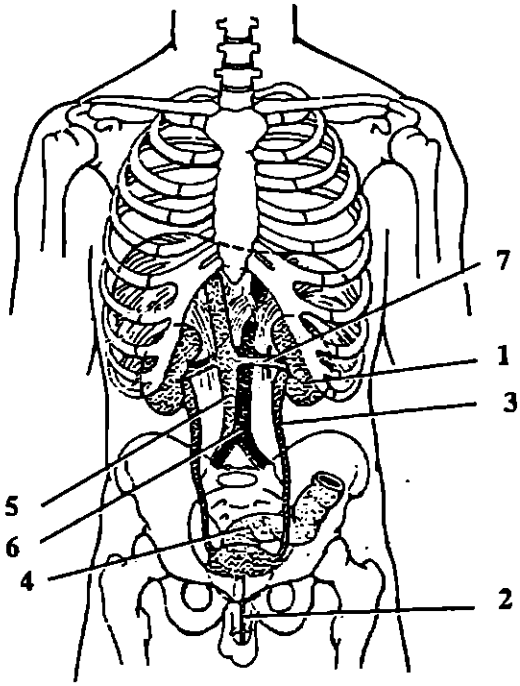


სურ. 8.39. ნაწლავის ტალღოვანი შეკუმშვა

ნორმალურ ფიზიოლოგიურ პირობებში საყუათო ნივთიერებების შეწოვა მსხვილ ნაწლავში მცირეა, რადგანაც საყუათო ნივთიერებების დიდი ნაწილი უკვე შეწოვილია. მსხვილ ნაწლავებში შეწოვა შეიძლება იმ ნივთიერებებისა, რომლებიც ადვილად იშლება და შეიწოვება. მსხვილ ნაწლავებში ხდება წყლის ინტენსიური შეწოვა.

8.8. შარდ-სასქესო სისტემა

სასქესო და შარდგამომყოფი ორგანოები ანატომიურად დაკავშირებულია ერთმანეთთან. სასქესო ორგანოები გამრავლების ფუნქციას ასრულებს. შარდის გამომყოფი ორგანოები სისხლიდან გამოყოფს ნივთიერებათა ცვლის შედეგად დაშლის საბოლოო პროდუქტებს შარდოვანასთან ერთად. მამაკაცებსა და ქალებს თირკმელები, შარდსაწვეთები და შარდის ბუშტი აგებულებით მსგავსი აქვთ. განსხვავება არსებობს შარდსადენის აგებულებაში. მამაკაცის ორგანიზმში საშარდე და სასქესო სისტემებში კავშირი რჩება სამუდამოდ. ქალის ორგანიზმში კი საშარდე აპარატი თავიდანვე გამოყოფილია სასქესო აპარატისგან .



სურ. 8.40. თირკმლის მდებარეობა
1 — თირკმელი;
2 — შარდსადენი;
3 — შარდსაწვეთი;
4 — სწორი ნაწლავი;
5 — ქვემო ღრუ ვენა;
6 — მუცლის აორტა;
7 — თირკმლის ვენა.

8.8.1 შარდის წარმოქმნა.

თირკმელი. თირკმელი ფორმით ლობიოს ჰგავს. ადამიანს ორი აქვს, რომლებიც მოთავსებულია ხერხემლის ორივე მხარეზე მუცლის ღრუს წელის არეში *(სურ. 8.40)*. თირკმლის წონა 120 გ-ია. აქვს მუქი მონითალო ფერი. მარჯვენა თირკმელი შედარებით მოკლეა და განიერი, მარცხენა კი გრძელი და ვიწრო. სიგრძე 11-12 სმ-ია, სიგანე 5-6 სმ, სისქე კი 3-4 სმ.

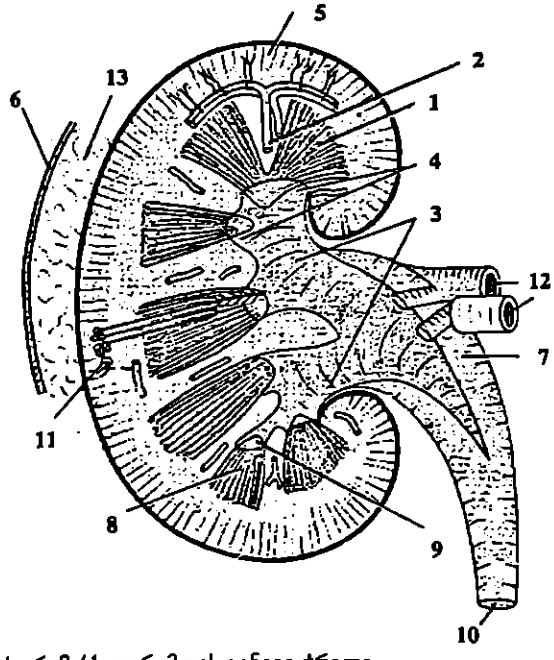
თირკმლის ძირითად ფუნქციას შარდის წარმოქმნა წარმოადგენს. თირკმელები ორგანიზმიდან გამოყოფს მასში წარმოქმნილ ნივთიერებათა ცვლის სხვადასხვა პროდუქტს და გარემოდან ორგანიზმში მოხვედრილ მრავალ უცხო და შხამიან ნივთიერებას. მონაწილეობს ორგანიზმში წყლის ბალანსის, მჟავა-ტუტოვანი წონასწორობის, ნატრიუმის, კალიუმის, ქლორის, ფოსფორის და სხვა მინერალურ ნივთიერებათა ბალანსის რეგულაციაში. აწარმოებს ზოგიერთი ქიმიური ნაერთის სინთეზს.

თირკმლის ფრონტალურ ჭრილში ორ შრეს არჩევენ: გარეთას თირკმლის ქერქოვან ნივთიერებას უწოდებენ; შიგნითა შრეს — თირკმლის ტვინოვან ნივთიერებას *(სურ. 8.41)*.

ქერქულ ნივთიერებას თირკმლის პერიფერია უკავია, საიდანაც გამოდის მორჩები, რომლებიც ცენტრისკენ მიემართება. ისინი უახლოვდება ერთმანეთს და მათ თირკმლის სვეტებს უწოდებენ.

ტვინოვანი ნივთიერება შედგება რამდენიმე კონუსისებრი წარმონაქნისაგან, რომლებიც თირკმლის სვეტებს შორის არის მოთავსებული და მათ თირკმლის პირამიდებს უწოდებენ. პირამიდები ფუძეებით ქერქისკენაა მიმართული, წვერით კი — ცენტრისკენ. პირამიდის წვერს დვრილის ფორმა აქვს. ამიტომ მას თირკმლის დვრილი დაერქვა. პირამიდაში გადის საშარდე მილაკები, რომლებიც წვრილი ხვრელებით იხსნება თირკმლის მენჯის ღრუში.

თირკმელს რთული სტრუქტურა გააჩნია. მის სტრუქტურულ-ფუნქციურ ერთეულს, რომელიც შარდის

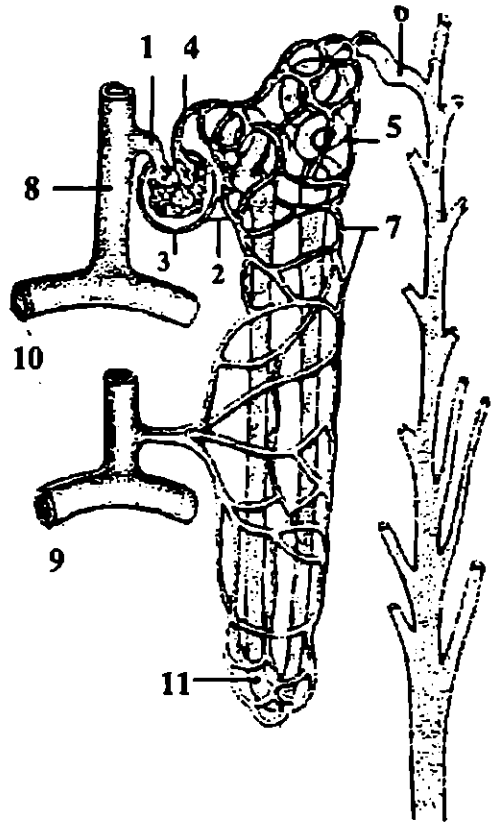


სურ. 8.41. თირკმლის განივი ჭრილი
1 — თირკმლის ტვინოვანი ნივთიერება; 2 — ნილთამუა არტერია; 3 — თირკმლის დიდი ფიალები; 4 — თირკმლის მცირე ფიალები; 5 — თირკმლის ქერქოვანი ნივთიერება; 6 — თირკმლის ფასცია; 7 — თირკმლის მენჯი; 8 — თირკმლის პირამიდები; 9 — თირკმლის დვრილები; 10 — შარდსაწვეთი; 11 — გორგალი; 12 — თირკმლის სისხლის ძარღვები; 13 — ცხიმოვანი კაფსულა.

წარმოქმნაში ძირითად როლს თამაშობს, ნეფრონი ეწოდება. ადამიანის თირკმელში, რომელიც 150-გ-ია, ნეფრონთა რაოდენობა 1-1,2 მილიონია. ნეფრონი ფუნქციური ერთეულია იმიტომ, რომ მას შეუძლია განახორციელოს იმ პროცესების მთელი ერთობლიობა, რომელთა შედეგად შარდი წარმოიქმნება. ნეფრონები აგებულებით მსგავსია *(სურ. 8.42)*. ნეფრონთა შორის მოთავსებულია შემაერთებელი ქსოვილი. თითოეული ნეფრონი იწყება პატარა კაფსულით, რომელსაც ორკედლიანი ფინჯანის ფორმა აქვს. მის შიგნით მოთავსებულია კაპილარების გორგალი, რომელსაც მალპიგის გორგალს უწოდებენ. კაპსულის კედლებს შორის მოთავსებულია ღრუ, საიდანაც იწყება მილაკის სანათური.

კაპსულის ღრუდან იწყება საშარდე მილაკი, რომელსაც დასაწყისში დაკლაკნილი ფორმა აქვს. მას პირველი რიგის დაკლაკნილი მილაკი ეწოდება. ქერქოვან და ტვინოვან შრეებს შორის საზღვარზე მილაკები ვიწროვდება და სწორდება. თირკმლის ტვინოვან შრეში იგი წარმოქმნის ჰენლეს მარყუჟს და ბრუნდება უკან თირკმლის ქერქოვან შრეში. ამრიგად, ჰენლეს მარყუჟი შედგება აღმავალი და დაღმავალი ნაწილებისაგან.

თირკმლის ქერქოვან შრეში ან ტვინოვან და ქერქოვან შრეთა საზღვარზე სწორი მილაკი კლავე დაკლაკნილ ფორმას იღებს და წარმოქმნის მეორე რიგის კლაკნილ მილაკს. ეს უკანასკნელი ჩადის გამომტან სადინარში — შემკრებ მილაკში. შემკრები მილაკების მნიშვნელოვანი რაოდენობა ერთდება და წარმოქმნის საერთო გამომტან სადინარებს. გამომტანი სადინარები ტვინოვანი შრის გზით გადიან დერილების წვერთან, რომლებიც შეჭრილია თირკმლის მენჯის ღრუში. ერთი ნეფრონის მილაკების საერთო სიგრძე აღწევს 35-50 მმ.



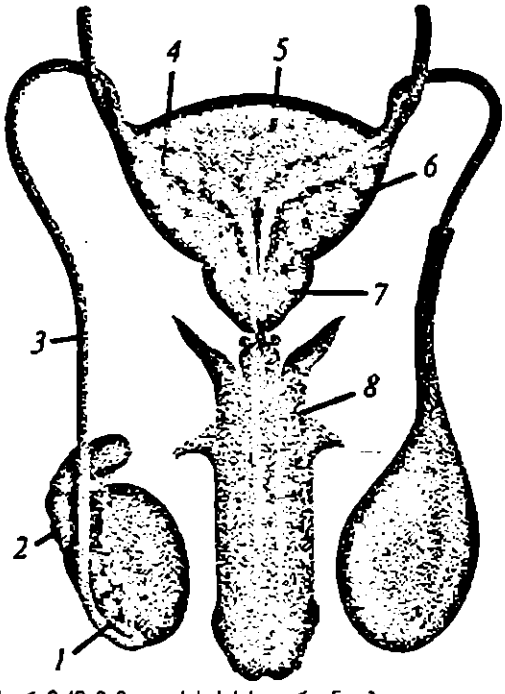
სურ. 8.42. ნეფრონის აგებულება
1 — მომტანი ძარღვი; 2 — ნეფრონის მილაკის პროქსიმალური ნაწილი; 3 — თირკმლის სხეულაკი; 4 — ნეფრონის მილაკის პროქსიმალური ნაწილი; 5 — ნეფრონის მილაკის დისტალური ნაწილი; 6 — შემაერთებელი ნაწილი; 7 — კაპილარული ქსელი; 8 — ნილაკთაშორისი არტერია; 9 — რკალური ვენა; 10 — რკალოვანი არტერია; 11 — ნეფრონის მარყუჟი.

ნეფრონში სისხლის გაწმენდის ორგვარი მექანიზმი არსებობს — ძირითადი და დამატებითი. ძირითადი მექანიზმი ორ ეტაპად მიმდინარეობს. პირველ ეტაპზე მალპიგის გორგალში გამავალი პლაზმის დიდი ნაწილი იფილტრება კაპილარების კედლებში და მას პირველადი შარდი ეწოდება. პირველადი შარდი გადადის ნეფრონის კაფსულებში, იქედან კი — ნეფრონის მილაკთა სისტემაში. მეორე ეტაპზე, მილაკებში გამავალი პირველადი შარდიდან რეაბსორბირდება წყლის უდიდესი ნაწილი და ორგანიზმისთვის სასარგებლო ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების დიდი რაოდენობა. ორგანიზმისთვის უსარგებლო მეტაბოლიტების უკუშეწოვა არ ხდება. ისინი შარდთან ერთად გამოდის ორგანიზმიდან.

სისხლის განმენდის დამატებითი მექანიზმი სეკრეტორული ბუნებისაა. ნეფრონის მილაკების ამომფენი ეპითელიუმი უსარგებლო ნივთიერებებს სეკრეციის გზით, გამოყოფს უშუალოდ შარდში. თირკმელები უხვად მარაგდება სისხლით. 70 კგ წონის ადამიანის ორივე თირკმელში ერთი წუთის განმავლობაში დაახლოებით 1,2 ლიტრი სისხლი გადადის.

ადამიანის მიერ დღე-ღამეში გამოყოფილი შარდის რაოდენობა ფართო საზღვრებში მერყეობს და საშუალოდ 1,5 ლიტრს შეადგენს. მისი ხვედრითი წონა არის 1,012-1,020. შარდი შეიცავს 4%-მდე მკვრივ ნივთიერებებს. გარემოს მაღალი ტემპერატურის პირობებში, ოფლის ძლიერი გამოყოფის დროს შარდის რაოდენობა მცირდება, ოფლის საშუალებით წყლის დაკარგვის გამო.

შარდის ბუშტის ღრუ კუნთოვანი ორგანოა, რომელიც წარმოადგენს რეზერვუარს შარდის დასაგროვებლად. მისი დაცლა ხდება პერიოდულად. მოშარდვა წარმოადგენს რთულ რეფლექსურ აქტს, რომელიც მდგომარეობს შარდის ბუშტის ერთდროულ შეკუმშვასა და მოდუნებაში. შარდსაწვეთების, შარდის ბუშტისა და მისი სპინქტერების ინერვაცია ხორციელდება როგორც სიმპატიკური, ისე პარასიმპატიკური ნერვებით, რომლთა მარეგულირებელი ცენტრები მოთავსებულია მოგრძო და შუა ტვინში.



სურ. 8.43. მამაკაცის სასქესო ორგანოები
1 — სათესლე;
2 — სათესლეს დანამატი;
3 — თესლის გამომტანი სადინარი;
4 — მშხეფავი სადინარი;
5 — შარდის ბუშტი;
6 — სათესლე ბუშტი;
7 — წინამდებარე ჯირკვალი;
8 — შარდსადენი.

და სასქესო ჰორმონები.

სპერმატოზოიდები შედგება თავის, ყელისა და კუდისაგან. მას კუდის ტალღისებრი მოძრაობით შეუძლია გადაადგილება. სპერმატოზოიდები გროვდება სათესლე ბუშტუკებში. წინამდებარე ჯირკვლის მიერ გამოყოფილი მასაზრდოებელი სითხისა და სპერმატოზოიდის ნარევს სპერმას უწოდებენ. სპერმის 1 სმ³ შეიცავს 20-60 მილიონამდე სპერმატოზოიდს.

ქალის სასქესო სისტემას წარმოადგენს: საკვერცხეები, საშვილოსნოს მილები, საშვილოსნო, საშო *(სურ. 8.45)*, რომლებიც განლაგებულია მენჯის ღრუში. საკვერცხეები შეიცავს ბუშტების გროვებს — ფოლიკულებს.

მათში ვითარდება ქალის სასქესო უჯრედები — კვერცხუჯრედები. ქალის სასქესო ჯირკვალი — საკვერცხე მდებარეობს მცირე მენჯის ღრუში საშვილოსნოს გვერდით. მას აქვს გაბრტყელებული ელიფსის ფორმა, ხოლო სიგრძე დაახლოებით 3-5 სმ-ია *(სურ. 8.46)*.

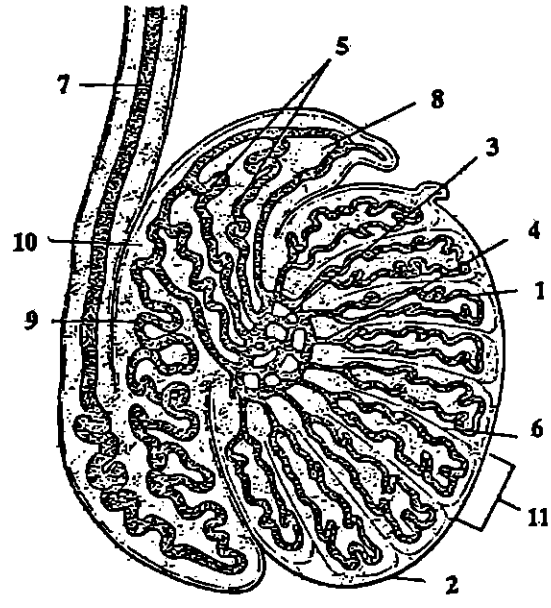
საკვერცხე გარედან დაფარულია ერთშრიანი ეპითელიუმით, რომლის უჯრდებს შორის განლაგებულია მრგვალი ან ოვალური ფორმის პირველადი კვერცხუჯრედები. ამ საფარველს ჩანასახოვან ეპითელიუმს უწოდებენ. საკვერცხის მასა ორი ნაწილისაგან შედგება. შე-

8.8.2 სასქესო სისტემა

ადამიანის სქესობრივ გამრავლებაში მონაწილეობს ორი ორგანიზმი — ქალი და მამაკაცი. ემბრიონალური განვითარების ადრეულ პერიოდში ქალის და მამაკაცის სასქესო ორგანოები ერთნაირია. მომდევნო პერიოდში ხდება სასქესო ორგანოთა დიფერენცირება და წარმოიქმნება სქესთა განსხვავება.

მამაკაცის სასქესო სისტემას წარმოადგენს: სათესლე ჯირკვლები, მათი სადინრები, დანამატური სასქესო ჯირკვლები (სათესლე ბუშტუკები და წინამდებარე ჯირკვალი) და ასო *(სურ. 8.43)*.

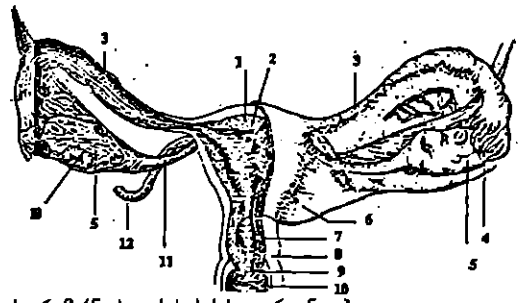
სათესლე ჯირკვლები მოთავსებულია კანის პარკში, რომელსაც სათესლე პარკი ეწოდება. სათესლეს სიგრძე 4,5 სმ-ია, წონა 20-30 გ-მდე *(სურ. 8.44)*. სათესლე ჯირკვალი გარედან დაფარულია ბოჭკოვანი შემაერთებელი ქსოვილით, რომელიც ჯირკვლის უკანა კიდის ზემო განყოფილებაში ქმნის შესქელებულ, სამკუთხა ფორმის სხეულს — სათესლის შუასაყარს, საიდანაც ჯირკვლის სისქეში მიემართება შემაერთებელქსოვილოვანი მორჩები — ძგიდეები. ძგიდეები ჯირკვალს ჰყოფს 200-300 კამერად. სათესლეს მილაკებში ხდება სპერმატოგენეზი. მამაკაცის სასქესო ჯირკვლებში ერთდროულად ვითარდება მამაკაცის სასქესო უჯრდები — სპერმატოზოიდები



სურ. 8.44. სათესლე.
1 — სათესლეს კლაკნილი მილაკები;
2 — თეთრი გარსი;
3 — სათესლეს ბადე;
4 — სათესლეს სწორი მილაკები;
5 — სათესლეს გამომტანი მილაკები;
6 — სათესლეს ძგიდები;
7 — თესლის გამომტანი სადინარი;
8 — სათესლეს დანამატის თავი;
9 — სათესლეს დანამატის სადინარი;
10 — სათესლეს დანამატის სხეული;
11 — სათესლეს წილაკი.

მაერთებელქსოვილოვანი ჩონჩხისა და ჯირკვლოვანი ქერქისაგან. ჯირკვლოვანი ქერქი მრავლად შეიცავს პირველად ფოლიკულებს, რომლებშიც ვითარდება და მწიფდება კვერცხუჯრედი.

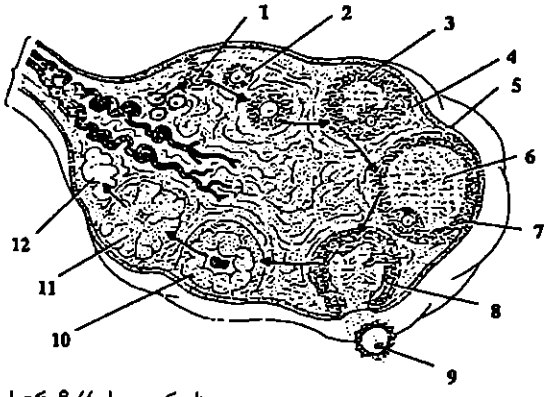
ახალშობილ გოგონას საკვერცხეში 400 000 მოუმწიფებელი სასქესო უჯრედია, რომელთაგან დაახლოებით 350-500 თუ მწიფდება. საკვერცხე ჩაფლულია ფოჩისებრ ძაბრში, რომელიც გადადის საშვილოსნოს მილში. საშვილოსნოს მილები იხსნება საშვილოსნოში. საშვილოსნო ღრუ კუნთოვანი ორგანოა, ამოფენილი ლორწოვანი გარსით. საშვილოსნოს ყელი იხსნება საშოში. საშოში შესავალი მდებარეობს. ქალწულებს საშოს შესავალი დახურული აქვთ შემაერთებელ ქსოვილოვანი აპკით. მას საქალწულე აპკი ეწოდება. საშოში შესავლის გვერდით შარდსადენის მილის ხვრელია.



სურ. 8.45. ქალის სასქესო ორგანოები
1 — საშვილოსნოს ძირი; 2 — საშვილოსნოს ღრუ; 3 — საშვილოსნოს ლულა; 4 — ლულის ფოჩები; 5 — საკვერცხე; 6 — საშვილოსნოს განიერი იოგი; 7 — საშვილოსნოს სხეული; 8 — საშვილოსნოს ყელი; 9 — საშვილოსნოს ყელის არხი; 10 — საშო; 11 — საკვერცხის საკუთარი იოგი; 12 — საშვილოსნოს მრგვალი იოგი; 13 — საკვერცხეების ბუშტუკისებრი ფოლიკული.

მომწიფებული ფოლიკული საკვერცხის ზედაპირზე გამოიბერება, მისი გარეთა კედელი თხელდება, ორი კვირის შემდეგ ბუშტი სკდება და კვერცხუჯრედი გამოდის ფოლიკულიდან. ამ პროცესს ოვულაცია ეწოდება. მომწიფებული კვერცხუჯრედი ფოჩისებური ძაბრის გავლით ხვდება საშვილოსნოს მილში, სადაც მთავრდება მისი მომწიფება. შვიდი დღის განმავლობაში კვერცხუჯრედი საშვილოსნოს მილის გავლით საშვილოსნოსკენ მიიწევს.

გამსკდარი ფოლიკულის ღრუ თანდათან ივსება უჯრედებით, რომლებიც შეიცავს ყვითელი ფერის ცხიმისმაგვარ ნივთიერებას და გარდაიქმნება ყვითელ სხეულად. იქმნება შინაგანი სეკრეციის დროებითი ჯირკვალი. ფოლიკულები ყვითელ სხეულთან ერთად გამოიმუშავებს ქალის სასქესო ჰორმონებს. ყვითელი სხეულის ჰორმონი აფერხებს შემდეგი ფოლიკულის მომწიფებას და საშვილოსნოს ლორწოვანას ამზადებს ჩანასახის მისაღებად. თუ კვერცხუჯრედის განაყოფიერება არ მოხდა, მაშინ ოვულაციიდან მე-13-14 დღეს ყვითელი სხეული აღარ გამოყოფს ჰორმონს. შეცვლილ პირობებში საშვილოსნოს ლორწოვანა ჩამოიშლება. ლორწოვანას ნაფლეთები სისხლთან ერთად გადადის საშოში. ამ პერიოდს, რომელიც 3-5 დღე გრძელდება, მენსტრუაცია ეწოდება. შემდეგ ლორწოვანა აღდგება. ვინაიდან ოვულაცია თვეში მხოლოდ ერთხელ ხდება, მენსტრუალური ციკლი მეორდება ყოველ თვე. ის გრძელდება 20-30 დღე, უფრო ხშირად 28 დღე. ამ პერიოდში ხდება ფოლიკულის მომწიფება, ოვულაცია, ყვითელი სხეულის მიერ ჰორმონის წარმოქმნისა და გამოყოფის შეწყვეტა.



სურ. 8.46. საკვერცხე
1 — საკვერცხის პირველადი ფოლიკული; 2 — გამჭირვალე ზონა; 3 — საკვერცხის მეორადი ფოლიკული; 4 — თეთრი გარსი; 5 — ჩანასახოვანი ეპითელიუმი; 6 — ფოლიკულის სითხე; 7 — საკვერცხის ზრდასრული ფოლიკული; 8 — საკვერცხის გამსკდარი ფოლიკული; 9 — კვერცხუჯრედი; 10 — ყვითელი სხეული; 11 — ციკლური ყვითელი სხეული; 12 — მოთეთრო სხეული.

თავი 9. ეკოლოგიის საფუძვლები

9.1. რას შეისწავლის ეკოლოგია

სიტყვა „ეკოლოგია" ბერძნული ნარმოშობისაა (oikos — სახლი, logos — მოძღვრება). ეკოლოგია შეისწავლის „ბუნებრივ სახლში" მცხოვრებ ყველა ორგანიზმს და იმ პირობებს, რომლებიც სახლს ხდის საცხოვრებლად გამოსადეგს, ასეა განმარტებული ეკოლოგია ვებსტერის პოპულარულ ლექსიკონში.

თუ დავაკვირდებით და გავაანალიზებთ გამოქვაბულის კედლებზე შემორჩენილ ჩვენი შორეული წინაპრების მხატვრობის ნიმუშებს, დავრწმუნდებით, რომ ეკოლოგიით დაინტერესებულან ჯერ კიდევ კაცობრიობის განვითარების საწყის ეტაპზე.

ანთროპოგენეძის საწყის პერიოდში პრიმიტიული საზოგადოების ყველა ინდივიდს გადასარჩენად უნდა ჰქონოდა გარკვეული წარმოდგენა მის საარსებო გარემოს პირობებზე. სასოფლო-სამეურნეო რევოლუციამდე, ძილს თუ არ მივიღებთ მხედველობაში, ინდივიდი მთელ დღეს საკვების ძიებაში ატარებდა. მას უნდა ესწავლა სამკურნალოდ და საკვებად გამოსადეგ მცენარეთა შხამიანისაგან გარჩევა. უნდა დაკვირვებოდა ცხოველთა ქცევებს. ზოგისგან თავი უნდა დაეცვა, ზოგი კი მოეშინაურებინა და გამოეყენებინა სხვადასხვა სასარგებლო მიზნისათვის. განსაცვიფრებელი სისწრაფით მოხდა შემგროვებელ და მონადირე ადამიანთა საზოგადოების ცივილიზაციის დასაწყისი, რომელსაც ხელი შეუწყო სასოფლო-სამეურნეო რევოლუციამ — მინათმოქმედებისა და მესაქონლეობის ნარმოშობამ.

დღეს ადამიანს არსებობა უხდება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის პირობებში. ადამიანთა განუზომელი შემოქმედებითი მიღწევები განაპირობა თავის ტვინში მიმდინარე კოგნიტურმა შემეცნებითმა პროცესებმა. ის ერთადერთი სახეობაა, რომელიც თითქოს არ ემორჩილება ეკოლოგიურ კანონზომიერებებს და შეუძლია იარსებოს ჩვენი პლანეტის ნებისმიერ წერტილში. მიუხედავად ასეთი მიღწევებისა, ადამიანს არასოდეს შეუცვლია ეკოლოგიური ნიში. მას ყოველთვის და ყველგან სჭირდება ჟანგბადი, სასმელი წყალი და საკვები. ეკოლოგიური ნიში არის საცხოვრისი; ლოკალური ვიწრო გამიჯნული ადგილსამყოფელი ეკოსისტემაში, რომელიც გარემო პირობების სპეციფიურობის გამო მასში დასახლებულ ორგანიზმებში იწვევს განსაკუთრებული შესაგუებელი ნიშნების გამომუშავებას. ტერმინი „ნიში" ფრანგულია და ქართულად ბუდეს ნიშნავს. ეკოლოგიური ნიში არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს მოიცავს მხოლოდ იმ გეოგრაფიულ სივრცეს, რომელშიც ორგანიზმები არსებობენ. ის ასრულებს აგრეთვე ფუნქციურ როლს. ორგანიზმები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან კვებით.

მეცნიერულად ტერმინი „ეკოლოგია" პირველად 1866 წელს გამოჩენილმა გერმანელმა ზოოლოგმა ერნსტ ჰეკელმა გამოიყენა ცხოველთა მიმართ თავის კაპიტალურ ნაშრომში „ორგანიზმთა ზოგადი მორფოლოგია". იგი ეკოლოგიას განმარტავს, როგორც ბიოლოგიის დარგს, რომელიც სწავლობს ორგანიზმთა გარემოს ფაქტორებთან ურთიერთობას. ანალოგიური მნიშვნელობით „ეკოლოგია" ბოტანიკაში გამოიყენა 1895 წ. ე. ვარმინგმა.

ეკოლოგიურ კელეებში აქტიურად ჩაებნენ ბოტანიკოსები და ზოოლოგები. ამასთანავე ეკოლოგიურ კელეებში აუცილებელი გახდა გენეტიკოსების, ეთოლოგების, ბიოქიმიკოსებისა და ფიზიოლოგების მონაწილეობა. ბიოლოგიური კვლევის სხვადასხვა სფეროში მიღებული შედეგების ინტერპრეტაცია უნდა განხორციელდეს თანამედროვე ევოლუციის სინთეზური თეორიის საფუძველზე.

ეკოლოგია, როგორც მეცნიერება ჩამოყალიბდა XX საუკუნის პირველ ნახევარში. არსებობს ეკოლოგიის სხვადასხვანაირი განმარტება. პოპულარული გახდა ეკოლოგიის შემდეგი დეფინიცია: ეკოლოგია ბიოლოგიის დარგია, რომელიც თანასაზოგადოების დონეზე სწავლობს ცალკეული ინდივიდებისა და პოპულაციების ურთიერთდამოკიდებულებას მათ გარემომცველ ფაქტორებთან ერთად.

გარემომცველ გარემოში იგულისხმება ფიზიკო-გეოგრაფიული კომპლექსი კლიმატური ფაქტორების ჩათვლით, რომლებიც ცოცხალ ორგანიზმებზე მოქმედებს. თავის მხრივ ცოცხალი ორგანიზმები ზემოქმედებენ გარემოზე. ცოცხალ ორგანიზმთა და გარემოს კომპონენტთა ერთობლიობა ნარმოადგენს ძირითად პირობას მიკროორგანიზმთა, მცენარეთა, ცხოველთა და მათ შორის ადამიანთა განვითარებისათვის.

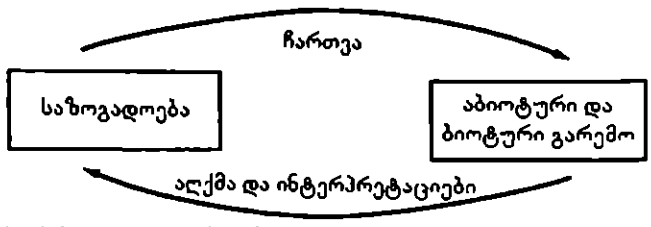
კაცობრიობის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ადამიანის პრაქტიკულ საქმიანობას. ადამიანი თავის გაჩენის დღიდან აქტიურად იჭრება ისტორიულად ჩამოყალიბებულ საარსებო გარემოში. ოპტიმალური გზების არჩევა დედამინის პროდუქტიულობის გაზრდის მიზნით და მეურნეობის პერსპექტიული დაგეგმა ბიოლოგიური მიმართულებით თხოულობს ეკოლოგიურ ცოდნას. ეს პროცესი სქემატურად ასე შეიძლება ნარმოვიდგინოთ *(სურ. 9.1)*.

XX საუკუნის მეორე ნახევარში ეკოლოგიური პრობლემატიკა გაფართოვდა და შეიჭრა ჩვენი ცხოვრების სხვადასხვა სფეროში. შეიქმნა „ადამიანის ეკოლოგია", „სამრეწველო ეკოლოგია", „სატრანსპორტო ეკოლოგია", „სოფლის მეურნეობის ეკოლოგია", „სოციალური ეკოლოგია" და სხვ.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ეკონომიკა ნარმოიქმნა იმავე ძირიდან, როგორც ეკოლოგია. ეკონო-

მიკა ნიშნავს საოჯახო მეურნეობის მართვას. ბუნებრივია, ეკოლოგია და ეკონომიკა მჭიდრო კავშირშია. ეკოლოგიური პრობლემატიკა სწორად უნდა დარეგულირდეს ეკონომიკურად.

პოპულარული გახდა გამოთქმა „კულტურის ეკოლოგია", რომლის მიზანია შეინარჩუნოს ან მონახოს გზები აღდგენის იმ კულტურული გარემოსი, რომელიც შექმნილია კაცობრიობის მიერ ისტორიულად. ასეთი გზების ძიება ნიშნავს ადამიანთა ჰუმანიტარულ განათლებას. განათლებული ადამიანი გაუფრთხილდება და არ დააზიანებს ეკოლოგიურ ლანდშაფტებს. ლანდშაფტი არის დედამიწის ზედაპირის ნაწილი, რომლისთვისაც დამახასიათებელია რელიეფის, ჰაერის, ნიადაგის, მცენარეულობის, ცხოველების გარკვეული შეხამება და განსხვავება სხვა ნაწილებისაგან.



სურ. 9.1. ურთიერთობა საზოგადოებასა და გარემოს შორის

9.2. ეკოლოგიური ფაქტორები

გარემო პირობები დადებით ან უარყოფით გაელენას ახდენს ცოცხალ ორგანიზმთა არსებობაზე. გარემოს პირობებზეა დამოკიდებული აგრეთვე ჩვენს პლანეტაზე ორგანიზმთა გეოგრაფიული განახლება. ამიტომ გარემოს საარსებო პირობები განიხილება, როგორც ეკოლოგიური ფაქტორები. ეკოლოგიური ფაქტორები მრავალფეროვანია როგორც თავისი ბუნებით, ისე ორგანიზმებზე მოქმედების ხასიათით. ზოგი ეკოლოგიური ფაქტორი პირდაპირ მოქმედებს ორგანიზმზე, ზოგი კი — ირიბად. თვითონ ორგანიზმები რეაგირებენ ეკოლოგიურ ფაქტორთა ზემოქმედებაზე და მათ ანატომიურ და ფიზიოლოგიურ შემგუებელობანი უმუშავდებათ. ძირითად ეკოლოგიურ ფაქტორთა ნუსხა ნაჩვენებია 9.1 ცხრილში. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ეკოლოგიური ფაქტორები დაყოფილია სამ ჯგუფად: აბიოტური (არაცოცხალი), ბიოტური (ცოცხალი) და ანთროპოგენური (ადამიანური).

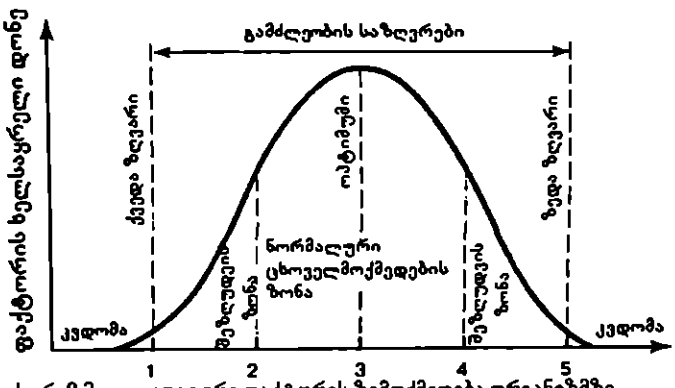
- აბიოტურ ფაქტორებად ითვლება არაცოცხალი ბუნების ის კლიმატური, რელიეფური და ნიადაგის პირობები, რომლებშიც არსებობა უხდება ცოცხალ ორგანიზმებს. აბიოტური ფაქტორები გავლენას ახდენს ორგანიზმის, პოპულაციისა და ბუნებრივი თანასაზოგადოების მდგომარეობასა და თვისებებზე.
- ბიოტურ ფაქტორებად ითვლება ცოცხალ ორგანიზმთა ერთმანეთზე ნებისმიერი ზემოქმედება. მაგალითად, მწერების მიერ მცენარეების დამტვერვა, მტაცებლობა, სიმბიოზი, პარაზიტიზმი და სხვ. ბიოტური ურთიერთდამოკიდებულებანი რთული და განსხვავებული ბუნებისაა. ის შეიძლება იყოს პირდაპირიც და ირიბიც.
- ანთროპოგენურ ფაქტორად ითვლება ადამიანის მოქმედების ყველა ის ფორმა, რომელიც ინვევს გარემოს ცვლილებებს.

ცოცხალ ორგანიზმთა საარსებო გარემოში დაბინძურდა მდინარეები, ტბები და ზღვები, მცირდება ტყის მასივები და ფართოვდება უდაბნოს საზღვრები. ატმოსფეროში კატასტროფულად მცირდება ჟანგბადის შემცველობა. ბრაკონიერები სპობენ ცხოველებს. საარსებო გარემოზე ადამიანთა ასეთმა ზემოქმედებამ ისევე ადამიანს გაუჩინა დიდი თავსატეხი, მან უნდა იზრუნოს შექმნილი პირობების გამოსწორებისათვის და შემდგომი დაცვის მიზნით მიიღოს სათანადო გადაწყვეტილებები.

ცხრილი 9.1.
ეკოლოგიური ფაქტორები

აბიოტური	ბიოტური	ანთროპოგენური
კლიმატური: სინათლე, ტემპერატურა, ტენიანობა, ჰაერის მოძრაობა, ნალექი. ქიმიური: ჰაერის გაზური შემადგენლობა, წყლის მარილიანობა და მჟავიანობა. ნიადაგი: ჰუმუსი, საკვები ელემენტების შემცველობა, სტრუქტურა. რელიეფი: სიმაღლე ზღვის დონიდან, დახრის ექსპოზიცია. რადიაცია, დედამიწის მაგნიტური ველი.	ფიტოგენური: მცენარეები. ზოოგენური: ცხოველები. მიკროორგანიზმული: ვირუსები, ბაქტერიები, უმარტივესები.	ადამიანის ის მოქმედება, რომელიც გავლენას ახდენს აბიოტურ და ბიოტურ ფაქტორებზე.

ბუნებაში ყოველი სახეობა ეოლუციის პროცესში ეგუება ეკოლოგიური ფაქტორების გარკვეულ ცვლილებებს და თავის მხრივ ზემოქმედებას ახდენს გარემოზე. მაგალითად, მცენარეული საფარი გაელენას ახდენს გარემოს ტემპერატურაზე, ცვლის ნიადაგის სტრუქტურასა და მის ქიმიურ შემადგენლობას. პოპულაციაზე ეკოლოგიური ფაქტორების ზეგავლენა მის შემადგენლობაში შემავალ ინდივიდთა რიცხვისა და საარსებო არეალის საზღვრების ცვლილებებში ვლინდება.

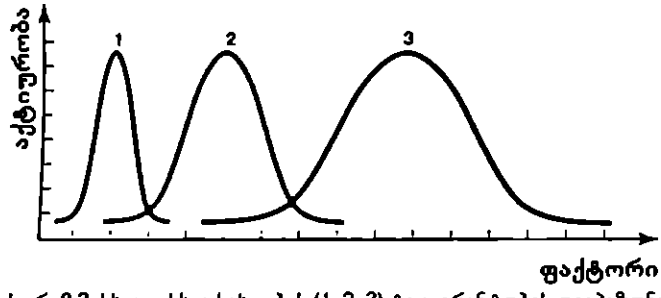


სურ. 9.2. ეკოლოგიური ფაქტორის ზემოქმედება ორგანიზმზე

ტოლერანტობა. ბუნებრივია ორგანიზმები, რომლებიც არსებობენ კონკრეტულ საარსებო პირობებში უმუშავდებათ სპეციფიური შეგუებითი ნიშნები. ორგანიზმები შეგუებლობის განსხვავებულ ტოლერანტობას ამჟღავნებენ, ტერმინი „ტოლერანტობა" ლათინურიდან შემოვიდა და ქართულად — მომთმენს ნიშნავს.

ეკოლოგიური ფაქტორის ინტენსივობის რაოდენობრივი მნიშვნელობის გავლენის ზოგადი სქემა ნაჩვენებია მეორე სურათზე *(სურ. 9.2).* ფაქტორთა ასეთ გამოსახულებას ტოლერანტობის მრუდს უწოდებენ. ფაქტორის იმ ინტენსივობას, რომელიც ყველაზე ხელსაყრელია ცხოველმოქმედებისათვის, ოპტიმალური ინტენსივობა ანუ ოპტიმუმი ეწოდება. რაც უფრო მეტად გადაიხრება ფაქტორის მნიშვნელობა, ოპტიმალური სიდიდან როგორც დაქვეითების, ისე ამაღლების მიმართულებით, მით ძლიერ ეცემა ორგანიზმის ცხოველმოქმედება. საზღვრებს, რომელთა იქით ორგანიზმის არსებობა შეუძლებელია, გამძლეობის ქვედა და ზედა ზღვარი ეწოდება. ყოველი სახეობისთვის ამა თუ იმ ფაქტორის ოპტიმალური მნიშვნელობა განსხვავებულია.

ერთი და იმავე ეკოლოგიური ფაქტორის ზემოქმედება სხვადასხვა პოპულაციაზე არაერთგვაროვნად ვლინდება *(სურ. 9.3).* სურათზე გამოსახული მრუდების გაშლილობა მიუთითებს ტოლერანტობის დიაპაზონის სიდიდეზე. ვინრო მრუდი იმის მაჩვენებელია, რომ ამ პოპულაციის ნორმალური არსებობის პირობები შეზღუდულია. მრუდი თუ გაშლილია, ის პოპულაციის ტოლერანტობის მაღალ დონეზე მიუთითებს. ასეთ პოპულაციას მოცემული ფაქტორისადმი კარგი შეგუების უნარი გააჩნია.



სურ. 9.3. სხვადასხვა სახეობის (1, 2, 3) ტოლერანტობის დიაპაზონი ერთ რომელიმე კონკრეტულ ეკოლოგიურ ფაქტორზე

ლიბიხის კანონი. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ერთი ეკოლოგიური ფაქტორის ზემოქმედება ორგანიზმზე იზოლირებულად არ მიმდინარეობს. ორგანიზმი ყოველთვის იმყოფება მრავალ ფაქტორთა ერთდროულ მოქმედების პირობებში. ნიადაგში თუ საკმაო რაოდენობითაა აზოტი, ფოსფორი და სხვა მინერალური ნივთიერებები, მაგრამ კალიუმი არ არის საკმარისი, მცენარე ნორმალურად ვითარდება მანამდე, სანამ არსებობს კალიუმი. კალიუმის გამოლევის შემდეგ კი მცენარე წყვეტს განვითარებას ან კვდება. ამგვარ ფაქტებს ყურადღება მიაქცია უ. ლიბიხმა და წამოაყენა ეკოლოგიური მინიმუმის პრინციპი, რომელსაც მის საპატივცემულოდ ლიბიხის კანონი ეწოდა. კანონის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ორგანიზმის ამტანობასა და ცხოველმოქმედებას განსაზღვრავს ისეთი ეკოლოგიური ფაქტორის ხარისხი, რომელიც ახლოა იმ მინიმუმთან, რომელიც აუცილებელია ორგანიზმისთვის. ფაქტორი მინიმუმთან შედარებით თუ დაქვეითდება, გამოიწვევს ორგანიზმის სიკვდილს ან ეკოსისტემის ნორმალური სტრუქტურის მოშლას — დესტრუქციას.

მოგვიანებით ეკოლოგიური მინიმუმის პრინციპი ანუ ლიბიხის კანონის არსი გაფართოვდა და ეკოლოგებმა წამოაყენეს „ლიმიტირებულ ფაქტორთა" ცნება. ლიმიტი არის ნორმა, რომლის ფარგლებშიც შეიძლება რისამე ხარჯვა ან რამეთი სარგებლობა. თეორეტიკოს-ეკოლოგებმა ლიბიხის ეკოლოგიურ მინიმუმს დაუმატეს მაქსიმუმის პრინციპი. ორგანიზმები იღუპებიან არა მარტო ფაქტორის მინიმალურ დონეზე დაბალ გარემოში, არამედ ფაქტორის ზედა ზღვარს გადამეტებულ პირობებშიც. ამიტომ სახეობა და პოპულაცია არსებობს და მრავლდება მხოლოდ ლიმიტირებულ ფაქტორთა ინტენსივობის ქვედა და ზედა ზღვრებს შორის. ლიმიტირებულ ფაქტორთა პრინციპი ვრცელდება ყველა ტიპის ცოცხალ ორგანიზმებზე და მოიცავს როგორც აბიოტურ, ისე ბიოტურ ფაქტორებს.

9.3. აბიოტური ფაქტორები.

სინათლე. მზის გამოსხივება არის ენერგიის ძირითადი წყარო ყველა იმ პროცესისთვის, რომელიც დედამიწაზე ხდება. დედამიწამდე მოსული მზის ენერგია განაწილებულია შემდეგნაირად: 33% აირეკლება ღრუბლებით და ატმოსფეროს მტვრით, 67% შთაინქმება ატმოსფეროში ხმელეთის ზედაპირისა და ოკეანის მიერ. დედამიწამდე მოღწეული მზის ენერგიის მხოლოდ 1% ხმარდება ფოტოსინთეზს. დანარჩენი ათბობს ატმო-

სფეროს, ხმელეთსა და ოკეანეს. აგრეთვე განიბნევა კოსმიურ სივრცეში სითბური (ინფრანითელი) გამოსხივების სახით. გამოდის, რომ დედამიწამდე მოღწეული მზის ენერგიის 1% საესებით საკმარისია არსებული მთელი ცოცხალის დასაკმაყოფილებლად.

მზის გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედება სხვადასხვაგვარი და განპირობებულია მისი სპექტრული შემადგენლობით, ინტენსივობით და, აგრეთვე, განათების დღეღამური და სეზონური პერიოდულობით. მზის გამოსხივების სპექტრში გამოიყოფა ბიოლოგიური მოქმედებით განსხვავებული სამი არე: ულტრაიისფერი, ხილული და ინფრანითელი.

ულტრაიისფერი სხივები, რომელთა ტალღის სიგრძე 0.290 მკმ-ზე ნაკლებია, დამღუპველად მოქმედებს ყველა ცოცხალ არსებაზე. სიცოცხლე დედამიწაზე მხოლოდ იმიტომ არის შესაძლებელი რომ ამ მოკლეტალღიან გამოსხივებას აკავებს ატმოსფეროს ოზონის შრე. დედამიწის ზედაპირზე აღწევს მხოლოდ უფრო გრძელი ულტრაიისფერი სხივების (0.300 — 0.400 მკმ) მცირე ნაწილი. მათ მაღალი ქიმიური აქტივობა ახასიათებს და დიდი დოზების შემთხვევაში შეუძლია ცოცხალი უჯრედები დააზიანოს. მცირე დოზით ულტრაიისფერი სხივები აუცილებელია ადამიანისა და ცხოველებისათვის. კერძოდ, ისინი ხელს უწყობს ორგანიზმში D ვიტამინის ნარმოქმნას. ზოგიერთი ცხოველი, მაგალითად, მწერები მხედველობით არჩევენ ულტრაიისფერ სხივებს.

ხილული სხივების გავლენას, რომელთა ტალღის სიგრძე 0.400-დან 0.750 მკმ-მდეა, რომელთა ნილად მოდის დედამიწის ზედაპირამდე მოღწეული მზის გამოსხივებული ენერგიის დიდი ნაწილი, განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ორგანიზმებისათვის.

მწვანე მცენარეები ასინთეზებენ ორგანულ ნივთიერებას, მაშასადამე, საკვებსაც ყველა დანარჩენი ორგანიზმისთვის სპექტრის სნორედ ამ ნაწილის ენერგიის ხარჯზე.

მიუხედავად ამისა, ზოგიერთი ცხოველისა და უქლოროფილო მცენარის არსებობისათვის სინათლე არ არის აუცილებელი პირობა. ნიადაგის, მღვიმეებისა და ღრმა ნყლების ბევრი სახეობა შეგუებულია სრული სიბნელის პირობებში სოცოცხლეს. ცხოველთა დიდი უმრავლესობისათვის ხილული სინათლე გარემოს ერთერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია.

ცხოველთა უმრავლესობა კარგად არჩევს სინათლის სპექტრულ შედგენილობას, ე. ი. აქვს ფერთა ხედვა. ცხოველებში სხვადასხვა შეფერილობის განეითარებასთან ერთად მხედველობაც უმჯობესდებოდა, რაც ეხმარება მათ მტრებისაგან თავის დაღწევისა და თავისივე სახეობის ინდივიდთა გამოცნობაში. მცენარეებში გაჩნდა მკაფიო შეფერილობის ყვავილები, რომლებიც იზიდავს დამმტვერაეებს, რამაც გაადვილა ჯვარედინი დამტვერვა.

0.750 მკმ სიგრძის ტალღის მქონე ინფრანითელი სხივები, რომლებიც ადამიანის თვალისათვის უხილავია, სითბური ენერგიის მნიშვნელოვანი წყაროა. ამ სხივებით განსაკუთრებით მდიდარია მზის პირდაპირი სინათლე. ამ გრძელტალღიანი გამოსხივების შთანთქმის შედეგად ცხოველთა და მცენარეთა ქსოვილები თბება. ბევრი ცივსისხლიანი ცხოველი (ხვლიკები, გველები, მწერები) მზის სინათლეს სხეულის ტემპერატურის ასამაღლებლად იყენებს.

სინათლის პირობებს ბუნებაში მკვეთრად გამოხატული დღეღამური და სეზონური პერიოდულობა ახასიათებს, რაც დედამიწის ბრუნვითაა განპირობებული.

განათების დღეღამურ რიტმთან დაკავშირებით, ცხოველებს წარმოექმნათ მრავალრიცხოვანი შეგუებულობა დღისა და ღამის სასიცოცხლო ნირისადმი. ყოველი სახეობის აქტივობა დღე-ღამის განსაზღრულ საათებს ემთხვევა. დღე-ღამის განსაზღვრულ საათებში ბევრ მცენარეს ეშლება ყვავილები, ხოლო ზოგიერთს ემჩნევა ფოთლების დღეღამური მოძრაობა (მაგალითად, ზოგიერთ პარკოსანს). მცენარეებსა და ცხოველებში თითქმის ყველა ფიზიოლოგიურ პროცესს აქვს დღეღამური რიტმი, მაქსიმუმითა და მინიმუმით განსაზღვრულ საათებში.

ტემპერატურა. მრავალი სახეობა შეგუებულია ტემპერატურის დიაპაზონის პატარა ცვლილებას. ზოგიერთი ორგანიზმი განსაკუთრებით მოსვენების სტადიაში იტანს დაბალ ტემპერატურას. მაგალითად, ზოგიერთი მიკროორგანიზმი უძლებს ტემპერატურის დაწევას -200°C. ზოგიერთი ბაქტერია და წყალმცენარე მრავლდება +88°C.

ორგანიზმში მიმდინარე ყველა ქიმიური პროცესი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ამიტომ ბუნებრივია, რომ სითბური პირობების დიდი ცვლილებები, რომლებიც ბუნებაში ხშირად შეინიშნება, დიდ გავლენას ახდენს ცხოველთა და მცენარეთა ზრდაზე, განვითარებისა და ცხოველქმედების სხვა გამოვლინებებზე. გარე ტემპერატურაზე ასეთი დამოკიდებულება განსაკუთრებით აშკარადაა გამოხატული იმ ორგანიზმებში, რომლებსაც არ შეუძლიათ სხეულის მუდმივი ტემპერატურის შენარჩუნება, ე. ი. ყველა მცენარესა და ცხოველთა უმრავლესობაში ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების გარდა, ხმელეთის მცენარეთა და ცხოველთა დიდი უმეტესობა აქტიური ცხოველქმედების მდგომარეობაში ვერ იტანს უარყოფით ტემპერატურას და იღუპება.

გამძლეობის ზედა ტემპერატურული ზღვარი ერთნაირი არ არის სხვადასხვა სახეობისათვის, მაგრამ იშვიათად აღემატება 40-45°C. სახეობათა მხოლოდ მცირე რიცხვია შეგუებული შედარებით მაღალი ტემპერატურის პირობებში სიცოცხლეს. ასე მაგალითად, ცხელ წყაროებში ზოგიერთი მოლუსკი ცოცხლობს ნყლის 53°C-მდე ტემპერატურის პირობებში, ლომბუზების ლარვები -6°C-ის დროს, ხოლო ზოგიერთი -70 -90°C ტემპერატურაზე.

ოპტიმალური ტემპერატურა დამოკიდებულია იმ პირობებზე, რომლებშიც სახეობა ბინადრობს და რომელსაც ის შეეგუა ბუნებრივი გადარჩევის საფუძველზე წინა ეეოლუციის განმავლობაში. ხმელეთის ცხოველ-

თა დიდი ნაწილისა და მცენარეებისათვის იგი საკმაოდ ვიწრო ფარგლებში (15-30°C) მერყეობს.

ორგანიზმებში, რომლებსაც სხეულის არამუდმივი ტემპერატურა აქვთ, გარემოს ტემპერატურის აწევა მათი ფიზიოლოგიური პროცესების: ნივთიერებათა ცვლის, ზრდის, განვითარებისა და სხვ., აჩქარებას იწვევს. ამიტომ განსაზღვრულ ფარგლებამდე, რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო მცირეა დრო, რომელიც საჭიროა ცალკეული სტადიის ან მთელი სასიცოცხლო ციკლის განსავითარებლად.

თუ ცდების საშუალებით დავადგენთ სხვადასხვა ტემპერატურაზე მოცემული სახეობის მცენარის ან ცხოველის განვითარების ხანგრძლივობას, მაშინ შეიძლება საკმაო სიზუსტით განვსაზღვროთ ბუნებრივ ეითარებაში განვითარების მოსალოდნელი ვადები.

ევოლუციის პროცესში ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს გამოუმუშავდებათ თერმორეგულაციის ანუ თავიანთი სხეულის მუდმივი ტემპერატურის შენარჩუნების უნარი. ეს მეტად მნიშვნელოვანი შეგუებაა, რომელმაც უზრუნველყო გარემოს თერმული პირობებისაგან უმაღლესი ცხოველების დამოუკიდებლობა, ე. ი. მათ შეიძინეს სხვადასხვა ტემპერატურის დროს აქტიური არსებობის უნარი. ფრინველთა უმეტეს ნაწილს სხეულის ტემპერატურა 40°C რამდენადმე მაღალი აქვს, ხოლო ძუძუმწოვრებს — რამდენადმე დაბალი. იგი შენარჩუნებულია ყოველთვის მუდმივ დონეზე გარემოს ტემპერატურის მერყეობის მიუხედავად.

გარემოს ცვალებად პირობებში ცხოველთა არსებობისათვის მნიშვნელოვანია არა მარტო თერმორეგულაციის უნარი, არამედ ქცევაც, შედარებით ხელსაყრელი ტემპერატურის მქონე ადგილების შერჩევა, აქტივობა დღე-ღამის განსაზღვრულ დროს, სპეციალური თავშესაფარისა და ბუდეების აგება.

ტენიანობა. წყალი უაღრესად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ორგანიზმის ცხოველქმედებაში. ამიტომ წყლის რაოდენობის საკმაოდ მუდმივ დონეზე შენარჩუნება ყოველი ორგანიზმის ერთ-ერთი ძირითადი ფიზიოლოგიური ფუნქციაა.

ხმელეთის ორგანიზმისათვის ტენიანობის, როგორც ეკოლოგიური ფაქტორის როლი, იმითაა განპირობებული, რომ ნალექები (შესაბამისად ჰაერისა და ნიადაგის ტენიანობა) დედამიწის ზედაპირზე წყლის განმავლობაში ძალიან არათანაბრად ნაწილდება. რადგან ხმელეთის ცხოველთა და მცენარეთა უმეტესობა ტენის მოყვარულია, ამიტომ ტენიანობის ნაკლებობა ხშირად ზღუდავს მათ ცხოველმყოფელობასა და გავრცელებას.

ევოლუციის პროცესში ორგანიზმებს გამოუმუშავდათ სხვადასხვა შეგუებულობა ტენის ეკონომიურად დასახარჯად და გარემოდან მის მოსაპოვებლად (უდაბნოსა და ნახევრად უდაბნოს, აგრეთვე გვალვიანი სტეპების მცენარეები და ცხოველები), წლის გვალვიან პერიოდში ფიზიოლოგიური სვენების მდგომარეობაში გადასასვლელად და სხვ. მაგალითად, უდაბნოს მრავალწლიან მცენარეებს აქვთ მძლავრად განვითარებული ფესვები, რომლებიც ზოგჯერ ძალიან გრძელია (ცერცველას ფესვი 16 მეტრამდეა) და ტენიან ფენას აღწევენ, ან ძალზე დატოტიანებულია.

უდაბნოს მთელ რიგ მცენარეში შეირჩევა ფოთლის საფარველი ქსოვილის გასქელება, ხოლო მცენარის ზედაპირზე ცვილის ფენის ან შებუსულობის განვითარება, აგრეთვე ფოთლის ფირფიტის შემცირება და ფოთლების ეკლებად გადაქცევა, ხშირად კი ფოთლების სრული დაკარგვა (საქსაული, ჯუზღუნი, იალღუნი და სხვ.). ყოველივე ეს ხელს უწყობს წყლის აორთქლების შემცირებას.

უდაბნოს ზოგიერთი ცხოველი გამოირჩევა სწრაფი და ხანგრძლივი სირბილის უნარით, რაც მათ წყლის დასალევად შორეული მიგრაციის საშუალებას აძლევს (კულანი, აქლემი, ანტილოპა, ქურციკი, საიგა). უდაბნოს ცხოველთა უმრავლესობას შეუძლია სასმელი წყლის გარეშე გაძლოს. მღრღნელები, ქვეწარმავლები, მწერები და სხვა ნვრილი ცხოველები წყალს საკვებიდან ღებულობენ. ზოგიერთ ცხოველს წყალი ორგანიზმში წარმოექმნება დაჟანგვითი რეაქციების შედეგად. ასეთ წყალს დიდი რაოდენობით იძლევა ცხიმის დაჟანგვა (100-110გ წყალი 100გ ცხიმზე). ამიტომ უდაბნოს ბევრი ბინადარისათვის დამახასიათებელია ცხიმის ჭარბი მარაგი, რომელიც მათ ორგანიზმში წყლის თავისებური რეზერვია. ასეთია, მაგალითად, აქლემის კუზი, მღრღნელებში კანქვეშ ცხიმის დაგროვება. აორთქლების გზით წყლის დაკარგვისაგან ცხოველებს იცავს სხეულის ნაკლებად შეღწევადი გარეთა საფარველი. მნიშვნელოვან როლს ასრულებს აგრეთვე ქცევის თავისებურებანი: უდაბნოს მკვიდრთა უმეტესობა გაურბის როგორც სხეულის გადახურებას, ისე ჰაერის გამომშრობ მოქმედებას და ღამის ცხოვრების ნირზე გადადის ან სოროებში იმალება.

ტენის ნაკლებობისადმი სხვა ტიპის შეგუებანი გამოუმუშავდა ბევრ მცენარესა და ცხოველს, რომლებიც ისეთ ადგილებში ბინადრობენ, სადაც სიმშრალე პერიოდულია. მათ გამოუმუშავდათ ფიზიოლოგიური სვენების განსაკუთრებული მდგომარეობა, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ზრდისა და განვითარების შეჩერება, ნივთიერებათა ცვლის მკვეთრი დაქვეითება, ხოლო ცხოველებში მეტ-ნაკლები სისრულით მამოძრავებელი აქტივობისა და კვების შეწყვეტა. უდაბნოს ზოგიერთი მღრღნელი კი ცხელი და მშრალი პერიოდების დადგომისთანავე, როცა მცენარეულობა გადაიწვება, ზაფხულის ძილს ეძლევა, რაც რამდენიმე თვეს გრძელდება.

მრავალწლიან მცენარეებში ზაფხულის სვენების მდგომარეობას ხშირად თან ახლავს ფოთოლცვენა ან მიწისზედა ნაწილების სრული კვდომა, რაც უდაბნოს ბევრი მცენარისათვის არის დამახასიათებელი.

ნიადაგი გიგანტური ეკოლოგიური სისტემაა. იგი მსოფლიო ოკეანესთან ერთად გავლენას ახდენს მთელ ბიოსფეროზე. ნიადაგი აქტიურ როლს თამაშობს ბუნებაში ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლაში. მონაწილეობს ატმოსფეროს აიროვანი შემადგენლობის მდგრადობაში.

ნიადაგი დედამიწის ქერქის ზედა ფენაა. წარმოქმნილია ლითოსფეროს ზედა შრისაგან წყლის, ჰაერის, კლიმატური ფაქტორების, ცოცხალი და მკვდარი ორგანიზმების, აგრეთვე დედამიწის გრავიტაციული ველის ერთობლივი მოქმედებით. ნიადაგის ჩამოყალიბება რთული და ხანგრძლივი პროცესია. დამოუკიდებელია რე-

ლიეფის და გეოლოგიურ თავისებურებებზე. ერთი სანტიმეტრი სისქის ნიადაგის წარმოქმნას ხშირად ასეული წლები სჭირდებოდა. ნიადაგის წარმოქმნა დაწყებულია 450 მილიონი წლის წინათ. ეს ის პერიოდია, როდესაც პირველადი ოკეანედან ორგანიზმები ხმელეთზე იწყებენ გამოსვლას.

სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების ნიადაგის შემადგენლობა და თვისებები განსხვავებულია. განსხვავებულია ნიადაგის ცალკე ფენებიც. ნიადაგის ვერტიკალურ ჭრილში მკაფიოდ გამოიყოფა რამდენიმე ჰორიზონტალური ფენა, რასაც ნიადაგის პროფილი ჰქვია. ნიადაგის პროფილი ოთხ ზონიანია. ზედა ფენა (15-20 სმ სიღრმემდე) გამოირჩევა თავისი მუქი მოშაო ფერით. მას ჰუმუსის ზონა ეწოდება. ჰუმუსი ხელს უწყობს ნიადაგის სიფხვიერის შენარჩუნებას და წყლის დაკავებას, რომელიც პირობით აღინიშნება A-თი (აკუმულაციის ფენაა), მეორე ფენა გარდამავალია ჰუმუსიანსა და მესამე ფენას შორის. მისი პირობითი ნიშანია B. გამორეცხვის ფენაა, მისი სისქე მერყეობს 20-30 სმ ფარგლებში ანუ ზედაპირიდან 35-50 სმ სიმაღლემდე. მეორე ფენას უფრო ღრმად მოპოვება ნიადაგის ჩარეცხვის ჰორიზონტი, რომელიც ვრცელდება 80-100 სმ სიღრმემდე. მესამე ფენის ქვეშ მოთავსებულია მეოთხე ქვეფენილი. ნიადაგის ოთხ ჰორიზონტად დანაწილება პირობითია. ზოგიერთ ნიადაგში მეოთხე ზონა არც არსებობს. ჰორიზონტალურ ფენათა სისქეც ცვალებადია. ეაკე ადგილზე ნიადაგის სისქე მეტია, ვიდრე ფერდობზე. ნიადაგის სისქის ქვეშ იგულისხმება უმთავრესად ფხვიერი მასის სისქე, რაც დამოკიდებულია ნიადაგის განვითარების ხარისხზე. ძლიერ ჩამორეცხილ ნიადაგებს შეიძლება არც ეს ჰორიზონტები ჰქონდეს და ზედაპირზე იყოს გაშიშვლებული თითქმის დაუშლელი ქანი.

XX საუკუნის 80-იან წლებში დახნული და დამუშავებული იყო 1.5 მილიარდი ჰექტარი ნიადაგი, რომელიც შეადგენს 10.8%-ს მთელი პოტენციურად გამოსაყენებელ ფართობს დედამიწის ხმელეთისას. ეკოლოგიის პრობლემას წარმოადგენს ნიადაგის ბუნების სწორი გაგება, მისი შემადგენელობა-თვისებების შესაბამისად რაციონალური გამოყენება და იმ ღონისძიეათა დადგენა და გატარება, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია ნიადაგის მაღალი ეფექტური ნაყოფიერების მიღწევა.

გარემოს მარილიანობა. გარემოს აბიოტურ ფაქტორებს მიეკუთვნება წყლისა და ნიადაგის მარილიანობა. გარემოს მარილიანობას უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ისეთი ცხოველებისათვის, რომელთა საარსებო გარემოს წყალი წარმოადგენს.

ყველაზე მარილიან წყალსაცავად მიიჩნეოდა მკვდარი ზღვა, რომლის ერთი ლიტრი წყალი შეიცავს 340 გრამ მარილს. აღმოჩნდა, რომ აფრიკულ რესპუბლიკა ჯიბუტში არსებულ ასალის ტბაში ერთი ლიტრი წყალი შეიცავს 400 გრამ მარილს.

ოკეანის წყლის მარილიანობა 3,5 %-ია, შედარებით დაბალია მარილიანობა ბალტიის, შავ, აზოვის, კასპიის და ჩრდილოეთის ზოგიერთ ზღვებში, აქ მარილაინობაბ 1,8 — 0,5%-ია. ოკეანეებისა და შედარებით ნაკლებ მარილაინი ზღვების ფაუნა შესამჩნევად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ასე მაგალითად, კასპიისა და ბალტიის ზღვებში გავრცელებული ცხოველთა ბევრი სახეობა ოკეანის წყლებში არ გვხედება. შედარებით ნაკლებადაა გავრცელებული ეს სახეობები მტკნარ წყლებშიც.

განსაკუთრებით მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან ოკეანეებისა და მტკნარი წყლების ფაუნა. მტკნარ წყლებში გავრცელებულ სახეობათა უმეტესობას ოკეანის წყალში არსებობა არ შეუძლია და პირიქით. მხოლოდ ზოგიერთ თევზებსა და კიბოსნაირებს თავისი სიცოცხლის სხვადასხეა პერიოდში შეუძლიათ იარსებონ როგორც მლაშე, ასევე მტკნარ წყალში, მაგალითად, სამნემსა მახათას შეუძლია არსებობა როგორც მტკნარ წყალში, ისე მლაშე ტბებსა და ზღვებშიც კი. ისეთ თევზებს, რომლებიც სიცოცხლის უმეტეს ნანილს ზღვაში ატარებენ, ხოლო ქვირითის დასაყრელად ზღვიდან მდინარეებში შედის, გამსელელი თევზები ეწოდება. მათ რიცხვს მიეკუთვნება სხვადასხვა ზუთხისებრი და ორაგულისებრი თევზი, ზოგიერთი ქაშაყი და სხე.

გარემოს მარილიანობის დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ბაქტერიებისა და მცენარეებისათვის — ზოგიერთ ბაქტერიას არსებობა შეუძლია მხოლოდ სუფრის მარილის გაჯერებულ ხსნარებში, ზღვის წყალმცენარეებს არ შეუძლია არსებობა მტკნარ წყლებში და პირიქით.

ხმელეთის მცენარეებისათვის უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის მარილიანობას. უმაღლეს მცენარეთა მხოლოდ მცირე ნანილია შეგუებული ნიადაგის მაღალ მარილიანობას და იზრდება ისეთ ნიადაგებზე, რომელთა მარილიანობა 1-2%-ია, ასეთ მცენარეებს ჰალოფიტები ეწოდებათ /პალოს ბერძნულად მარილს ნიშნავს, ფიტოს — მცენარეს/. ჰალოფიტების უმეტესობას, სხვა მცენარეებთან შედარებით, გამოშუშავებული აქვთ სხვადასხვა შეგუებულობანი, მაგალითად, მათ ახასიათებთ გაზრდილი სიცხეგამძლეობა, შეცვლილია მათი წყლის რეჟიმიც. ჰალოფიტების უჯრედებში დაქვეითებულია პროტოპლაზმის განელადობა მარილებისათვის. ისინი კიდევ სხვა მრავალი ნიშან-თვისებით განსხვავდებიან სხვა მცეანრეებისაგან.

ჰალოფიტების წარმომადგენელია მცენარე ხურხუმო. იგი ერთწლიანი ბალახოვანი მცენარეა, მისი სიმაღლე 10-30 სმ-ია. ხურხუმო დასახსრულია და ნიადაგიდან შეწოვილი მარილების ჭარბ რაოდენობას სახსრებში აგროვებს. პერიოდულად მას ეს სახსრები სცვივა და ასე თაეისუფლდება მცენარე მარილებისაგან. მლაშე ნიადაგებზე იზრდება მცენარე შოქორნის ცოცხი. მას ფოთლები ფესვებთან ახლოს აქვს განლაგებული. ცხელ მზიან დღეებში ფოთლებზე შეიმჩნევა თეთრი ნაფიფქი, ეს ჭარბი მარილებია, რომლებიც ფოთლების ზედაპირზე განსაკუთრებული ჯირკვლების საშუალებით გამოიყოფა. შემდეგ კი ნვიმის წყლით ჩამოირეცხება.

9.4. პოპულაციის ეკოლოგიური დახასიათება

პოპულაცია სახეობისა და ეკოლუციის ელემენტარული ერთეულია. პოპულაციის ეკოლოგიურ დახასიათებას ახდენენ: დაკავებული ტერიტორიით – არეალის მონაკვეთით, რიცხოვნობით, ასაკობრივი და სქესობრივი შემადგენლობით, ასევე პოპულაციის დინამიკით.

ყოველ პოპულაციას სახეობის გავრცელების არეალში გარკვეული ტერიტორია უჭირავს და აქვს სივრცობრივი სტრუქტურა. ნებისმიერ ტერიტორიაზე სასიცოცხლო რესურსები შეზღუდულია და ინდივიდთა მხოლოდ განსაზღვრულ რაოდენობას შეუძლია არსებობა. შეიძლება პოპულაციამ არეალი განავრცოს, მაგრამ მან ახალი ტერიტორია უნდა აითვისოს. ეს იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ ტერიტორია პოპულაციის აუცილებელი ნიში გახდება. დაკავებული ტერიტორიით – არეალით განსხვავდებიან როგორც სხვადასხვა, ისე ერთი და იმავე სახეობის პოპულაციები. მაგ., მარდი ხვლიკის (Lacerta agilis) ერთმა პოპულაციამ შეიძლება 0,1-დან რამდენიმე ათეულ ჰექტარამდე ტერიტორია დაიკავოს*; წყლის მემინდვრიამ (rvicola terrestris) - 1-დან რამდენიმე ათეულ ჰექტარამდე.

ნებისმიერ პოპულაციას ყოველთვის ახასიათებს ინდივიდთა ინდივიდური გადაადგილების სპექტრი. ინდივიდთა ნაწილი მუდმივად რჩება გაჩენის ადგილზე, ნაწილი კი სხვადასხვა მანძილით გადაადგილდება. არეალის სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ინდივიდთა გავრცელების ხარისხზე – ინდივიდურ ანუ რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსზე. თუ ასეთი რადიუსი მცირეა, მაშინ პოპულაციის არეალიც მცირეა და პირუკუ. მაგ., თხუნელას (Scapanus townsedi) რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსი 300 მ-ია, ჩვეულებრივი მელიის (Vulpes vulpes) _ 100000 მ, მარდი ხვლიკის — 200 მ. მცენარეებში რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსი განისაზღვრება იმ მანძილით, რომელზეც ვრცელდება მტვრის მარცვლები, თესლი, სპორები ან გამრაველების უნარის მქონე ვეგეტატიური ნაწილები.

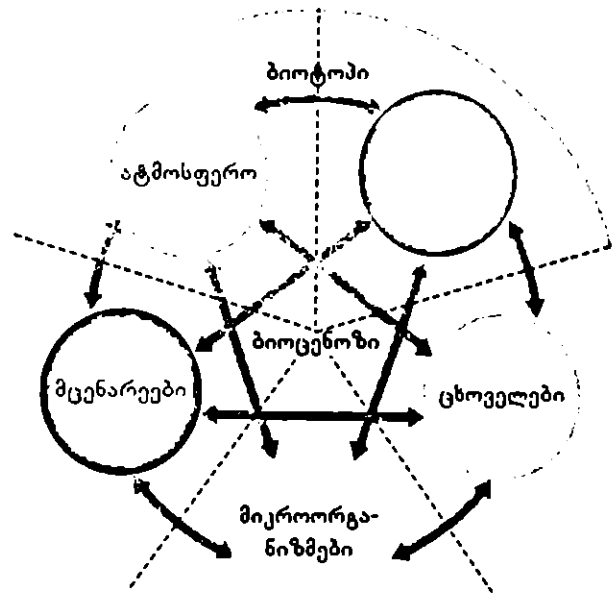
უმეტეს შემთხვევაში ტროფული და რეპროდუქციული (ტერიტორია, რომელზეც ინდივიდი მრავლდება) არეალი ერთმანეთს არ ემთხვევა. მაგ., ორაგული ზღვაში ბინადრობს, ხოლო მათი ტოფობა მდინარეებში მიმდინარეობს. მიმომფრენ ფრინველებს დიდი ტროფული არეალი აქვს, ხოლო რეპროდუქციული კი მცირე. მაგ., თეთრი წერო (Ciconia ciconia) ზაფხულს ევროპაში ატარებს, ხოლო ზამთრობს აფრიკაში. იგი მონოგამური ფრინველია და თითოეული წყვილი ევროპაში თავის ძველ ბუდეს უბრუნდება. მართალია, ზამთრობისას მრავალი ფორმა ერთმანეთს ერევა, მაგრამ გამრავლებისას მცირე ტერიტორია უკავია.

რიცხოვნობა (ინდივიდთა რაოდენობა კონკრეტულ ტერიტორიაზე) პოპულაციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. პოპულაციის არეალის ფართობის შესაბამისად რიცხოვნობა მნიშვნელოვნად შეიძლება შეიცვალოს. ნორმალურ პირობებში ნებისმიერ პოპულაციას რიცხოვნობის სპეციფიკური სიდიდე გააჩნია. მაგ., თბილისის მიდამოების ტერიტორიაზე მობინადრე ჩვეულებრივი ტრიტონის რიცხოვნობა ასეულიდან 1500-მდე ინდივიდს შეადგენს, ხოლო სავარცხლიანი ტრიტონისა რამდენიმე ათეულს არ აღემატება. მწერებისა და ზოგიერთი მცირე ზომის მცენარეთა პოპულაციებში ინდივიდთა რიცხოვნობა ზოგჯერ ათეულ ათასს და რამდენიმე მილიონსაც აღწევს. პოპულაციის რიცხოვნობას უკავშირდება მინიმალური რიცხოვნობის პრობლემა. მინიმალური რიცხოვნობა ეს ის ზღვრული რაოდენობაა, რომლის შემდეგაც ინდივიდთა რიცხვის შემცირება ეკოლოგიურ-გენეტიკური მიზეზების გამო პოპულაციის გადაშენებას იწვევს. ეს მაჩვენებელი სხვადასხვა სახეობისათვის განსხვავებული და სპეციფიკურია. შეუძლებლადაა მიჩნეული ისეთი პოპულაციების ეკოლუციურად ხანგრძლივი არსებობა, რომელთა ნევრები რამდენიმე ასეულზე ნაკლებია. მაგ., ამურის ვეფხვი ერთი პოპულაციისაგან შედგება, რომელშიც 200-მდე ინდივიდია. მიუხედავად დაცვის მკაცრი ზომებისა, შემთხვევითმა (სტოქასტურმა) ფაქტორებმა (ხანძარი, წყალდიდობა და სხვ.) შეიძლება ამ რიცხვის შემცირება გამოიწვიოს, ერთეულმა ინდივიდებმა გამრავლების პერიოდში საჭირო სიხშირით ერთიმეორე ველარ იპოვონ და რამდენიმე თაობაში ამოწყდნენ. ამ მდგომარეობაში შეიძლება აღმოჩნდეს მრავალი იშვიათი მცენარე და ცხოველი.

პოპულაციის დინამიკის ეკოლუციურ მნიშვნელობას პირველად ყურადღება ს. ჩეტვერიკოვმა (1905) მიაქცია. პოპულაციაში რიცხოვნობის მერყეობას (ფლუქტუაციას) მან „პოპულაციის ტალღები“ უწოდა. იგი ეკოლუციის პროცესში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს (იხ. 11.5). პოპულაციის რიცხოვნობა სივრცესა და დროში პერიოდულად მერყეობს. მას მრავალი აბიოტური და ბიოტური ფაქტორი იწვევს. რიცხოვნობის ფლუქტუაციას შეიძლება ციკლური ან აციკლური ხასიათი ჰქონდეს. ინგლისის ერთ-ერთ პატარა კუნძულზე ველურად ბინადრობს ბოცვერი (Ryctolagus cuniculus). მთელი წლის განმავლობაში უხვი საკვების მოპოვებით შემოდგომით ინდივიდებმა მაქსიმალურ რაოდენობას 10000-ს მიაღწია ერთხელ მკაცრმა ზამთარმა და საკვების ნაკლებობამ მათი რაოდენობა 100-მდე შეამცირა. რიცხოვნობის მკვეთრი სეზონური მერყეობა აღინიშნება უხერხემლო ცხოველებში — ბუზები, კოლოები და სხვ.

პოპულაციას აქვს ასაკობრივი სტრუქტურა. ამრიგად, პოპულაცია დიფერენცირებულია როგორც სივრცეში (არეალი), ისე დროში (შედგება სხვადასხვა ასაკის ინდივიდებისაგან). ზოგჯერ სახეობის შემადგენელ ცალკეულ პოპულაციას მისთვის ნიშანდობლივი ასაკობრივი თანაფარდობა ახასიათებს. ამ თანაფარდობაზე მოქმედებს ორგანიზმთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა, გამრავლების ინტენსიობა, თუ როდის აღნევენ სქესობრივ სიმწიფეს და სხვ. სწრაფად მზარდი პოპულაციები ძირითადად ახალგაზრდა ინდივიდებისაგან შედგება. სტაციონალურ პოპულაციებში ყველა ასაკის ჯგუფები გვხვდება და მათი თანაფარდობა თითქმის თანაბარია. კლებადი რიცხოვნობის პოპულაციებში ხანდაზმული ჯგუფები ჭარბობენ. მცენარეთა და ცხოველთა

პოპულაციებში ძირითადად სამ ეკოლოგიურ ასაკობრივ ჯგუფს გამოყოფენ: პრერეპროდუქციულს, რეპროდუქციულსა და პოსტრეპროდუქციულს. ადამიანში ასაკობრივი ჯგუფების თანაფარდობა თანაბარია და თითოეული მათგანის ხანგრძლივობა დაახლოებით 13 შეადგენს. მარტივია ბიგას (Sorex) ასაკობრივი სტრუქტურა. ისინი გაზაფხულზე ერთ ან ორ ნაყარს იძლევიან. ზრდასრულები მალე იღუპებიან, შემოდგომაზე მხოლოდ სქესობრივად მოუმწიფებელი ინდივიდებისაგან შედგებიან. გაზაფხულზე ყველა გამოზამთრებული ინდივიდი სქესობრივად მწიფდება და ციკლი კვლავ მეორდება. ზოგიერთი მწერის ლარვული პერიოდი გახანგრძლივებულია და ერთიდან რამდენიმე წლამდე გრძელდება, ზრდასრულის კი – რამდენიმე დღეს. ირმების პოპულაცია რამდენიმე ასაკობრივი ჯგუფისაგან შედგება. მუხნარში ერთდროულად სხვადასხვა ასაკის მცენარეები გვხვდება. ახალგაზრდა 20 წლიანმა მცენარემ შეიძლება დამტვეროს 1000 წლოვანი (მშობელი) ინდივიდი.



სურ. 9.4. ეკოსისტემის სქემა

ერთი შეხედვით, სქესის მიხედვით თანაფარდობის შესწავლა მნიშვნელოვანია მხოლოდ ცალსქესიან ცხოველებსა და ორსახლიანი მცენარეების პოპულაციებში. თითქოს მას მნიშვნელობა არ უნდა ჰქონდეს აგამურ, ჰერმაფროდიტ და პართენოგენეზულ პოპულაციებისთვის. ასეთი შეხედულება მცდარია, რადგან აგამურ ფორმებში აღმოჩენილია სქესობრივი პროცესის თავისებური ვარიანტები, ჰერმაფროდიტებში ობლიგატური თვითგანაყოფიერება მეტად იშვიათია, ხოლო ზოგიერთ პართენოგენეზულ პოპულაციებში აღმოჩენილია მამრები. ყოველივე ეს იმაზე მიგვანიშნებს, რომ სქესთა თანაფარდობა პოპულაციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია.

პოპულაციაში არჩევენ სქესის სამი სახის თანაფარდობას. პირველადი თანაფარდობა ზიგოტების წარმოქმნისას ყალიბდება და მას გენეტიკური მექანიზმები განსაზღვრავენ. დათიშვა სქესის მიხედვით არის თანაფარდობით 1:1. მამრობითი და მდედრობითი სქესის განსხვავებული სიცოცხლის უნარიანობის გამო მეორადი თანაფარდობა (დაბადებულ ან გამოჩეკილ ინდივიდებს შორის) განსხვაედება პირველადისაგან. მესამეული თანაფარდობა სქესობრივად მომწიფებული ინდივიდებისათვისაა დამახასიათებელი. მაგ., ადამიანებში ყოველ ახალშობილ 100 ქალზე 106 ვაჟი მოდის (მეორადი თანაფარდობა). 16-18 წლის ასაკში ეს თანაფარდობა თანაბრდება, 50 წლის ასაკში ყოველ 100 ქალზე 85 მამაკაცი მოდის, ხოლო 80 წლის ასაკში ყოველ 100 ქალზე 50 მამაკაცი.

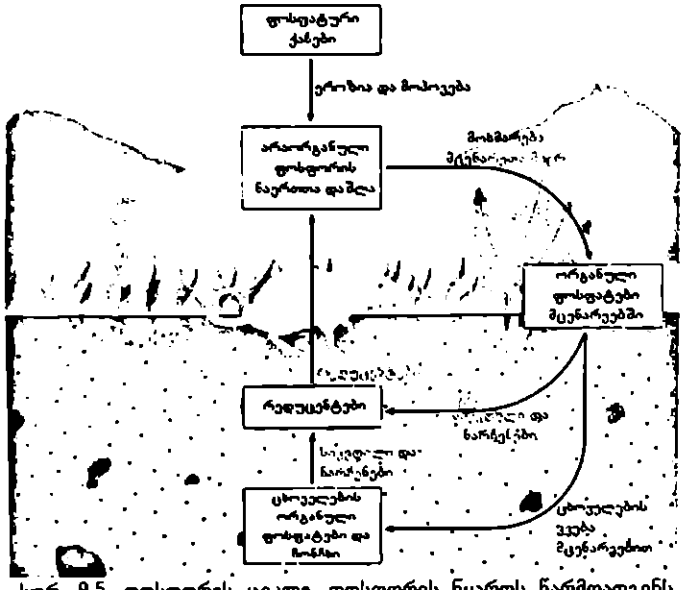
ცხოველებისა და მცენარეების პოპულაციებში სქესის მეორეული და მესამეული თანაფარდობა ხშირად მნიშვნელოვან ფარგლებში ვარირებს. ზოგიერთ მწერში რთული გენეტიკური პროცესების შედეგად მამრების ელიმინაცია ხდება და პოპულაცია მხოლოდ მდედრებისაგან შედგება. ასევე ზოგიერთი პართენოგენეზურ პოპულაციებში მხოლოდ მდედრები გვხვდება. სქესთა თანაფარდობაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს გარემო პირობები (ე. წ. ეპიგამური ანუ მოდიფიკაციური სქესის განსაზღვრა), რომელიც ჩვენ არისემასა და ბონელიაში უკვე განვიხილეთ.

9.5. ეკოსისტემა

ეკოსისტემა არის ცოცხალი ორგანიზმებისა და მათი სასიცოცხლო გარემოს ფუნქციური ურთიერთდამოკიდებულების შედეგად შექმნილი ერთიანი სისტემა. ტერმინი შემოტანილია 1935 წელს ინგლისელი ეკოლოგის ა. ტენსლის მიერ. იგი ეკოსისტემას მიიჩნევდა დედამიწის ზედაპირზე არსებულ ძირითად ბუნებრივ ერთეულად. ეკოსისტემაში ნივთიერებათა ცვლა მიმდინარეობს არა მარტო ორგანიზმებში, არამედ არაცოცხალ ბუნებაშიც. ეკოსისტემა თვითრეგულირებადი ღია სისტემაა *(სურ. 9.4)*. არსებობს შემადგენლობის სირთულისა და განსხვავებული სიდიდის ეკოსისტემები.

ეკოსისტემაში შემავალ სხვადასხვა სახეობათა ერთობლიობას, რომლებიც ერთად არსებობენ ორგანიზმთა თანასაზოგადოება ანუ ბიოცენოზი ეწოდება. ტერიტორიას, რომელსაც იკავებს ბიოცენოზი ყველა აბიოტურ ფაქტორებთან ერთად ბიოტოპი (სიცოცხლის ადგილი) ენოდება.

ეკოსისტემა არის მთლიანი-თვითნარმომქმნელი სისტემა. ცოცხალ ორგანიზმთა თანასაზოგადოება და



სურ. 9.5. ფოსფორის ციკლი. ფოსფორის ნყაროს წარმოადგენს ქანები, საიდანაც ხდება მათი შეთვისება მცენარეთა მიერ და ჩართვა კვებით ჯაჭვში. რედუცენტები ფოსფორს აბიოტურ გარემოში აბრუნებენ.

აბიოტური გარემო ერთმანეთზე მოქმედებს. ორივე შემადგენელი ნანილი ეკოსისტემისა საეალდებულოა. სიცოცხლის არსებობისთვის აბიოტური ფაქტორები არეგულირებს პოპულაციათა სიცოცხლისუნარიანობას. ამავე დროს აბიოტური ფაქტორები იმყოფებიან ცოცხალ ორგანიზმთა მუდმივი ზემოქმედების ქვეშ. სიცოცხლისათვის საჭირო ქიმიური ელემენტები (C, H, O, N, P) და ორგანული ნაერთები (ნახშირწყლები, ცილები, ცხიმები) განიცდის მუდმივ ცვლას არაცოცხალ ბუნებასა და ორგანიზმთა შორის. ერთერთი მაგალითი ასეთი ცვლის ნაჩვენებია სურათზე *(სურ. 9.5)*.

ბიოცენოზის თვითრეგულირება იმაში გამოიხატება, რომ ყოველი სახეობის ინდივიდთა რაოდენობა შენარჩუნებული იყოს ერთ განსაზღვრულ, შედარებით მუდმივ დონეზე.

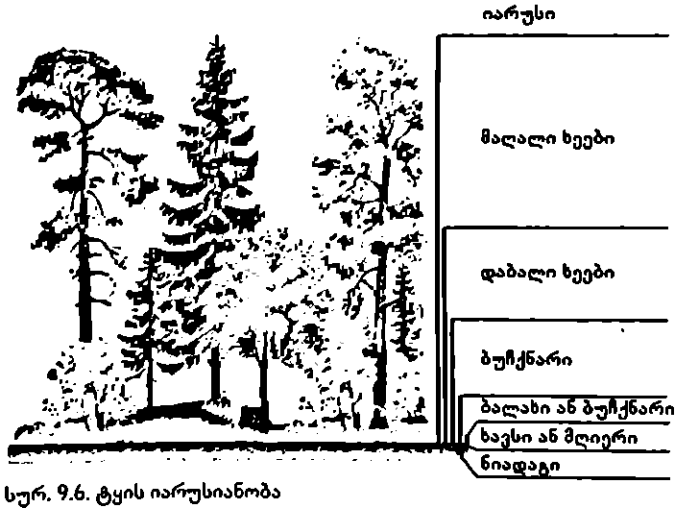
ხმელეთის ბიოცენოზებს შორის ყველაზე უფრო რთულია ფართოფოთლოვანი ტყე. ფოთლოვანი ტყის დამახასიათებელი ნიშანია მცენარეულობის სახეობრივი მრავალფეროვნება. მცენარეთა შორის მიმდინარეობს კონკურენცია სიცოცხლის ძირითადი პირობებისთვის: სივრცის, სინათლისა და წყლისათვის. ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად მცენარეებს გამოუმუშავდათ ისეთი შეგუებანი, რომლებიც საშუალებას აძლევს სხვადასხვა სახეობას იარსებონ ერთობლივად. ეს აშკარად ვლინდება შერეული ტყის მცენარეებისთვის დამახასიათებელ იარუსიანობაში *(სურ. 9.6)*.

როგორც სურათიდან ჩანს, ზედა იარუსს წარმოადგენს მაღალი ხეები, რომლებიც სინათლის ყველაზე უფრო მოყვარულია. უფრო დაბლა განლაგებულია დაბალი ხეები ნაკლებ სინათლის მოყვარული. უფრო დაბლა განლაგებულია ბუჩქნარი. რაც უფრო დაბალია იარუსი, მით უფრო ჩრდილის ამტანია მისი მცენარეულობა.

მდგრადობა. ყველა ეკოსისტემა ევოლუციურად დაკავშირებულია გარემოსთან და ამჟღავნებს მდგრადობას. მდგრადობა არის თანასაზოგადოებისა და ეკოსისტემის თვისება შეინარჩუნოს სტაბილურობა ყველა იმ ცვლილებებზე, რომლებიც ხდება გარემო ფაქტორების ზემოქმედებით. მაგალითად, თუ ეკოსისტემაში ნალექიანობა შემცირდება 50%-ით, შედარებით მრავალი წლის საშუალო მაჩვენებლებთან, ხოლო ორგანულ ნაერთთა რაოდენობა, რომელსაც ქმნის პროდუცენტები შემცირდა 25%-ით, ბალახ ნამია კონსუმენტების რიცხოვნება 10%-ით, შეიძლება ითქვას, ასეთი ეკოსისტემა მდგრადია.

ორგანიზმთა უნარს, გადაიტანონ გარემოს არასასურველი გავლენა და შეინარჩუნონ გამრავლების დიდი პოტენციალი მიუთითებს იმაზე, რომ პოპულაცია გადარჩენილია ეკოსისტემაში.

თვითრეგულაცია. ეკოსისტემაში პოპულაციათა რიცხობრიეობის შენარჩუნება დაფუძნებულია ორგანიზმთა ურთიერთობაზე. ეს ურთიერთობებია მსხვერპლ-მტაცებლის, პარაზიტ-პატრონისა და კვებით ურთიერთობის ყველა დონე. თუ რაღაც მოვლენის შედეგად ამოვარდება კვებით ჯაჭვში რომელიმე სახეობა, ის ცხოველები, რომლებიც იკვებებოდნენ ამომწყდარი ცხოველებით, გადავლენ სხვა კვებით რეჟიმზე. დაიწყებენ დიდი რაოდენობით კვებას იმ საკვებით რომელიც მათთვის ადრე იყო მეორე ხარისხოვანი. საკვების ასეთი ცვლილება პოპულაციის რიცხობრივობის შენარჩუნების საშუალებას იძლევა.

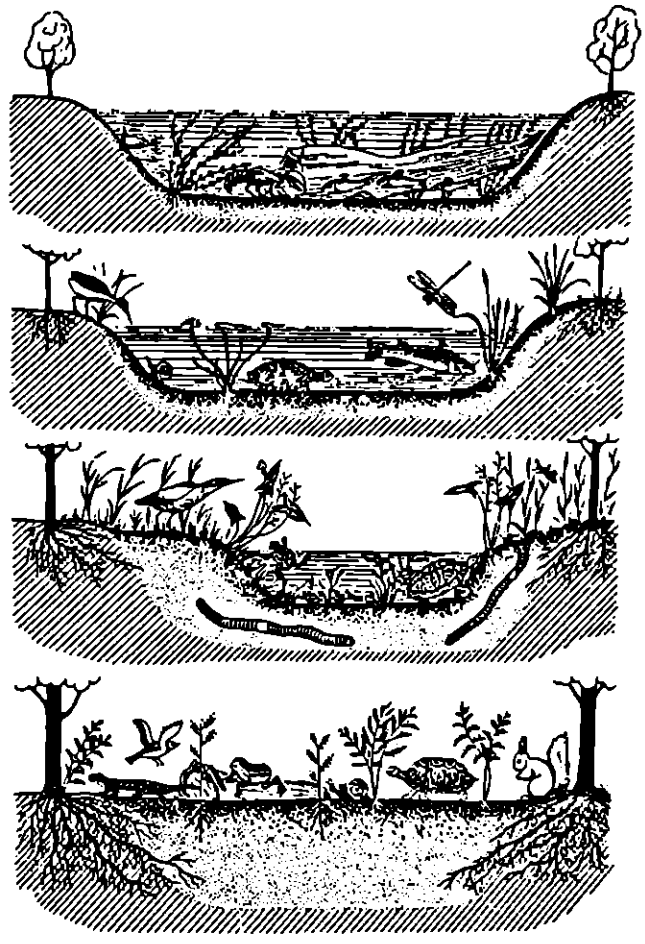


სურ. 9.6. ტყის იარუსიანობა

ცვლილებები. მართალია, ეკოსისიტემა თვითრეგულირებადი სისტემაა, რომელიც მიისწრაფის მდგრადი მდგომარეობისაკენ, მაგრამ ეს მდგრადი მდგომარეობა არასოდეს არ არის სრული. მდგრადობას აბრკოლებს კლიმატური პირობების განუწყვეტელი ცვა-

ლებადობა. ბიოცენოზის სახეობრივი რიცხოვრების მერყეობა *(სურ. 9.7)*. ეკოსისტემის ცელილებებში დიდ როლს თამაშობს ანთროპოგენური ფაქტორი.

ბუნებრივ და ხელოვნურ ეკოსისტემების შედარება. არსებობს ორი სახის ეკოსისტემა ბუნებრივი და ხელოვნური. ბუნებრივი ეკოსისტემებია: ტუნდრის, ოკეანის, მდინარეების, ტყეების, მთების, უდაბნოების და სხვა მრავალი. მრავალი ათასწლეულის განმავლობაში ადამიანი ცხოვრობდა ბუნებრივ ეკოსისტემაში და არ ერეოდა აქტიურად მასში მიმდინარე პროცესებში. ცივილიზაციის დაწყებიდან დღემდე ადამაინის დამოკიდებულება ბუნებისადმი შეიცვალა. ადამიანმა დაიწყო ბუნებრივი ეკოსისტემის რღვევა და ქმნის ხელოვნურ ეკოსისტემებს. განსაკუთრებით აღსანიშნავია აგროცენოზების შექმნა, რომელიც თანასაზოგადოებას წარმოადგენს და წარმოშობილია ადამიანის სასოფლო-სამეურნეო ან სხვა ფორმის შრომა-საქმიანობის შედეგად. მაგალითისათვის შეიძლება დავასახელოთ ხელოვნურად შექმნილი პარკები, ხეხილის ბაღები, მდელოები, მინდერები და საძოვრები. ხელოვნური ეკოსისტემების შექმანში ადამიანი იყენებს სხვადასხვა აგროხერხს: სასოფლო-სამეურნეო ბალახების თესვას, მელიორაციას, მინერალური და ორგანული სასუქების შეტანას, ნიადაგის დამუშავების სხვადასხვა წესს.



სურ. 9.7. ტბის ეკოსისტემის სტრუქტურის ცელილება

ხელოვნური ეკოსისტემის შექმნის დროს, საჭიროა, რაც შეიძლება სრულად იქნეს გათვალისწინებული იმ ურთიერთდამოკიდებულების ფორმები, რომელიც ყალიბდება ადამიანის მიერ შექმნილი თანასაზოგადოების კომპონენტებსა და ნიადაგს შორის. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ ნიადაგის თვისებები. მისი დაცვის აუცილებლობა წყლისმიერი დაშლისაგან.

ბუნებრივი და ხელოვნური ეკოსისტემები განსხვავებული ბუნებისაა. ბუნებრივი ეკოსისტემა მდგრადია. ხელოვნური ეკოსისტემა არამდგრადია. ადამიანის ჩაურეველობის გარეშე მარცველეულის ყანა ერთ ნელს არსებობს. მრავალწლიანი მინდორი სამ წელს არსებობს. ხილის ბაღები ოც წელს ძლებს.

ბუნებრივ ეკოსისტემის ენერგიის წყაროს მხოლოდ მზე წარმოადგენს. ხელოვნურ ეკოსისტემაში მზის გარდა ადამიანი იყენებს სხვადასხვა საშუალებას. მაგალითად, ადამიანი ამუშავებს ნიადაგს, შეაქვს მასში ხელოვნური სასუქები. ებრძვის ხელოვნურ ეკოსისტემაში გაჩენილ მავნებლებს როგორც ცხოველურ, ისე მცენარეულს.

ბუნებრივ ეკოსისტემაში მცენარეთა პროდუქცია (მოსავალი), რომელიც გაიელის მრავალ კვებით ქსელს, კელავ ბრუნდება ბიოლოგიურ კვებით წრებრუნვაში. ხელოვნურ ეკოსისტემაში ეს არ ხდება. ვინაიდან მოსავლის აღებასთან ერთდროულად ადამიანი ანადგურებს დიდ მასას პროდუქციის მომცემს. მუდმივად უხდება ნიადაგის გასანაყოფიერებად სასუქების გამოყენება.

ქალაქების ხელოვნური ეკოსისტემა ახდენს ზემოქმედებას ბუნებრივ ეკოსისტემაზე. დღეს ჩვენი პლანეტის მოსახლეობის ნახევარზე მეტი ქალაქში ან ქალაქის ტიპის დასახლებაში ცხოვრობს. მრენველობა განეითარებულ ზოგიერთ ქვეყნებში ეს რიცხვი 70%-ს წარმოადგენს. ქალაქებში დარღეულია თანაფარდობა პროდუცენტებს, კონსუმენტებსა და რედუცენტებს შორის. XX სს. შუა წლებში დადგინდა, რომ ქალაქის მოსახლეობის სიცოცხლის ხანგრძლიეობა დაბალი იყო სოფლად მცხოვრებ მოსახლეობასთან შედარებით. ქალაქში წარმოიქმნება დიდი რაოდენობის მომწამლავი გაზები. ტოქსიკური ნივთიერებები. ხდება საარსებო გარემოს დაბინძურება, ამიტომ სასურველია ქალაქ გეგმარებაში გათვალისწინებული იქნას ეკოლოგების აზრი. მწვანე ნარგაეებმა უნდა დაიკავოს ქალაქის ტერიტორიის ნახევარზე მეტი ფართობი.

ბიოცენოზების გეოგრაფიული ზონალობა. ბიოცენოზების ტიპები მკაფიოდ ვლინდება ეკოლოგიური სისტემების გეოგრაფიულ ზონალობაში. ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ თანმიმდევრობით განლაგებულია

ბუნებრივი ზონები: ტუნდრა, ტაიგა, ფოთლოვანი ტყე, ველი, უდაბნო. ყოველი ზონა ხასიათდება ძირითადი ბიოცენოზების უფრო მეტად გავრცელებული ტიპებით. ზონალური ცვლილებები უფრო მეტად ემჩნევა მცენარეულობას — ბიოცენოზის წამყვან კომპონენტს. ამას თან ახლავს კონსუმენტებისა და რედუცენტების სახეობრივი შემადგენლობის ასევე ძლიერი ცვლილება. ნიადაგიც, რომელიც ეკოსისტემის მნიშვნელოვანი ნაწილია, ასევე იცვლება გეოგრაფიული ზონების მიხედვით.

კლიმატს, იმ ელემენტებს შორის, რომლებიც ეკოლოგიური სისტემების ზონალობას განსაზღვრავს, ასრულებს ტემპერატურა, ტენიანობა და სინათლის რეჟიმი.

უკიდურეს ჩრდილოეთში ტუნდრის ზონაში სიცოცხლისათვის ძალზე მკაცრი პირობებია. სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა ორ-სამ თვეს არ აღემატება, ხოლო ივლისის საშუალო ტემპერატურა 10-12 გრადუსზე ნაკლებია. ნიადაგი ლღვება მცირე სიღრმეზე, მის ქვევით კი მარადიული მზარდობაა. სუსტი აორთქლების გამო ხშირად ჩნდება ჭაობები. ტუნდრაში სიცოცხლე გავრცელებულია ყველაზე თბილ მიწისპირა შრეში.

ამ მძიმე პირობებს შეეგუა ორგანიზმების ნაწილი, რომელიც სახეობით ღარიბ, თავისებურ ბიოცენოზებს ჰქმნის. მცენარეულობა წარმოდგენილია მღიერებით, ხავსებით, დაბალი მრავალწლიანი ბალახებითა და მინაზე გართხმული ბუჩქებით. მცენარეულობის პროდუქცია ტუნდრის ბიოცენოზებში ძალიან მცირეა — ნელინადში 4-12 ც/ჰა-ზე ნაკლები. ამიტომ შედარებით ღარიბია ცხოველთა სამყაროც. დაბალი ტემპერატურის გამო მიკროორგანიზმების მიერ ორგანული ნარჩენების დაშლა მიმდინარეობს და ნიადაგები სუსტადაა განვითარებული.

უფრო სამხრეთით, სადაც ზაფხული შედარებით ხანგრძლივი და თბილია, ხოლო ნიადაგი ლღვება მთლიანად, ვითარდება ტაიგის ერცელი ზონა, სადაც უპირატესად ისეთი ბიოცენოზებია, რომელთა საფუძველია წიწვიანი ხეები — ნაძვი, სოჭი, ციმბირის ფიჭვი. ტაიგის ბიოცენოზების მცენარეულობის პროდუქტიულობა მაღალია, საშუალოდ შეადგენს 30-40 ც/ჰა. ტაიგაში განვითარდა მდიდარი და ძლიერი დამახასიათებელი ცხოველთა სამყარო. წიწვიან ტყეებში გავრცელებულია ენერის ტიპის ნიადაგები.

უფრო სამხრეთით წიწვიანი ხეების ზრდას ხელს უშლის ჰაერის ნაკლები ტენიანობა და ზაფხულის მაღალი ტემპერატურა. ტაიგას თანდათან ცვლიან შერეული და ფართოფოთლოვანი ტყეები, რომლებიც განსაკუთრებით მრავალფეროვანია ევროპასა და შორეულ აღმოსავლეთში. ამ რაიონებისათვის დამახასიათებელია უხვი ნალექები, ზომიერი ტემპერატურა და ზამთრისა და ზაფხულის მკვეთრი მონაცვლეობა. ხელსაყრელი პირობების გამო აქ წარმოიშვა რთული ბიოცენოზები, რომლებსაც ახასიათებს მაღალი ბიოლოგიური პროდუქტიულობა. წარმოშობილი მცენარეული მასის რაოდენობა ხშირად აჭარბებს 50-60 ც/ჰა-ს.

კიდევ უფრო სამხრეთით, ნალექების რაოდენობის შემცირებასა და აორთქლების გაძლიერებასთან ერთად, ტყეებს თანდათან ცვლის ღია სივრცეები — ველები. აქ ბიოცენების საფუძველს შედარებით ყინვაგამძლე კორდწარმომქმნელი მარცვლოვნები — ვაცინეერა, ქუჩი და თივაქასრა წარმოადგენენ. ისინი წარმოქმნიან გაცილებით ნაკლებ ორგანულ ნივთიერებებს — სულ 10-15 ც/ჰა-ს. ველების ცხოველთა სამყარო ძალიან ღარიბია და სახეობრივი შემადგენლობით სრულიად განსხვავდება ტყის ცხოველთა სამყაროსაგან. ნალექების უთანაბრო განაწილება და ზაფხულის გვალვები ხელს უშლის მიკროორგანიზმების მოქმედებას და ორგანული ნარჩენების სრულ მინერალიზაციას. ამ ველებზე წარმოიშობა დამახასიათებელი შავმინა ნიადაგები, რომლებიც ძალიან მდიდარია ორგანული ნივთიერებებით. ეს ზონა არის ინტენსიური სიმრავლის მეურნეობის ერთ-ერთი ძირითადი რაიონი.

უკიდურეს სამხრეთით მდებარეობს უდაბნოების ზონა. ადგილი, სადაც ძალიან მცირეა ნალექები, ხოლო აორთქლება ძალზე დიდი. ივლისის საშუალო ტემპერატურა 25 გრადუსს აღემატება. ასეთ პირობებში ჩამოყალიბდა სრულიად თავისებური და ძალზე ღარიბი ბიოცენოზები. მცენარეულობა მეტად გამეჩხერებულია და ნიადაგის ზედაპირის დიდი ნაწილი გაშიშვლებულია. უდაბნოში გვხვდება ყველაზე უფრო გვალვაგამძლე ბუჩქები. იშვიათად პატარა ხეები, მაგ.: საქსაული. გავრცელებულია აგრეთვე საგაზაფხულო ეფემერები, რომლებიც იყენებენ ზამთარში დაგროვილ ტენს, ზაფხულში ისინი კვდებიან. უდაბნოს ცხოველებსაც ახასიათებთ სიმშრალისაკენ დიდი მდგრადობა.

ზონების აღწერილი თანმიმდევრობა დამახასიათებელია მხოლოდ კონტინენტური ქვეყნებისათვის. იმ რაიონებში, სადაც ტენიანობის დიდი ნაკლებობა არ შეიმჩნევა, მაგ.: აღმოსავლეთ აზიაში, ველები და უდაბნოები არ არის და ფართოფოთლოვანი ტყეების ზონა იცვლება მარადმწვანე სუბტროპიკული და ბოლოს ტროპიკული ზონით. ტენიანი ტროპიკული ტყეები ყველაზე მდიდარია სახეობრივი შემადგენლობით და ბიოცენოზების ბიოლოგიური პროდუქტიულობით.

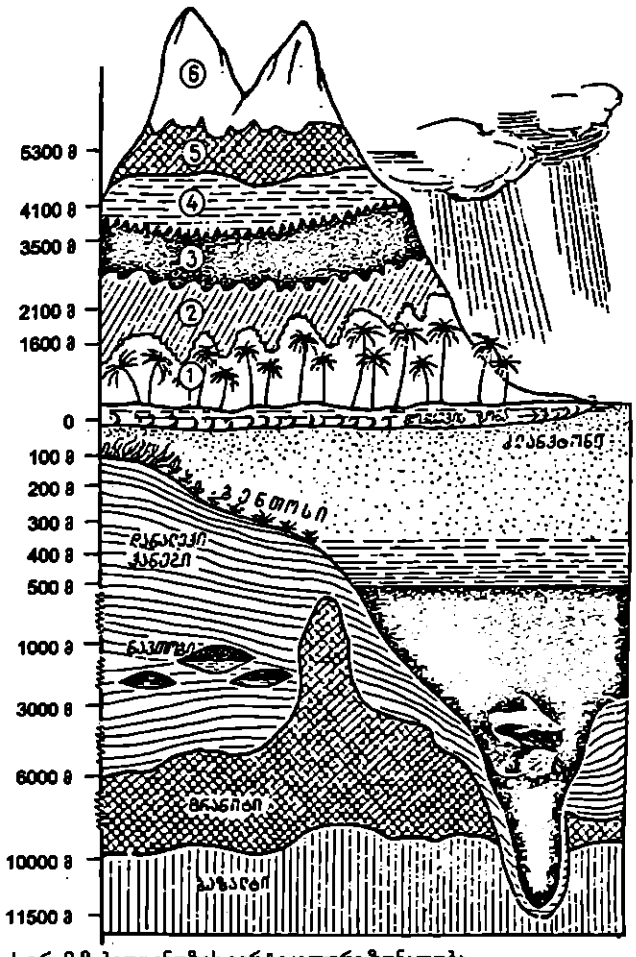
ბიოცენოზის ვერტიკალური ზონალობა. ბიოცენოზების კანონზომიერი ზონალობა მკვეთრად ვლინდება მთებში. ბიოსფეროს სიცოცხლის ზედა ზღვარს განსაზღვრავს ულტრაიისფერი სხივების ინტენსიური კონცენტრაცია, ქვედას — დედამიწის წიაღის მაღალი ტემპერატურა, სადაც არის 100°C ზევით *(სურ. 9.8)*. ცნობილია, რომ ყოველი 100 მეტრით მატებისას ტემპერატურა საშუალოდ 0,5-0,6 გრადუსით ეცემა, ხოლო ნალექების რაოდენობა სიმაღლესთან ერთად მატულობს. კლიმატი იძენს ისეთ თვისებებს, რომლებიც ჩრდილოეთის რაიონების კლიმატს უფრო ემსგავსება. კლიმატის შესაბამისად კანონზომიერად იცვლება მცენარეული ზონებიც იმავე თანმიმდევრობით, როგორც ჩრდილოეთის მიმართულებით, მაგ.: კავკასიაში მთისწინა ველები და ნახევრად უდაბნოები იცვლება მუხისა და წიფლის ტყეებით. ზევით განლაგებულია წიწვიანი ტყეების ზონა. თოვლის ხაზთან ახლოს ჩამონაშალზე ვითარდება ტანდაბალი ალპური მცენარეულობა, რო-

მელიც ერთგვარად ტუნდრის მცენარეულობას მოგვაგონებს. საინტერესოა, რომ ალპურ ზონაში გვხვდება ზოგიერთი ისეთი მცენარე და ცხოველი, რომლებიც ტუნდრაშია გავრცელებული და სხვა ზონებში არ გვხვდება.

9.6. საკვების მოპოვება, როგორც ეკოლოგიური ფაქტორი

კვება ფიზიოლოგიის პრობლემაა, მაგრამ მისი მოპოვება ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ფაქტორია. საკვების მოპოვების ძიება საფუძველი ხდება მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური, ქცევითი და ეკოლოგიური ადაპტაციისა. ეკოლოგებს აინტერესებთ დაადგინონ, რა გავლენას ახდენს კვება პოპულაციის ინდივიდთა რაოდენობის ზრდას ან შემცირების სიჩქარეზე, დაკავებული არეალის ცელილებაზე, სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე და პროდუქტიულობაზე.

კვების ხასიათის მიხედვით დედამიწაზე არსებული ორგანიზმების სამი ჯგუფი არსებობს. ესენია — ავტოტროფები, ჰეტეროტროფები და მიკსოტროფები (შერეული ხასიათის კვების მქონე ორგანიზმები), რომელთაც შეუძლიათ იკვებონ ავტოტროფულად და ჰეტეროტროფულადაც, რასაც განსაზღვრავს გარემოს აბიოტური ფაქტორები — სინათლე და სიბნელე.



სურ. 9.8. ბიოცენოზის ვერტიკალური ზონალობა
1 — ტროპიკული და სუბტროპიკული ტყეები;
2 — ფართოფოთლოვანი ტყეები; 3 — წიწვიანი ტყეები;
4 — ალპური მდელოები; 5 — ტუნდრა;
6 — ყინულის საფარი.

ავტოტროფი ორგანიზმები არაორგანულ ნაერთებიდან თვითონ ასინთეზებენ ორგანულ ნაერთებს. ორგანულ ნაერთთა სინთეზი ხდება ორი გზით — ფოტოსინთეზით და ქემოსინთეზით. ფოტოსინთეზში ენერგიის წყაროს წარმოადგენს მზის სინათლე. ფოტოსინთეზის უნარი გააჩნიათ მწვანე მცენარეებს და ზოგიერთ ბაქტერიებს. მათ ფოტოავტოტროფებს უწოდებენ. ქემოსინთეზში გამოყენებულია არაორგანული ნივთიერებების დაჟანგვის გზით მიღებული ენერგია. მათ ქემოავტოტროფებს უწოდებენ. ქემოავტოტროფებია ის ბაქტერიები, რომლებიც ქემოსინთეზს წარმართავენ. *(იხ. თავი 3 §§.19).*

ჰეტეროტროფებია ადამიანი, ცხოველები, სოკოები, მრავალი ბაქტერია — და უქროლოფილო მცენარეები. ჰეტეროტროფული ორგანიზმები განსხვავებით ავტოტროფებისაგან ვერ ასინთეზებენ ორგანულ ნივთიერებებს არაორგანული ნაერთებიდან. იკვებებიან მზა ორგანული ნივთიერებებით, რომლებიც დაასინთეზირეს ავტოტროფებმა.

მიკსოტროფული კვების მქონე ორგანიზმებია ზოგიერთი ბაქტერია ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები და მცენარე-პარაზიტები. ეს ორგანიზმები მზის სინათლეზე ფოტოსინთეზს ახდენენ, ხოლო სიბნელეში ჰეტეროტროფულად იკვებებიან.

ნებისმიერ თანასაზოგადოებაში გაერთიანებული ცოცხალი ორგანიზმები კვების მიხედვით შეიძლება დაიყოს სამ ფუნქციურ ჯგუფად:

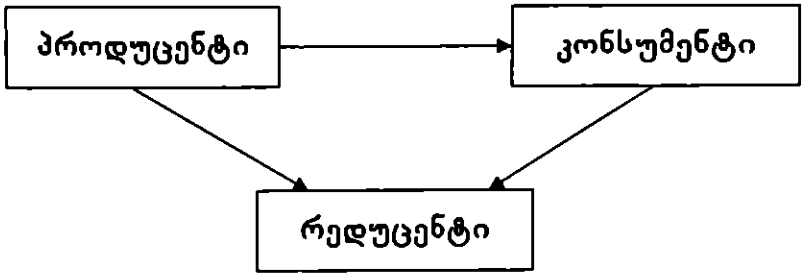
პირველი, პროდუცენტები — ამ ჯგუფში გაერთიანებულია ავტოტროფები. არიან შემქმნელები ორგანული ნივთიერებისა.

მეორე, კონსუმენტები — ამ ჯგუფში გაერთიანებულია ჰეტეროტროფული ორგანიზმები, რომლებიც იკვებებიან მცენარეებით და სხვა ჰეტეროტროფებით. მათ მომხმარებლებს უწოდებენ.

მესამე, რედუცენტები — ამ ჯგუფში გაერთიანებულია ჰეტეროტროფული ბაქტერიები და სოკოები. ითვლებიან დამშლელებად. მონაწილეობენ ორგანულ ნაერთთა დაშლაში.

ნებისმიერ ბიოცენოზის საფუძველს წარმოადგენს მწვანე მცენარეები. ორგანული ნივთიერებების მწარმოებლები — პროდუცენტები. ბიოცენოზში არსებობენ მცენარისა და ხორცის მჭამელი ცხოველები,

რომლებიც არიან ორგანული ნივთიერებების მომხმარებლები — კონსუმენტები. ორგანული ნარჩენების დამშლელებია უმეტეს წილად მიკროორგანიზმები, რომელთაც ორგანული ნივთიერებების დაშლა დაჰყავთ მარტივ მინერალურ ნივთიერებამდე — რედუცენტები. ბიოცენოზის ფუნქციონირებას განაპირობებს კვებითი კავშირის მიმართულება:



აღნიშნული კვების სამივე ჯგუფი არსებობს ნებისმიერ თანასაზოგადოებაში. ნებისმიერ ჯგუფში გაერთიანებულია მრავალი პოპულაცია, რომელიც არსებობს ეკოსისტემაში. სამივე ჯგუფის ერთდროული მუშაობა არეგულირებს ეკოსისტემაში ნივთიერებათა და ენერგიის ცელას *(სურ. 9.9)*. გამონაკლისის სახით არსებობს ისეთი ეკოსისტემები, სადაც არაა ავტოტროფული მცენარეები. ასეთი ეკოსისტემებია დიდი სიღრმის ოკეანეები და გამოქვაბულები. ასეთ ეკოსისტემებში აუცილებელია ენერგიის გარედან მიღება ორგანული ნივთიერებების სახით, რომელიც ცელის მზის ენერგიას.

ბიოცენოზის დახასიათება ხდება სამი მაჩვენებლით:

პირველი — სახეობრივი მრავალფეროვნება. მოცემული ბიოცენოზის შემადგენელ მცენარეთა და ცხოველთა სახეობები რაოდენობით.

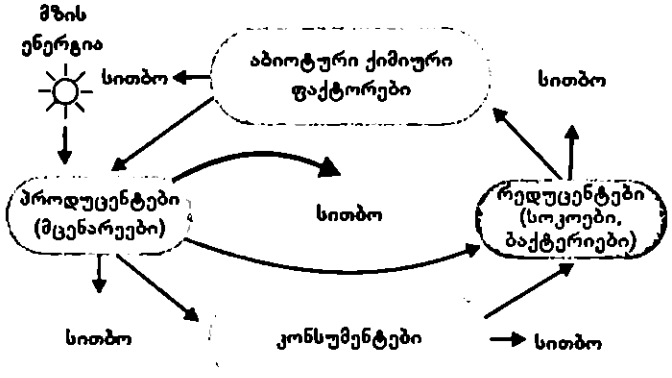
მეორე — პოპულაციების სიმჭიდროვე. თითოეული სახეობის ინდივიდთა რაოდენობა ფართობის ერთეულზე ან მოცულობის ერთეულზე, რომელიც გამოყენებულია პლანქტონისათვის.

მესამე — ბიომასა. ყველა ინდივიდის ორგანული ნივთიერებები და მათში არსებული ენერგიის საერთო რაოდენობა. ბიომასას წონით ერთეულებით გამოხატავენ მშრალ ნიეთიერებაზე გადაანგარიშებით ფართობის ან მოცულობის ერთეულზე.

პროდუქტიულობა. ეკოსისტემაში მიმდინარე ენერგეტიული პროცესების შეფასებისათვის გამოყენებულია მისი ბიოლოგიური პროდუქტიულობის მაჩვენებელი. ტერმინში „ბიოლოგიური პროდუქტიულობა" იგულისხმება ბიომასის წარმოქმნის სისწრაფე, რაც ნიშნავს ცალკეულ პოპულაციებში ან მთლიანად ეკოსისტემაში არსებულ სხვადასხვა ორგანიზმში დაგროვილ ნივთიერებათა ჯამს, რაც იზომება წარმოსაქმნელი ორგანული ნივთიერებების დაგროვების სისწრაფით.

ამიტომ საჭიროა ბიოლოგიური პროდუქტიულობა გამოეყოთ ბიოლოგიური პროდუქციისაგან. ბიოლოგიური პროდუქცია ნიშნავს ბიომასის ცვლილებას ორგანიზმთა ზრდა-განვითარების შედეგად. არ უნდა იქნეს არეული ერთმანეთში ბიომასა, ანუ მოსავალი და პროდუქტიულობა.

ეკოსისტემაში განასხვავებენ პირველად და მეორეულ ბიოლოგიურ პროდუქტიულობას. პირველად პროდუქტიულობაში იგულისხმება ფოტოსინთეზის საერთო შეჯამებული პროდუქცია, რომელიც არის ძირითადი მწვანე მცენარეების მოქმედების შედეგი. ის იზომება წარმოსაქმნელი ორგანული ნივთიერებების დაგროვების სისწრაფით. მზის ენერგია ამ დროს გადადის ორგანულ ნაერთთა პოტენციურ ენერგიაში. მეორეული ბიოლოგიური პროდუქტიულობა განეკუთვნება ბიომასის დაგროვებას, რომელსაც ახორციელებენ ჰეტეროტროფები. ჰეტეროტროფები იყენებენ იმ ნივთიერებებს და ენერგიას, რომელსაც პროდუცენტები აგროვებენ.

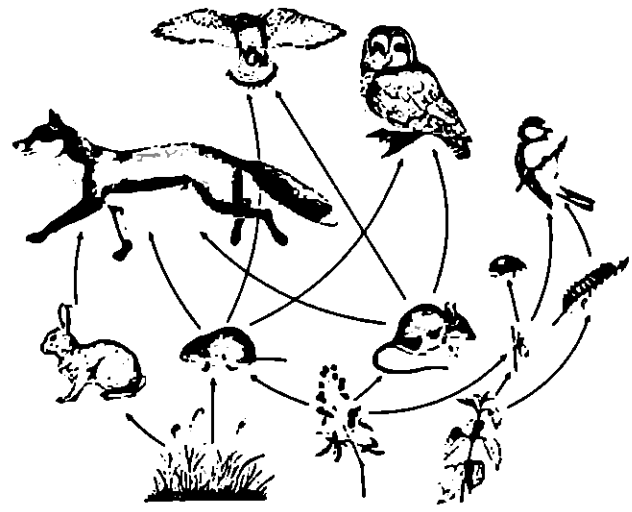


სურ. 9.9. ნივთიერებათა ცელა ეკოსისტემაში

კვებითი ქსელი. კვებით ჯაჭვს უწოდებენ სახეობათა რიგს, რომლის ყოველი წინა რგოლი მომდევნოს საკვებს წარმოადგენს. კვების ჯაჭვში გაერთიანებული ყველა სახეობა არსებობს მწვანე მცენარეების მიერ შექმნილ ორგანულ ნივთიერებათა ხარჯზე. ამასთან აქ მოქმედებს მნიშვნელოვანი კანონზომიერება, რომელიც ეხება კვების პროცესში ენერგიის გამოყენებისა და გარდაქმნის ეფექტიანობას. ამ კანონზომიერების არსი შემდეგში მდგომარეობს:

მცენარეზე დაცემული მზის სხივური ენერგიის ჯამის დაახლოებით მხოლოდ 1% გარდაიქმნება სინთეზური ორგანული ნივთიერებების ქიმიური ბმების პოტენციურ ენერგიად და შემდეგში შეიძლება გამოყენე-

ბული იყოს ჰეტეროტროფული ორგანიზმების კვების დროს. როდესაც ცხოველი ჭამს მცენარეს, საკვებში არსებული ენერგიის უმეტესი ნაწილი ცხოველქმედების სხვადასხვა პროცესში იხარჯება, გარდაიქმნება სითბოდ და იფანტება. საკვებში არსებული ენერგიის მხოლოდ 5 — 20% გადადის ცხოველის სხეულის ახლად შექმნილ ნივთიერებებში. თუ ბალახჭამია ცხოველს შეჭამს მტაცებელი, მაშინ საკვებში არსებული ენერგიის დიდი ნაწილი ისევ იკარგება. სასარგებლო ენერგიის ასეთი დიდი რაოდენობით დაკარგვის შედეგად კვებითი ჯაჭვი არ შეიძლება ძალიან გრძელი იყოს. ჩვეულებრივ ისინი შედგება 3-5 რგოლისაგან *(სურ. 9.10)*.

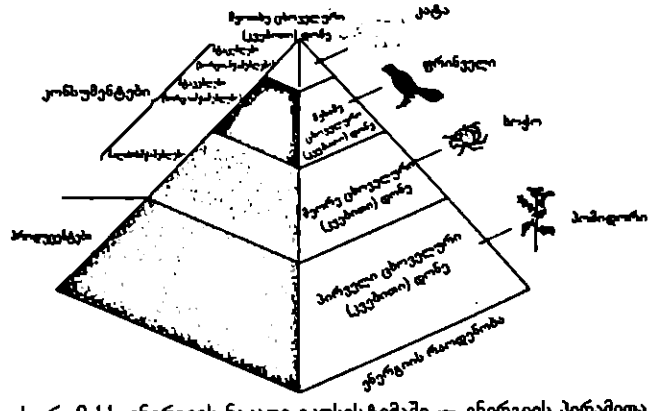


სურ. 9.10. კვებითი ქსელი

ენერგიის დაკარგვის შედეგად ყოველი მომდევნო კვებით დონეზე წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებების რაოდენობა მკვეთრად მცირდება. ასე, მაგალითად, თუ მივიღებთ, რომ ცხოველის სხეულის ნივთიერებაში საშუალოდ გადადის შეთვისებული საკვების ენერგიის 10%, მაშინ ცხადია, 1 ტონა მცენარეული მასის ხარჯზე შეიძლება შეიქმნას ბალახჭამია ცხოველის სხეულის მასის მხოლოდ 100 კგ. რეალური თანაფარდობა შეიძლება სხვაგვარიც იყოს, ვინაიდან ენერგიის გამოყენების კოეფიციენტი სხვადასხვა სახეობაში ერთნაირი არ არის, მაგრამ მცენარეული ნივთიერების რაოდენობა, რომელიც კვების ჯაჭვის საფუძველია, ყოველთვის რამდენჯერმე მეტია, ვიდრე მცენარეჭამია ცხოველების საერთო მასა, ხოლო კვების ჯაჭვის ყოველი მომდევნო რგოლის მასა ასევე პროგრესულად მცირდება *(სურ. 9.11)*. ამ მეტად მნიშვნელოვან კანონზომიერებას ეკოლოგიური პირამიდის წესს უწოდებენ.

შეიძლება „ეკოლოგიური პირამიდების" რამდენიმე კატეგორია განვასხვაოთ. რიცხვთა პირამიდა გამოხატავს ინდივიდთა რიცხვს კვების ჯაჭვის ყოველ დონეზე; ბიომასის პირამიდა გვიჩვენებს ორგანული ნივთიერებების რაოდენობას (ბიომასას), ენერგიის პირამიდა — ენერგიის რაოდენობას საკვებში. ყველა ისინი, მიუხედავად იმისა, რომ აბსოლუტური მნიშვნელობით განსხვავდებიან, ერთი და იმავე მიმართულებისანი არიან.

ეკოსისტემაში კვების ჯაჭვები სწორხაზოვანი არ არის. სხვადასხვა სახეობა თითქმის ყოველთვის რამდენიმე სხვადასხვა ობიექტით იკვებება და ამასთანავე თვითონ არის საკვები ეკოსისტემის სხვა ნევრებისათვის. ამის შედეგად ვღებულობთ კვების ჯაჭვის რთულ ქსელს.



სურ. 9.11. ენერგიის ნაკადი ეკოსისტემაში — ენერგიის პირამიდა და კვებითი ქსელი. კატა იკვებება ფრინველებით, რომლებიც თავის მხრივ იკვებებიან პომიდორით. პოპულაციაში ყოველ მომდევნო კვებით დონეზე წინა დონესთან შედარებით ენერგიის რაოდენობა მცირდება. გადაეცემა ენერგიის მხოლოდ 10% და მოიხმარება ზრდისა და განვითარებისთვის.

9.7. ბიოტური კავშირების ფორმები

ბუნებრივ პირობებში ორგანიზმები იზოლირებულად არ ცხოვრობენ. მათ გარშემო ახვევიათ მრავალი სხვა სახეობის ცელილებები. ცხოველები ერთმანეთთან ურთიერთობენ. ორგანიზმთა ურთიერთობა და მათი გაელენა საარსებო გარემოზე არის ბიოტური ფაქტორი. მკვეთრად გამოხატული ბიოტური ფაქტორი ელინდება ცხოველთა კვებაში და საარსებო ტერიტორიის დაკავების შემთხვევაში. ყველა ბიოტური კავშირი შეიძლება დაიყოს ექვს ჯგუფად. პირველი — ორგანიზმები არ ახდენენ გაელენას ერთმანეთზე. ასეთ ურთიერთობას ნეიტრალიზმი ეწოდება. მეორე-ორგანიზმებს შორის არსებობს ურთიერთ სასარგებლო კავშირი. ეს არის სიმბიოზური კავშირი. მესამე — ურთიერთობა ორივე ორგანიზმებისთვის მავნეა. მეოთხე — ერთი ორგანიზმისთვის სასარგებლოა, მეორესთვის კი -- შემბოჭველი. მეხუთე — ერთი სახეობისთვის სასარგებლოა, მეორე რჩება ნეიტრალური. მეექვსე — ერთი სახეობა იზღუდება, მეორე არაფრით სარგებლობს.



სურ. 9.12. მტაცებლის დამოკიდებულება მსხვერპლთან

ნეიტრალიზმი. ეს ის ფორმაა ურთიერთობის, როდესაც ერთ ტერიტორიაზე არსებული ორგანიზმები არ მოქმედებენ ერთმანეთზე. ნეიტრალიზმის შემთხვევაში სხვადასხვა სახეობის ინდივიდები უშუალოდ არ მოქმედებენ ერთმანეთზე, მაგრამ დამოუკიდებლები არიან თანასაზოგადოების მთლიან მდგომარეობაზე. მაგალითად, ციყვი და ლოსი ერთად ცხოვრობენ ტყეში მაგრამ არ კონტაქტირებენ ერთმანეთთან. ტყის აბიოტურ ფაქტორთა ცელილება გაელენას ახდენს ორივეზე სხვადასხვა ხარისხით.

სიმბიოზი. სიმბიოზი ეწოდება ორი სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმთა თანაარსებობას, რომელიც შეიძლება იყოს ორმხრივი სასარგებლო ანდა ცალმხრივ სასარგებლო.

ორმხრივ სასარგებლო სიმბიოზის მრავალი მაგალითის მოყვანა შეიძლება როგორც მცენარეთა, ასევე ცხოველთა სამყაროდან. ორმხრივ სასარგებლო სიმბიოზია პარკოსან მეცნარეთა და კოჟრის ბაქტერიების თანაარსებობა. ერთუჯრედიანი წყალმცენარისა და სოკოს თანაარსებობა მღიერებში. ორმხრივ სასარგებლო სიმბიოზია აგრეთვე მიკორიზა ანუ ქუდიანი სოკოებისა და უმაღლეს მცენარეთა შორის ურთიერთდამოკიდებულება.

ცხოველებში ორმხრივ სასარგებლო სიმბიოზის მაგალითია კიბო-განდეგილისა და ნაწლაღრუიანი ცხოველის აქტინიას თანაარსებობა. აქტინია მიმაგრებულია იმ ნიჟარაზე, რომელსაც კიბო-განდეგილი თავს აფარებს. იგი იკვებება კიბოს საკვების ნარჩენებით, გარდა ამისა, კიბოს დახმარებით ხდება აქტინიას გადაადგილება გარემოში. თავის მხრივ, აქტენია თავისი გარეგნობითა და საცეცებით აშინებს სხვადასხვა ცხოველებს და იცავს კიბო-განდეგილს მტრებისაგან.

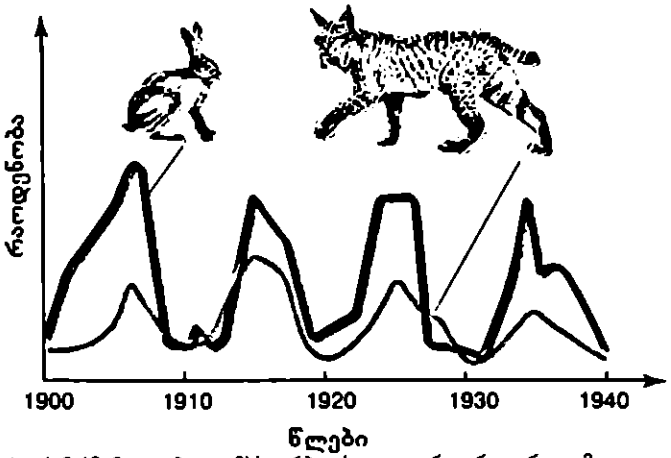
ორმხრივი სასარგებლო სიმბიოზური დამოკიდებულებაა ზოგიერთ ზღვის ცხოველსა და ერთუჯრედიან წყალმცენარეებს შორის. მაგ.: მარჯნის პოლიპების ზოგიერთი სახეობის ქსოვილები ამოვსებულია ერთუჯრედიანი წყალმცენარეებით და საკმარისია წყალმცენარეები მოვაცილოთ, რომ მარჯნის პოლიპის ნორმალური ცხოველმოქმედება ირღვევა.

ცნობილია, რომ ახალგაზრდა თევზების გუნდი ხშირად თავს აფარებს მედუზის საცეცებს. ეს ცალმხრივ სასარგებლო სიმბიოზის მაგალითია.

მტაცებლობა. მტაცებლობა ეწოდება სხვადასხვა სახეობის ცხოველთა ისეთ ურთიერთდამოკიდებულებას, როდესაც ერთი სახეობის წარმომადგენელი იჭერს და საკვებად იყენებს მეორე სახეობის ორგანიზმს *(სურ. 9.12)*.

ხშირ შემთხვევაში მტაცებლებს უწოდებენ მხოლოდ ისეთ ცხოველებს, რომლებიც საკვებად იყენებენ იმავე ტიპისა და კლასის ცხოველებს, რომლებსაც თითონ მიეკუთვნებიან.

ხერხემლიან ცხოველებს, რომლებიც იკვებებიან მოლუსკებით, მწრებითა და ჭიებით. ჩვეულებრივ მტაცებელს არ ეძახიან, მაგრამ ნათელია, რომ ვირთევზა, რომელიც ქაშაყით იკვებება, მტაცებელია. მტაცებელია აგრეთვე მგელი, რომელიც კურდღლითა და ძუძუმწოვრებით იკვებება.



სურ. 9.13. მტაცებელი-მსხვერპლის ციკლური ურთიერთდამოკიდებულება

როგორც წესი, მტაცებელი მსხვერპლს სწრაფად კლავს და ხშირ შემთხვევაში ერთჯერადი კვებისათვის იყენებს. მტაცებელი-მსხვერპლს შორის ციკლური დამოკიდებულება *(სურ. 9.13)* არსებობს. სურათზე გამოხატული მრუდეები გვიჩვენებს, როგორ იცვლება პოპულაციათა რაოდენობრივი მაჩვენებელი დროში.

პარაზიტიზმი. პარაზიტიზმი ფართოდ არის გავრცელებული როგორც ცხოველთა სხვადასხვა სისტემატიკურ ჯგუფებში, ასევე მცენარეებშიც. განსაკუთრებით ფართოდაა გავრცელებული პარაზიტიზმი უმარტივესთა, ჭიებსა და ფეხსახსრიანთა შორის.

მასპინძელი ორგანიზმი პარაზიტისათვის საარსებო გარემოა. იგი გამოიყენებს მარჩენალს, როგორც საკვების წყაროს — იკვებება მარჩენლის ორგანიზმის ქსოვილებით ანდა მარჩენალის მიერ გადამუშავებული

საკვებით.

ნათელია, რომ პარაზიტიზმი ისეთი თანაარსებობაა, რომელიც სასარგებლოს წარმოადგენს ერთი ორგანიზმისათვის /პაარზიტისათვის/ და საზიანოა მეორე ორგანიზმისათვის /მარჩენალისათვის/.



სურ. 9.14. შიგასახეობრივი კონკურენციის მაგალითი

პარაზიტიზმის ფართო გავრცელებაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ თითქმის ყველა ორგანიზმი წარმოადგენს ერთი ან მრავალი პარაზიტის მარჩენალს. პარაზიტის ნერვული სისტემა, გრძნობათა ორგანოები, კუნთები და მოძრაობის ორგანოები განიცდის რეგრესს ანუ გადაგვარებას. სამაგიეროდ, მათ ძლიერ აქვთ განვითარებული ის ორგანოები, რომლებიც ეხმარება მარჩენალზე მისამაგრებლად /კაუჭები, მისაწოვრები და ა.შ./, კარგად აქვთ განვითარებული აგრეთვე სხეულის საფარველი, რომელიც იცავს პარაზიტს მარჩენალისაგან. მაგ.: ღორის სოლიტერს, ასკარიდას და სხვა პარაზიტულ ჭიებს მკვეთრი კანი იცავს მარჩენალის საჭმლის მომნელებელ ორგანოებში საჭმლის მომნებელი წვენების ზემოქმედებისაგან. პარაზიტებისათვის დამახასიათებელია გამრავლების დიდი უნარიანობაც.

ზოგიერთი პარაზიტი ციკლის ნაწილს ერთი მარჩენალის ორგანიზმში ატარებს, მეორე ნაწილს კი — სხვა მარჩენალის ორგანიზმში, ასეთებია, მაგ.: მალარიის პლაზმოდიუმი, ღორის სოლიტერი, ექინოკოკი და სხვა. ასეთ შემთხვევაში ძირითად მარჩენალად ითვლება ის ორგანიზმი, სადაც ხდება პარაზიტის სქესობრივი მომწიფება და მიმდინარეობს კვერცხუჯრედის განაყოფიერება.

პარაზიტებიდან აღსანიშნავია პათოგენური ანუ ავადმყოფობის გამომწვევი პარაზიტები, რომლებიც იწვევენ მარჩენალის სხვადასხვა დაავადებას. ისინი ან შლიან მარჩენალის უჯრედებს ანდა გამოჰყოფენ შხამიან ნივთიერებებს და არღვევენ მარჩენალის ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის პროცესებს.

კონკურენცია და გაუზეს პრინციპი. კონკურენცია ლათინური წარმომავლობისაა და მისი მნიშვნელობა ასეა განმარტებული — „სურვილი ან მოთხოვნა იმისა, რასაც თხოულობს სხვა პიროვნება". ქართული მისი შესატყვისია — მეტოქეობა, ბრძოლა უპირატესობის მოსაპოვებლად რაიმე ასპარეზზე. როგორც მეცნიერული ტერმინი „კონკურენცია" ბიოლოგიურ ლექსიკაში XIX საუკუნეში ჩნდება.

ბიოლოგები ტერმინ „კონკურენციას" იყენებენ ისე, რომ არ იძლევიან მის ზუსტ განმარტებას, თითქოს ყველასთვის გასაგები იყოს. ამიტომ ზოგჯერ ტერმინის გამოყენება იწვევს აზრთა სხვადასხვაობას. ლიტერატურაში არსებობს კონკურენციის თორმეტი ბიოლოგიური განმარტება, რომელშიც ვერ მონახავთ ორ მსგავს განმარტებას.

ზოგიერთი კი მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. ტერმინის ასეთი მრავალფეროვნება გამოწვეული უნდა იყოს ორი მიზეზით. პირველია — დარვინის ევოლუციური თეორიის არა სწორი გააზრება. მეორე — ტერმინ „კონკურენციის" არევა მისით გამოწვეულ შედეგთან.

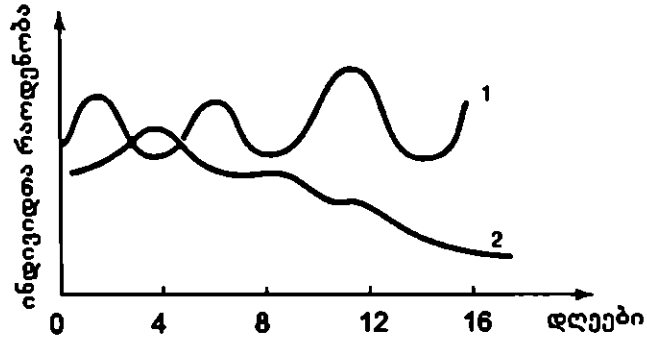
ხშირ შემთხვევაში მკვლევარები ტერმინებს „ბრძოლა არსებობისათვის" და „კონკურენციას" სინონიმებად განიხილავენ, რაც არ არის სწორი. დარვინი კონკურენციას თელიდა ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორად ბუნებრივ გადარჩევაში, მაგრამ არ აიგივებდა მას არსებობისათვის ბრძოლასთან. დარვინის მიხედვით, კონკურენცია უფრო ძლიერად ვლინდება შიგასახეობრივ ბრძოლაში, ვიდრე სახეობათა შორის *(სურ. 9.14)*.

აღსანიშნავია ერთი ფაქტი. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, თავდაპირველად სიტყვა „კონკურენცია" იხმარებოდა მხოლოდ ადამიანთა ურთიერთობის აღმნიშვნელად. ბიოლოგიაში, როგორც ტერმინი „კონკურენცია" ჩნდება დარვინამდე. ტერმინი ფართოდ გამოიყენება დღესაც ეკოლოგიაში.

ორი ან მეტი სახეობის პოპულაციის ინდივიდებს შორის კონკურენცია თავს იჩენს ეკოლოგიურად კარგი პირობების მოპოვებაში, ეკოლოგიურ პირობებში იგულისხმება საარსებო ტერიტორიის მოპოვება და მისი დაცვა, გამრავლებისთვის პარტნიორის მოპოვება, საკვები რესურსების მოპოვება, კლიმატური პირობები და სხვ. რასაკვირველია, კონკურენცია მიმდინარეობს ერთი სახეობის ინდივიდებს შორისაც. ამიტომაც როდესაც კონკურენციაზეა საუბარი, აუცილებელია, მითითებული იყოს ის კონკრეტული ეკოლოგიური რესურსი, რომელზედაც ვსაუბრობთ.

კონკურენციის კლასიკური მაგალითია ინფუზორია ქალამანას ორი სახეობის პოპულაციათა შორის ურთიერდამოკიდებულება. თუ ამ პოპულაციების კულტივირებას ახდენდნენ ცალ-ცალკე და ამასთანავე აძლევდნენ საკვების მკაცრად განსაზღვრულ რაოდენობას, მაშინ ეს პოპულაციები მრავლდებოდა და აღწევდა გარკვეულ მუდმივ რიცხობრიობას. მაგრამ თუ ორივესახეობის კულტივირებას ერთად ახდენდნენ და საკვების რაოდენობა ისევ მკაცრად იყო განსაზღვრული, მაშინ დაახლოებით ორი კვირის შემდეგ გადარჩებოდა მხოლოდ ერთი სახეობის ინდივიდები, მეორე ინდივიდები კი იღუპებოდა. აღსანიშნავია, რომ გადარჩენილი სახეობის ინდივიდები არც თავს ესხმოდნენ მეორე სახეობის ინდივიდებს და არც შხამიან ნივთიერებებს გამოჰყოფდნენ. ისინი მხოლოდ უფრო სწრაფად იზრდებოდნენ და ამიტომ იმარჯვებდნენ საკვების შეზღუდული რაოდენობისათვის კონკურენციაში.

ფ. გაუზემ ნამოაყენა პრინციპი ორი სახეობა ვერ იარსებებს შეზღუდულ სიერცეში, თუ მათი ძირითა-

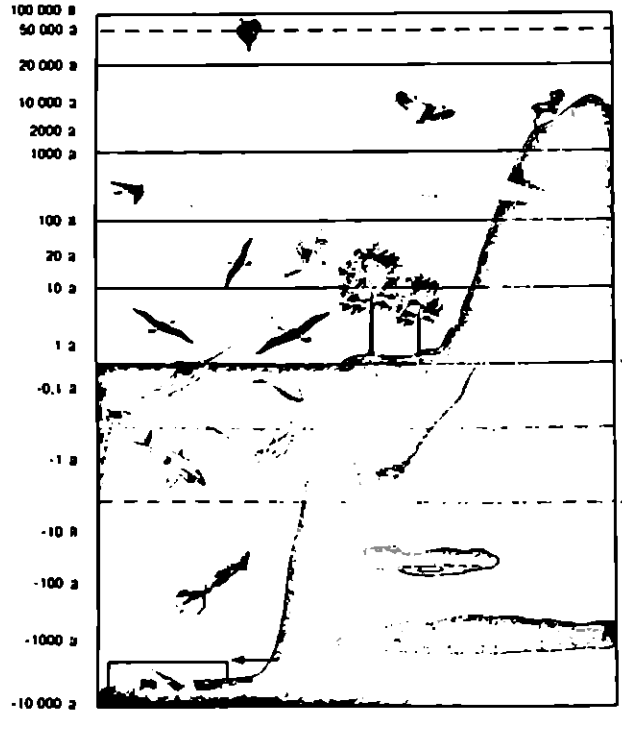


სურ. 9.15. გაუზეს ექსპერიმენტი
1 – კონკურენციაში გამარჯვებული სახეობა
2 — კონკურენციაში დამარცხებული სახეობა

დი საარსებო რესურსი ერთნაირი იქნება. ანუ ორი სახეობა ვერ შექმნის თანასაზოგადოებას ერთ ეკოლოგიურ ნიშში. გაუზემ წამოყენებული პრინციპი დაამტკიცა უმარტივესთა ქცევაზე ჩატარებული ექსპერიმენტით. ორი სახეობის კონკურენციის ობიექტს წარმოადგენდა ჟანგბადის მოხმარება. ექსპერიმენტი ისე იყო ჩატარებული, რომ ერთი სახეობა ჟანგბადს ღებულობდა ნორმალურად, მეორე კი ნაკლებს ერთნაირ გარემოში. დროთა მსვლელობაში ჟანგბადის ნაკლებ მომხმარი სახეობის ინდივიდია რაოდენობა მცირდება *(სურ. 9.15)*. სურათზე კონკურენციის შედეგი კარგად ჩანს. თუ ექსპერიმენტი გაგრძელდა და კონკურენციაში დამარცხებულმა სახეობამ ვერ მოიპოვა ადგილი ისეთი, რომ მიეღო ჟანგბადი სიცოცხლისათვის საჭირო რაოდენობით, იღუპება. ორგანიზმთა კონკრეტული ურთიერთობა ვლინდება ისეთ პირობებში, როდესაც ისინი ისწრაფვიან ერთი და იმავე საარსებო რესურსის გამოსაყენებლად. ამიტომ კონკურენცია უარყოფით გაელენას ახდენს მათ ზრდასა და განვითარებაზე.

9.8. ბიოსფერო როგორც გლობალური ეკოლოგიური სისტემა

ბიოსფეროს განმარტება. დედამიწაზე ცოცხალ ორგანიზმთა ისტორია 3,5 მილიარდი წლის წინათ დაიწყო. ცოცხალ ორგანიზმთა წარმოშობიდან დღემდე მრავალი სახეობა ამოწყდა და მრავალი ახალი წარმოიშვა. სიცოცხლის წარმოშობამ დიდი გაელენა მოახდინა დედამიწის ქერქისა და ატმოსფეროს ევოლუციაზე. მეცნარეებმა, სოკოებმა და მიკროორგანიზმებმა ჩვენს პლანეტაზე დაიკავეს კონკრეტული საარსებო გარემო. მათ დამოუკიდებელი არსებობა არ შეუძლიათ. ორგანიზმთა არსებობა დამოკიდებულია ერთმანეთთან მჭიდრო ურთიერთობაზე. არც ერთი ცოცხალი ორგანიზმი, ნებისმიერი სახეობისა ცალკე არ არსებობს, ისინი ქმნიან ჯგუფებს, რასაც პოპულაცია ეწოდება. პოპულაციის შიგნით არსებობს რთული ურთიერთდამოკიდებულება როგორც ორგანიზმებს შორის, ისე გარემოს პირობებთან. ამიტომ ეკოლოგიაში პოპულაცია განიხილება, როგორც ორგანიზაციის ყველაზე დაბალი დონე. ბუნებაში დონის გარდა არსებობს მაღალი მეგაეკოლოგიური სისტემა — ბიოსფერო, რომელიც მდგრადი, ღია, თვითორგანიზებადი სისტემაა.

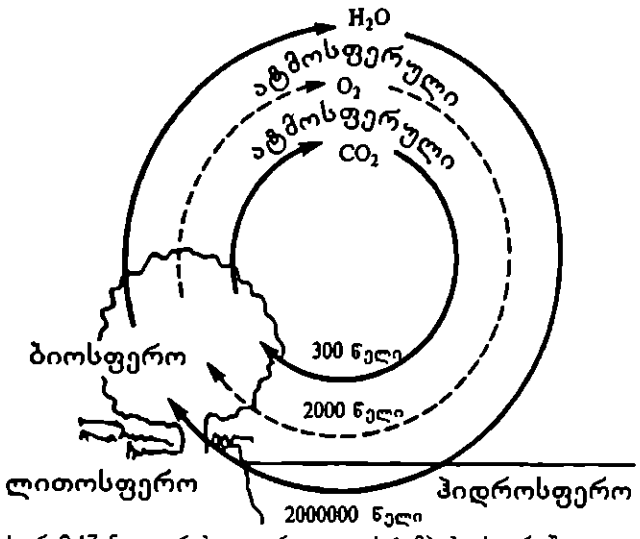


სურ. 9.16. ორგანიზმთა გავრცელება ბიოსფეროში: 1 — ოზონის შრე; 2 — თოვლის საფარი; 3 — ნიადაგი; 4 — მღვიელების ცხოველები; 5 — ბაქტერიები ნაეთობის საბადოებში; 6 — ფსკერის ცხოველები.

ცოცხალ ორგანიზმთა მრავალფეროვნებას და მათ შორის კავშირს ყურადღება მიაქცია ჟან ბატისტ ლამარკმა. მან 1809 წელს გეოქიმიური იდეის მსჯელობისას გამოიყენა ტერმინი „ბიოსფერო". ისე როგორც ლამარკის ევოლუციის თეორია, ასევე ბიოსფეროც არ გახდა მეცნიერებაში პოპულარული. მოგვიანებით 1875 წელს ცნობილმა ავსტრიელმა გეოლოგმა ედუარდ ზიუსმა თავის ნაშრომში ალპების წარმოშობაში გამოიყენა ტერმინი „ბიოსფერო". ისევე როგორც ლამარკის, არც ზიუსის გამოყენებულ ტერმინს არ მოჰყვა მეცნიერული დაინტერესება. 1926 წელს რუსულად და 1929 წელს ფრანგულად ქვეყნდება მინეროლოგ ვ. ვერნადსკის ორი ლექცია. ლექციებში განხილული კონცეფცია ბიოსფეროზე, რომელიც დღეს გაზიარებულია, ძირითადად ეყრდნობა ვერნადსკის იდეებს.

ბიოსფერო, დედამიწის გეოლოგიური გარსია, რომელიც დასახლებულია ცოცხალი ორგანიზმებით. ბიოსფეროს ასეთი განმარტება წარმოშობს კითხვებს და თხოულობს

დაზუსტებას. დედამიწის მაღალი სიმაღლიდან აღებულ ჰაერს თუ გავატარებთ ფილტრში, მასში აღმოჩნდება ბაქტერიის სპორები და სკოლები. ამას „აეროპლანქტონს“ უწოდებენ, მაგრამ მასში აღმოჩენილ ორგანიზმებს აქტიურ მეტაბოლიზმის უნარი არ გააჩნია. დედამიწაზე არსებობს ადგილები დაბალი ტემპერატურიანი და მაღალ ტემპერატურიანი ანდა მშრალი, რომელშიც არსებული ორგანიზმები აგრეთვე ვერ არსებობენ აქტიურ მეტაბოლიზმს. ამ ადგილებში ყოველთვის შეიძლება სპორების პოვნა. რასაკვირველია, ეს არ ვრცელდება ადამიანებზე, რომელსაც შეუძლია სათანადო აღჭურვილობის გამოყენებით გადალახოს ტემპერატურის როგორც მაღალი, ისე დაბალი შემზღუდველი ფაქტორი. დღეს ცოცხალ ორგანიზმებს შეუძლიათ იარსებონ შორს ბუნებრივ ბიოსფეროდან კოსმოსურ ხელოვნურ თანამგზავრებში ან სკაფანდრებში. ასეთი ხელოვნურად შექმნილი საარსებო გარემო შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ნაწილი ბუნებრივი ბიოსფეროსი და დროებით შეტანილი კოსმოსში.



სურ. 9.17. ნივთიერებათა ცირკულაციის ტემპი ბიოსფეროში

ბიოსფეროში არსებობს ოთხი ძირითადი საარსებო გარემო: წყლის, ხმელეთ-ჰაერის, ნიადაგისა და მეოთხე შექმნილი თვითონ ცოცხალ ორგანიზმებისაგან *(სურ. 9.16)*. საარსებო გარემოს შექმნას ხელი შეუწყო სამმა პირობამ. პირველი — ბიოსფერო განუწყვეტლივ ღებულობს დიდ ნაკადს მზის ენერგიისას, მეორე — ბიოსფეროში არსებობს დიდი რაოდენობით თხევადი წყალი, მესამე — ბიოსფეროში ნივთები არსებობს თხევად, მყარ და გაზურ მდგომარეობაში.

ბიოსფეროს ევოლუცია. ბიოსფეროს ევოლუცია მიმდინარეობდა და დღესაც გრძელდება სამი ურთიერთ მჭიდროდ დამოკიდებულ ფაქტორთა ზემოქმედებით:

დედამიწაზე მიმდიანრე ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნები;

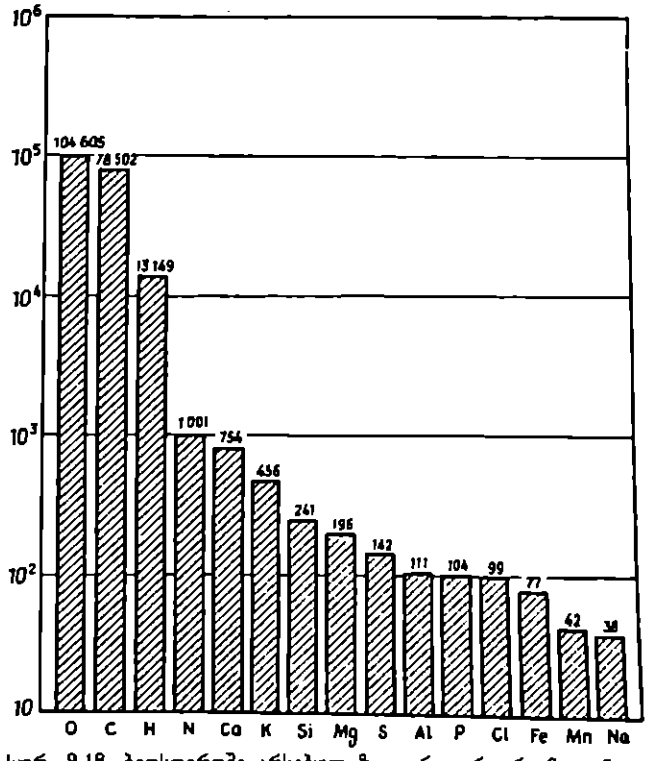
ცოცხალ ორგანიზმთა ბიოლოგიური ევოლუცია;

ადამიანთა საზოგადოების სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი. ნოოსფეროს შექმნა.

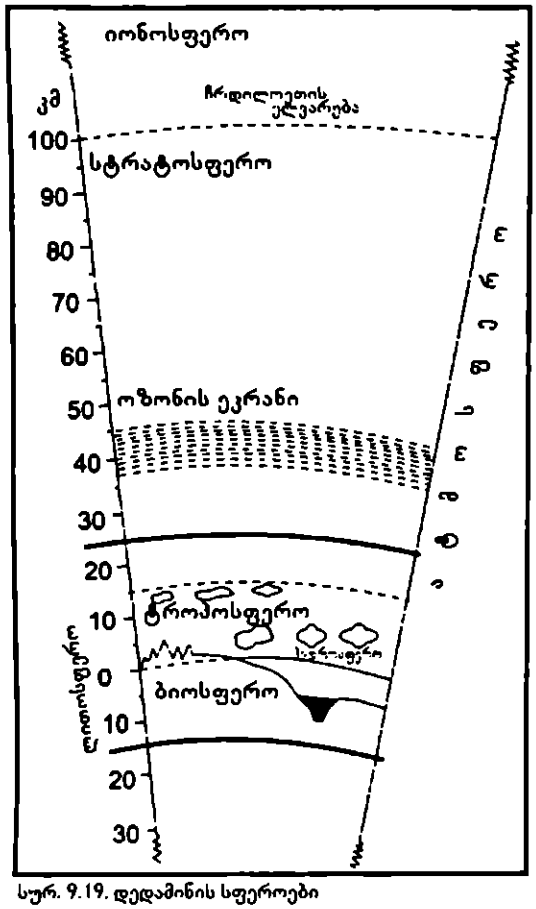
ორგანიზმების ცხოველმოქმედებამ შეცვალა და ცელის დედამიწის ქერქსა და ატმოსფეროს. ცოცხალ ორგანიზმთა მცენარეულმა ნანილმა მილიარდობით ნლების მანძილზე გაწმინდა ატმოსფერო ნახშირორჟანგისაგან და გაამდიდრა ჟანგბადით. ნახშირბადი მოექცა კირქვებში, ქვანახშირსა და ნავთობში. ბიოსფეროში ნივთიერებათა ცირკულაციის ტემპი ნაჩვენებია სურათზე *(სურ. 9.17)*.

ყველა არაორგანული ნაერთების მიღება, როგორც საჭიროა ორგანიზმთა სიცოცხლისათვის ხდება ატმოსფეროდან და დედამინის ქერქიდან *(სურ. 9.18)*. ქერქში არსებობს 92 ბუნებრივი ელემენტი. ელემენტები არსებობენ მინერალების ფორმით. მინერალები ეწოდება ორ ან მეტ ბუნებრივ არაორგანულ ნაერთთა შენაერთს კონკრეტული მასით. მაგალითად, კვარცი (SiO_2) და კალციტი ($CaCO_3$).

ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ერთო-



სურ. 9.18. ბიოსფეროში არსებულ ზოგიერთ არაორგანულ ნივთიერებათა მასა. ჰისტოგრამით ნაჩვენებია ბიოსფეროს ერთ ჰექტარზე არსებული ნივთიერების მასა კილოგრამებში.



სურ. 9.19. დედამინის სფეროები

ბლიობა შეადგენს ბიოსფეროს ცოცხალ ნივთიერებას ანუ ბიომასას. დღეს ბიოსფეროს ბიომასა არის დაახლოებით 2,5 ტრილიონი ტონა მშრალი მასა. ამ მასის 99% შექმნილია მწვანე მცენარეებით. სუფთა ყოველწლიური პროდუქტიულობა ბიოსფეროსი, რომელიც წარმოიქმნება ახალ ორგანულ მასალისაგან არის 10%, ანუ 150-200 მილიარდი ტონა მშრალი ნივთიერება. ეს ნიშნავს, რომ პლანეტის ბიომასის 1% ანუ (20 მილიარდი ტონა) ერთი წლის განმავლობაში გადაამუშავებს დაახლოებით 8-10 ჯერ მეტ მასას, ვიდრე თავის წონაა.

ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლე არსებობს ოკეანის ფსკერზე 11 500 მეტრზე ზღვის დონიდან. სიცოცხლე არსებობს ზღვის დონიდან მაღლა 8 839 მეტრზე ჰიმალაის მთებში. ეკოლოგებს აღმოჩენილი აქვთ დედამიწის ზედაპირიდან 80 კილომეტრზე მოსვენების მდგომარეობაში არსებული მიკროორგანიზმები. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ დეადმიწის რადიუსი 6 400 კილომეტრია, ხოლო ატმოსფეროს შრის სისქე 288 კმ გამოდის, რომ ბიოსფერო წარმოადგენს 1%-ზე ნაკლებს პლანეტის მთლიანი მასის. ბიოსფეროს გეოლოგიური მოცულობა შეადგენს 4%-ზე მეტს, დედამინის საერთო მოცულობის.

ადამიანი ბიოსფეროდან ყოველწლიურად ღებულობს დაახლოებით 1 200X106 ტ მცენარეულ და 90X106 ტ ცხოველურ საკვებს.

ბიოსფეროს სტრუქტურა. დედამინაზე არჩევენ სამ განსხვავებულ სფეროს. ატმოსფეროს (ჰაერის), ჰიდროსფეროს (წყლის) და ლითოსფეროს (მყარს). დედამინის სფეროები სქემატურად წარმოდგენილია სურათზე *(სურ. 9.19).*

ატმოსფერო — ჰაერის ფენა, იწყება ლითოსფეროს და ჰიდროსფეროს ზედაპირიდან და ვრცელდება ვერტიკალურად 100 კმ-მდე. ის პლანეტის პერიფერიული ფენაა. წარმოადგენს ბუნებრივ ნარევს აზოტის 78,09%-ს, ჟანგბადის 20,95%-ს, არგონის 0,93%-ს, ნახშირორჟანგის 0,03%-ს. დანარჩენი ინერტული აირებია წყალბადი, ოზონი, აზოტის ჟანგეულები, ამიაკი, მეთანი, გოგირდოვანი ანჰიდრიდები და სხვ.

ატმოსფეროს ქვედა შრეს, რომლის სიმაღლე საშუალოდ 15 კმ-ია ეწოდება ტროპოსფერო (ბერძ. „ტროპე" — ცვლილება). ტროპოსფერო შეიცავს ჰაერში არსებულ წყლის ორთქლს. ტროპოსფეროს ზევით არის სტრატოსფერო (ბერძ. „სტრატუმ" — შრე), რომლის სიმაღლე 100 კმ-მდეა, მის საზღვარზე წარმოიქმნება ჩრდილოეთის ციალი.

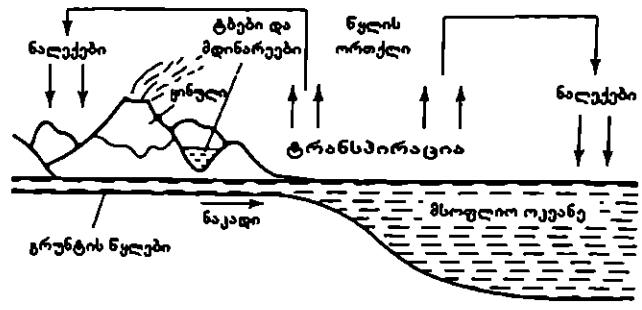
სტრატოსფეროს ფენაში 10-15 კილომეტრის ფარგლებში თავისუფალი ორვალენტიანი ჟანგბადი მზის რადიაციის გავლენით გადაიქცევა სამვალენტიან ოზონად (O2 — O3). ოზონი (ბერძ. სუნიანი) ქიმიურად დიდი რექტულობით გამოირჩევა და ტოქსიკურია. ოზონი დედამინას ახვევია და ქმნის ოზონის ეკრანს. ეკრანი პოლუსებთან 7-8 კმ-ით, ეკვატორთან 17-18-ით არის დაშორებული დედამინის ზედაპირიდან. ეკვატორთან ოზონის ეკრანი ზოგან 50 კმ-მდეა. ოზონის ეკრანი ირეკლავს ცოცხალი ორგანიზმებისთვის დამღუპველ კოსმოსურ გამოსხივებას და ნაწილობრივ მზის ულტრაიისფერ სხივებს.

პირველად 1970 წელს ანტარქტიდის თავზე აღმოაჩინეს ოზონის ეკრანის ხვრელი. ხვრელი ყოველწლიურად ფართოვდებოდა.

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ოზონის ხვრელის წარმოშობაში აქტიურ როლს თამაშობდა ფრეონი. ფრეონს ფართო გამოყენება ჰქონდა საღებავებში და მაცივრების მუშაობაში. დაიწყო ბრძოლა ფრეონის გამოყენების წინააღმდეგ. 1987 წელს მონრეალში 24 ქვეყანამ ხელი მოაწერა შეთანხმებას, რომლის საფუძველზე 193 სახელმწიფოს აუკრძალეს ფრეონის წარმოება. ფრეონის გამომუშავება 97% შემცირდა. 2006 წლისთვის ოზონის ეკრანის ხვრელი იყო 29,5 მილიონ კვადრატული კილომეტრი, რაც აფრიკის კონტინენტის ფართობის ტოლია, ვინაიდან ფრეონის წარმოება საგრძნობლად შემცირდა, ეკოლოგები 2050 წლამდე ოზონის ეკრანში დიდ ცვლილებებს არ ელოდებიან.

ლითოსფერო (ბერძ. „ლითოს" — ქვა) დედამინის გარე მყარი გარსია. არჩევენ ორ შრეს. ზედა შრე შედგება ქანებისა და გრანიტისაგან, ქვედა — ბაზალტისაგან. შრეები არათანაბრადაა განლაგებული. გრანიტი ალაგ-ალაგ მიწის ზედაპირზე გამოდის. ლითოსფეროს სიღრმე მერყეობს 50-200 კილომეტრამდე. ლითოსფერო შემადგენელი ნაწილია ბიოსფეროს გარემოსი. ლითოსფეროს ცოცხალ ორგანიზმთა უმეტესობა ნიადაგშია განსახლებული.

ნიადაგი მჭიდროდაა დასახლებული ცოცხალი ორგანიზმებით. მარტო ჭიაყელების ბიომასა თიხნარ ნიადაგში 2,5 მილიონ ინდივიდს აღწევს, ანუ 1,2 ტონას 1 ჰექტარზე. 1 გრამ ნიადაგში ასობით მილიონი ბაქტერიაა. წვიმისა და დამდნარი თოვლის წყალი ამდიდრებს ნიადაგს ჟანგბადით და ხსნის მინერალურ მარილებს, ხსნარების ნაწილი ნიადაგში ქავდება, ნაწილი კი მდინარეებსა და ოკეანეებში ჩაედინება. ნიადაგი აორთქლებს კაპილარების გზით ამოსულ გრუნტის წყალს. ხდება ხსნარების მოძრაობა და მარილების გამოყოფა ნიადაგის სხვადასხვა ჰორიზონტში.



სურ 9.20. წყლის წრებრუნვა ბიოსფეროში

ნიადაგში მიმდინარეობს აირთა ცვლაც. ღამით აირების გაცივებისა და შეკუმშვის გამო ნიადაგში გარკვეული რაოდენობით შედის ჰაერი. ჰაერის ჟანგბადს შთანთქავენ ცხოველები და მცენარეები. იგი შედის აგრეთვე ქიმიურ ნაერთთა შემადგენლობაში. ჰაერთან ერთად ნიადაგში შეღწეულ აზოტს შთანთქავს ზოგიერთი ბაქტერია. დღისით ნიადაგის გათბობის გამო იქიდან გამოიყოფა აირები: ნახშირორჟანგი, გოგირდწყალბადი, ამიაკი. ნიადაგში მიმდინარე ყველა პროცესი ჩართული ბიოსფეროს ნივთიერებათა მიმოქცევაში.

ჰიდროსფერო — დედამიწის წყლის გარსია, რომელიც წყვეტილად არის განაწილებული ლითოსფეროში. წარმოადგენს ოკეანეების, ზღვებისა და ხმელეთის ზედაპირული წყლების ერთობლიობას. ფართო გაგებით, მოიცავს აგრეთვე მიწისქვეშა წყლებს, არქტიკისა და ანტარქტიკის ყინულსა და თოვლს, აგრეთვე ატმოსფეროში და ცოცხალ ორგანიზმებში არსებულ წყალს.

წყლის ძირითადი რაოდენობა (95%) მოთავსებულია მსოფლიო ოკეანეში. მსოფლიო ოკეანეს უჭირავს დედამიწის ზედაპირის 70% და მოიცავს 1 300 მილიონ კმ3 წყალს. ხმელეთის ზედაპირის (ტბები, მდინარეები) მოიცავს 0,182 მილიონ კმ3 წყალს. ცოცხალ ორგანიზმებში წყალი მხოლოდ 0,001 მილიონ კმ3-ია. წყლის მარაგს 24 მილიონ კმ3 რაოდენობით შეიცავს ყინულები.

დიდი მნიშვნელობა აქვს ბიოსფეროსთვის გახსნილ ჟანგბადის და ნახშირორჟანგის გაზებს, რომელთა შემცველობა მერყეობა. მათი რაოდენობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და წყალში არსებულ ცოცხალ ორგანიზმებზე. წყალში ნახშირორჟანგის შემცველობა შედარებით ატმოსფეროსთან 60-ჯერ მეტია.

ჰიდროსფეროს ფორმირება გამოიწვია ლითოსფეროს განვითარებამ. ლითოსფერო გეოლოგიური ისტორიის მანძილზე გამოყოფდა დიდი რაოდენობის წყლის ორთქლს. წყლის აორთქლება დღესაც გრძელდება. წყლის წრებრუნვა ბიოსფეროში სქემატურად ნაჩვენებია სურათზე *(სურ. 9.20).*

წყალს აქვს ორგანიზმების სიცოცხლისათვის მნიშვნელოვანი თვისებები. მისი მაღალი თბოტევადობის გამო ოკეანეებისა და ზღვების ტემპერატურა წლის განმავლობაში მკვეთრად არ იცვლება. წყლის თბოგამტარობა 20-ჯერ მეტია ჰაერის თბოგამტარობაზე. ოკეანეები იყინება მხოლოდ პოლუსებთან, მაგრამ ყინულის ქვეშ მაინც არსებობენ ცოცხალი ორგანიზმები.

წყალი კარგი გამხსნელია. ოკეანის წყლის შემადგენლობაში შედის მინერალური მარილები, რომლებიც დაახლოებით 60 ქიმიურ ელემენტს შეიცავს. მასში გახსნილია ჰაერიდან შესული ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი, რასაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მცენარეებისა და ცხოველების სიცოცხლისათვის. წყლის ცხოველები სუნთქვის დროს გამოყოფენ ნახშირორჟანგს, ხოლო წყალმცენარეები ფოტოსინთეზის დროს წყალს ამდიდრებენ ჟანგბადით.

ოკეანის წყლის ფიზიკური თვისებები და ქიმიური შემადგენლობა

საკმაოდ მუდმივია და სიცოცხლისათვის ხელსაყრელ გარემოს ქმნის. წყალმცენარეული ფოტოსინთეზი მიმდინარეობს უმთავრესად წყლის ზედა შრეში 100 მეტრის სიღრმემე. ოკეანის ზედაპირის მთელი ეს შრე სავსეა ერთუჯრედიანი მიკროსკოპული წყალმცენარეებით, რომლებიც წარმოქმნიან პლანქტონს (ბერძ. „პლანქტოს" — მოხეტიალე).

მთელ პლანეტაზე მიმდინარე ფოტოსინთეზის დაახლოებით 1/3 ოკეანეზე მოდის. ოკეანის ზედაპირული შრის წყალმცენარეები მზის ენერგიის ქიმიურ ენერგიად გარდაქმნის ტრანსფორმატორებია.

პლაქტონს უპირატესი მნიშვნელობა აქვს ოკეანის ცხოელეთა სამყაროს წარმომადგენელთა კვებისათვის. წყალმცენარეებით იკვებებიან ნიჩაბფეხიანი კიბოები. კიბოებს ჭამენ ქასაყები და სხვა თევზები. თავის მხრივ, ქაშაყები მტაცებელი თევზებისა და თოლიების საკვებია. ულვაშებიანი ვეშაპი მხოლოდ პლანქტონით იკვებება.

პლანქტონისა და თავისუფლად მცურავი ცხოველების გარდა, ოკეანეში ბევრია ისეთი ორგანიზმიც, რომლებიც ან მიმაგრებული არიან ფსკერზე, ანდა დახოხავენ მასზე. ფსკერზე ბინადარ ორგანიზმებს ეწოდება ბენთოსი (ბერძ. „ბენთოს" — სიღრმისეული).

მსხვილი წყალმცენარეები იზრდება ოკეანეებსა და ზღვების ნაპირებთან სხვადასხვა სიღრმეზე: მწვანე წყალმცენარეები 50-100 მეტრამდე; ნაბლა წყალმცენარეები — ფუკუსები, ლამინარიები 100-150 მეტრამდე; წითელი პორფირა და სხვა — 200 მეტრამდე. ბევრი მათგანი დიდი ზომისაა: ლამინარიები — 12 მეტრამდე,

ხოლო ზოგჯერ 22 მეტრამდეც; მაკროცისტისები — 50 მეტრამდე. წყალმცენარეების ბარდები სავსეა ყოველგვარი ცხოველით. სხვადასხვა სახეობის წყალმცენარეების რაოდენობა პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ მატულობს.

ოკეანეში შეიმჩნევა ორგანიზმების გროვები: პლანქტონური, სანაპირო და ფსკრული. ცოცხალ გროვებს მიეკუთვნება აგრეთვე მარჯნის კოლონიებიც, რომლებიც კუნძულებსა და რიფებს წარმოქმნიან. ოკეანეებში ბიომასა ძირითადად გაფანტულია. წყლის უდიდეს მასაში დაცურავენ თევზები, ზღვის ძუძუმწოვრები, კალმარები.

ოკეანეში, განსაკუთრებით მის ფსკერზე, გავრცელებულია ბაქტერიები, რომლებიც ნივთიერების ნარჩენებს გარდაქმნიან არაორგანულად. მკვდარი ორგანიზმები ნელ-ნელა ილექებიან ოკეანის ფსკერზე, ბევრი მათგანი დაფარულია კაჟოვანი ან კირიანი გარსებით, აგრეთვე, კირიანი ნიჟარებით. ოკეანის ფსკერზე ისინი წარმოქმნიან დანალექ ქანებს, მაგალითად, იმ ზღვის ადგილზე, რომელიც 100 მილიონი წლის წინათ ფარავდა ცენტრალურ ევროპას, მიწაში პოულობენ კირქვებს, ცარცს. მასში შეიძლება ვნახოთ უძველესი ცხოველების (ფესვფეხიანები და სხვ.) მიკროსკოპული ნიჟარები.

მსოფლიო ოკეანეში ცოცხალი ბიომასა 1000-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ხმელეთზე, ოკეანის ფართობზე მზის ენერგიის გამოყენება 0,04%, ხოლო ხმელეთზე — 0,1% შეადგენს. ოკეანე არც ისე მდიდარია ცოცხალი ორგანიზმებით, როგორც ეს ახლო წარსულში ეგონათ.

ამჟამად ბევრ ქვეყანაში წყდება პრობლემა ოკეანიდან მტკნარი წყლის, ლითონების მოპოვებისა და აგრეთვე მისი საკვები რესურსების უფრო სრულად გამოყენების შესახებ. ამასთან ერთად განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მეტად ძვირფასი ცხოველების დაცვის საქმეს.

ჰიდროსფერო ძლიერ გავლენას ახდენს მთელ ბიოსფეროზე, ხმელეთისა და ოკეანის ზეადპირის გათბობის დღეღამური და სეზონური რყევა იწვევს ატმოსფეროში სითბოსა და ტენის ცირკულაციას და გავლენას ახდენს მთელ ბიოსფეროში ჰაერსა და ნივთიერებათა მიმოქცევაზე.

თავი 10. ადამიანი და გარემო

10.1. ანთროპოგენური ზემოქმედება ბიოსფეროზე

ადამიანი განსხვავდება ბიოსფეროში არსებულ ყველა ცოცხალი ორგანიზმებიდან იმით, რომ იგი კი არ ეგუება ეოლუციურად ჩამოყალიბებული გარემოს, არამედ ცდილობს ბიოსფერო გამოიყენოს თავის სასარგებლოდ.

კაცობრიობა ბიოსფეროს დიდი ბიომასა არ არის, მაგრამ იგი მასზე უდიდეს ზეგავლენას ახდენს. კაცობრიობის მოქმედების მასშტაბები თანდათან ფართოვდება იმის წყალობით, რომ განუწყვეტლივ მატულობს ადამიანთა რიცხვი და იზრდება მისწრაფება ბუნებრივ გარემოზე სამეცნიერო-ტექნიკური ზემოქმედების დასაჩქარებლად.

პალეოლითში ადამიანი არ ერეოდა ბიოსფეროში მიმდინარე ნივთიერებათა ბუნებრივ წრებრუნვაში. ნეოლითის დასაწყისში 5-6 ათასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, დედამიწის მოსახლეობის რაოდენობა 10 მილიონს არ აღემატებოდა. დღეს კი მოსახლეობის რაოდენობამ 7 მილიარდს გადააჭარბა.

ბუნებათსარგებლობის პროცესში კაცობრიობას ჩვენს პლანეტაზე ყოველწლიურად ბრუნვაში აქვს 4 ტრილიონ ტონაზე მეტი ნივთიერება; ქმნის ათობით ახალ ქიმიურ ნაერთს, რომელთა უმეტესი ნაწილი არ ერთვება ნივთიერებათა ბიოგენურ მიმოქცევაში და საბოლოო ჯამში გროვდება ბიოსფეროში. რაც მის გაჭუჭყიანებას იწვევს. სამრეწველო ობიექტების მოქმედების შედეგად ჭუჭყიანდება ბუნებრივი გარემო, მცირდება მზის რადიაციის დონე დიდ გეოგრაფიულ რეგიონებზე.

ბიოსფეროს განვითარებაში დადგა ისეთი პერიოდი, როდესაც ადამიანმა თავისი სამეურნეო შრომა-საქმიანობა ისე უნდა დაგეგმოს, რომ არ დაარღვიოს ეკოსისტემაში ჩამოყალიბებული კანონზომიერებანი და ხელს არ უწყობდეს ბიომასის შემცირებას. უნდა მოხდეს გაანალიზება ერთ მნიშვნელოვან კანონზომიერების, ბიოსფერო არსებობდა და იარსებებს ადამიანისი გარეშე, მაგრამ ადამიანი ბიოსფეროს გარეშე ვერ იარსებებს.

ხმელეთის ბიომასაზე დიდ გავლენას ახდენს ადამიანი. მისი უშუალო ზემოქმედებით მცირდება ბიომასის მაწარმოებელი ფართობები. ამიტომ, საჭიროა მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობისათვის რაციონალურად გამოვიყენოთ მიწა და წყალსატევები.

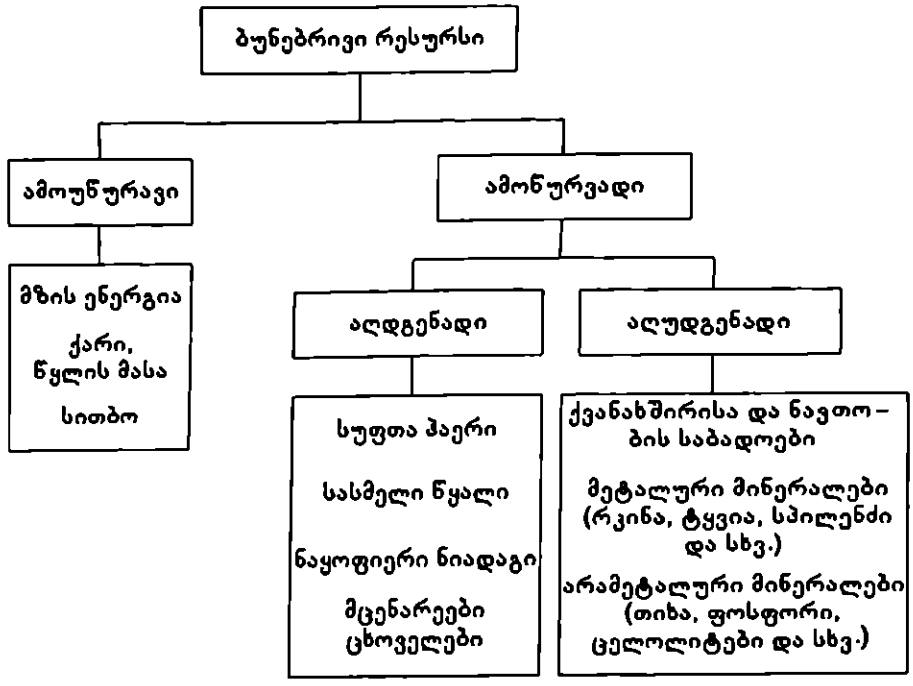
ზღვაში ნავთობის მოპოვება, ტანკერებში მისი გადაზიდვა და ადამიანისი სხვა სახის საქმიანობა მსოფლიო ოკეანის გაჭუჭყიანებას იწვევს და ამცირებს მის ბიომასას. საჭიროა ზომების მიღება წყლის გაჭუჭყიანების დასაცავად.

ბიოსფერომ ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი ცვლილებები მაშინ განიცადა, როდესაც დედამიწაზე ადამიანი გაჩნდა. გეოლოგიური თვალსაზრისით, დროის სულ მცირე მონაკვეთში მრეწველობის, მეცნიერებისა და ტექნიკის მძლავრად განვითარებამ საგრძნობლად ხელი შეუწყო ბიოსფეროში ელემენტთა ბიოლოგიური მიგრაციის დაჩქარებას. ადამიანმა ათეულ ათასობით ხეხილისა და ცხოველსი ახალი ჯიში გამოიყვანა. იგი თავისი მოღვაწეობი. აჩარებს ბუნებაში სახეობათა ევოლუციას, სცვლის ორგანულ სამყაროსა და ბუნებრივ გარემოს.

ადამიანი დიდი ხნის განმავლობაში უშუალოდ დამოკიდებული იყო გარემომცველ ბუნებაზე. ადამიანი, ტვინის განვითარებასთან ერთად, თვითონ გახდა დედამიწაზე შემდგომი ევოლუციის მძლავრი ფაქტორი. ადამიანსი მიერ სხვადასხვა სახის ენერგიის — მექანიკური, ელექტრონული და ატომური — დაუფლებამ ხელი შეუწყო დედამიწის ქერქისა და ატომთა ბიოგენური მიგრაციის საგრძნობლად შეცვლას. ქვის იარარების გამოყენება გრძელდებოდა ასეულ ატასობით წელს, ხოლო ქვის საუკუნიდან ატომურ საუკუნემდე გავიდა მხოლოდ რამდენიმე ათასწლეული თავისი არსებობის მანძილზე კაცობრიობამ მოიპოვა დაახლოებით 50 მილიარდი ტონა ქვანახშირი, 2 მილიარდი ტონა ტონა რკინა და მილიონი ტონობით სხვა ლითონები, ადამიანის საქმიანობის შედეგად ელემენტების სულ უფრო მეტი რიცხვი შედის ბიოსფეროს ატომთა მიგრაციაში. ეს განსაკუთრებით გამოვლინდა ომის დროს, როცა ომების წარმოების ყოველი წელი მოითხოვდა ათეულ მილიონობით ტონა რკინას, ფოლადს, ცემენტს, ნავთობს, ასეულ მილიონობით ტონა ქვანახშირს და სხვ.

ამიტომ, როდესაც ვსაუბრობთ ეკოლოგიურ საარსებო გარემოზე აუცილებელია გავითვალისწინოთ ის ცვლილებები რომელიც ხდება გარემოში ადამიანის აქტიური ჩარევით. კაცობრიობა ვალდებულია გაუფრთხილდეს და გონივრულად მოიხმაროს ის ბუნებრივი რესურსები, რომლებიც კლასიფიცირებულია *ცხრილში 10.1.*

ცხრილი10.1.
ადამიანის მიერ გამოყენებული ბუნებრივი რესურსები



1927 წელს ე.ლერუამ და პიერ ტეიარ დე შარდენმა 1930 წელს შემოიტანეს ტერმინი „ნოოსფერო" (ბერძ. noos — აზრი, sfaiza — სფერო) ქართულად აზრის სფერო. ნოოსფეროზე საინტერესოდ წერს პიერ ტეიარ დე შარდენი: „რაოდენ ჭკუის სასწავლია (თუ დანახვის უნარი გვაქვს) იმის კონსტატაცია, თუ უნივერსალური და ხანგრძლივი მზადების შედეგად, რა შეუმჩნევლად მოხდა ისეთი გრანდიოზული მოვლენა, როგორიცაა ჩვენი ნოოსფეროს ნარმოება. ადამიანი უხმაუროდ შემოვიდა სამყაროში ..."

მართალია პიერ ტეარ დე შარდენი, რომ ადამიანი უხმაუროდ შევიდა ნოოსფეროში, მაგრამ მისმა საქმიანობამ დიდი უბედურება მოუტანა კაცობრიობას. გავიხსენოთ 1945 წლის იაპონიის ორ ქალაქში აფეთქებული ატომური ბომბის შედეგები. ამას ემატება ატომური იარაღის გამოცდის მრავალი აფეთქებები. რის შედეგადაც მოხდა ატმოსფეროს რადიაქტიური დაბინძურება.

ცხრილი 10.2.
ადამიანის ბუნებასთან ურთიერთობის ტიპები

მიდგომა	არსი	მიზანი
უტილიტარული	ბუნების პრაქტიკული და მატერიალური ექსპლოატაცია	ფიზიკური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა
ნატურალისტური	ბუნებასთან უშუალო კონტაქტით მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილება	ცნობისმოყვარეობის განვითარება
ეკოლოგიურ-მეცნიერული	სტრუქტურის, ფუნქციისა და ურთიერთობის სისტემატიკური შესწავლა ბუნებაში	შეცნობა, გაგება და დაკვირვების განვითარება
ესთეტიკური	ბუნების სილამაზის შეგრძნება	დაცულობის გრძნობის გამომუშავება
სიმბოლური	ბუნება, როგორც ენისა და მეტაფორული აზროვნების ნყარო	გონებრივი შესაძლებლობების განვითარება
პუმანური	ბუნების სიყვარული და ემოციური მიჯაჭვულობა	კაეშირი, დახმარება, თანამშრომლობა და განმარტოება
ზნეობრივი	ბუნებასთან ნათესაობის პასუხისმგებლობის განცდა	სულიერი ახლობლობისა და ცხოვრების მიზნის გამომუშავება
მკაცრი	ბუნებაზე უპირატესობისა და პატრონობის გრძნობა	მექანიკურ ჩვევათა გამომუშავება და დამორჩილების სურვილი
ნეგატიური	ბუნების შეჯავრება და მისგან გაქცევა	უშიშრობა, დაცვა

ატომური ბომბების გამოცდა და ატომური ენერგიის გამოყენებაზე დაფუძნებულ სანარმოთა ნარჩენებისადმი უპასუხისმგებლო დამოკიდებულება იწვევს ჰაერის, წყლისა და ნიადაგის რადიაქტივების გადიდებას. რადიაქტივობა ერცელდება კვების ჯაჭვით როგორც ოკეანეში, ისე ხმელეთზე. რადიაქტივობა პირველ რიგში აზიანებს პლანქტონსა და ფსკერზე ბინადარ ცხოველებს. პლანქტონიდან კი კვების ჯაჭვით იგი გადაეცემა სხვადასხვა თევზს, თევზით მკვებავ ფრინველებს. რადიაქტივობა ხმელეთზე გადააქვთ. ნარჩენების ლპობისას რადიაქტივობა ბაქტერიებს გადაეცემა ძვლის ტვინში რადიაქტიური ნივთიერებების დაგროვება იწვევს სისხლის გათეთრებას, კიბოთი დაავადებას. ჰაერის, წყლის და ნიადაგის მომეტებულმა რეადიაქტიურობამ და სხვადასხვა ცოცხალ ორგანიზმში მისმა აკუმულაციამ შეიძლება მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანებში სიცოცხლეს უნარმოკლებული და დაავადებული ინდივიდების მასობრივი გაჩენა გამოიწვიოს, აგრეთვე დაამახინჯოს მცენარეები, ცხოველები და ადამიანები. ბევრი ასეთი დაავადება და სიმახინჯე მემკვიდრეობით გადაეცემა.

1992 წელს რიო-დე-ჟანეიროში გაერთიანებული ერების ეგიდით ჩატარდა კონფერენცია „გარემო და განვითარება". კონფერენციაზე, ეკონომიკური ზრდის პრობლემასთან ერთად, პირველად ცივილიზაციის ისტორიაში განხილულ იქნა ადამიანთა სამეურნეო მოღვაწეობის შედეგები ჩვენს პლანეტაზე. შედეგები შემაშფოთებელი აღმოჩნდა. კონფერენციის მასალებში კონსტატირებულია, რომ პლანეტა მოიცვა გლობალურმა ეკოლოგიურმა კრიზისმა. გარემოს დეგრადაცია ელოდება. დღეს კაცობრიობა დგას თვითამოწყვეტის ზღვართან. მეცნიერთა პროგნოზით, თუ არ ჩატარდა კარდინალური ღონისძიებები, 30-40 წლის შემდეგ კაცობრიობა დაიწყებს პლანეტიდან სწრაფ გაქრობას. ცოდნით შეიარაღებულმა ადამიანმა გაანადგურა გარემო და მოწამლა საკუთარი საარსებო პირობები. კაცობრიობის ამ მდგომარეობამდე მისვლის ძირითადი მიზეზი ჩვენი ცივილიზაციის უსულობაა. ადამიანმა თავისი ევოლუციის გრძელ გზაზე მჭიდრო კავშირი დაამყარა ცოცხალ ბუნებასთან — როგორც მცენარეულ საფართან, ისე ცხოველთა სამეფოსთან. კულტურული და სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის შედეგად ადამიანის ურთიერთობა ცოცხალ ბუნებასთან დაირღვა. ჩვენი პლანეტის მოსახლეობის დიდი ნაწილი ბუნებას ტელეეკრანისა და კომპიუტერების საშუალებით ალიქვამს. იქმნება შთაბეჭდილება, თითქოს ადამიანს დაავიწყდა, რომ იგი ჩვენი ბიოსფეროს შვილია. მას აღარ აქვს იმ ბიოსფეროს სიყვარული, რომელმაც არსებობის საშუალება მისცა. ადამიანი ანგრევს ბიოსფეროს. ამ დამანგრეველი პროცესის შესაჩერებლად ბიოლოგ-ევოლუციონისტმა, ჰარვარდის უნივერსიტეტის პროფესორმა ედუარდ უილსონმა გამოიყენა ტერმინი „ბიოფილია", რომელიც, ფრომის მიხედვით, არის ნებისმიერი ცოცხალის მოყვარული პიროვნება. ბიოფილის მიმდევრებმა ჩამოაყალიბეს ადამიანის ბუნებათან ურთიერთობის ცხრა ტიპი *(ცხრ. 10.2)*.

10.2 ბიოტექნოლოგია და ეკოლოგიური პრობლემები

ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრაში თანამედროვე ბიოტექნოლოგია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. ბუნებრივი რესურსების დეფიციტმა და მოსახლეობის რიცხოვნობის არაპროგნოზირებულმა ზრდამ ბიოტექნოლოგიის განვითარება განაპირობა. ბიოტექნოლოგიით გლობალური ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრაა შესაძლებელი, კერძოდ, საკვები პროდუქტების, საწვავისა და მინერალური რესურსების დეფიციტის დაძლევა, ჯანმრთელობის სისტემის გაუმჯობესება და გარემოს გაჯანსაღება, მათ შორის, წყლის, ნიადაგისა და ატმოსფეროს დაცვა დაჭუჭყიანებისაგან. ბიოტექნოლოგიის აქტუალობა კაცობრიობის ბუნებრივი (ნატურალური) ბიოლოგიური პროდუქტებით უზრუნველყოფას უკავშირდება.

თანამედროვე ბიოტექნოლოგია ტექნიკურ და ბიოლოგიურ მეცნიერებათა ინტეგრაციის შედეგად ჩამოყალიბდა. იგი მჭიდროდაა დაკავშირებული მოლეკულურ და უჯრედულ ბიოლოგიასთან, მოლეკულურ გენეტიკასა და ბიოქიმიასთან, ასევე ბიოორგანულ ქიმიასთან. განვითარების მოკლე პერიოდში ბიოტექნოლოგიამ დიდ წარმატებებს მიაღწია, წარმოების სხვადასხვა სფეროსა და სახალხო მეურნეობაში ბიოლოგიური პროცესების დანერგვისა და ორგანიზმების გამოყენების ფართო შესაძლებლობა დასახა.

ბიოტექნოლოგიურ პროცესებს ადამიანი უხსოვარი დროიდან იყენებდა. მან ველური საფუვრიდან კულტურული ფორმები გამოიყვანა, რომელსაც პურის, ღუდისა და ღვინის დასამზადებლად იყენებდა. აღსანიშნავია აგრეთვე რძიდან ბიოტექნოლოგიური მეთოდებით მაწვნის, კეფირის, ყველისა და სხვა პროდუქტების მიღება. ჩამოთვლილ პროცესთა მეცნიერული საფუძვლების შემუშავება ლ. პასტერის დამსახურებაა.

თანამედროვე ბიოტექნოლოგიის ეფექტური განვითარება დამოკიდებულია, თუ მკელევარები რამდენად გაითვალისწინებენ ეკოლოგიის კანონზომიერებებს. უპირველეს ყოვლისა, ბიოტექნოლოგია უნდა ემსახურებოდეს ბიოლოგიურ კანონებზე დაყრდნობით, გლობალური ეკოლოგიური პრობლემების მოგვარებასა და გადაჭრას. ეს ბიოტექნოლოგიის ყველა მიმართულებას თანაბრად ეხება, კერძოდ, ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტების, სამკურნალო პრეპარატების, იმუნობიოლოგიური მოდულატორების მიღებას, მაღალპროდუქტული, უსაფრთხო გენეტიკურად მოდიფიცირებული ორგანიზმების შექმნასა და მიღებული პროდუქტების გამოყენებას (სიმინდი, კარტოფილი, სოია, პომიდორი და სხვ.). თანამედროვე ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი მიზანია უხემოსაელიანი, მავნებლებისადმი რეზისტენტული და ადამიანისათვის სასარგებლო ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველი ჯიშების კონსტრუირება. ამასთანავე არსებობს ეჭვი, რომ ამ გზით მიღებული ზოგიერთი პროდუქტი უარყოფითად იმოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე (მაგ., გამოიწვევს

ალერგიულ რეაქციას). ამ სახის პროდუქტთა უსაფრთხოების შეფასება დიდ დროს მოითხოვს. ჭეშმარიტების დადგენამდე კი პრევენციული ზომების გატარებაა საჭირო, კერძოდ, ბავშვებმა და რეპროდუქციული ასაკის ქალებმა ტრანსგენური პროდუქტი საკვებად არ უნდა გამოიყენონ.

მემკვიდრული თვისებების შეცვლის მეთოდები. ადამიანი უხსოვარი დროიდან ცვლიდა შინაურ ცხოველთა და კულტურულ მცენარეთა გენეტიკურ სტრუქტურას და ახალი ჯიშები გამოყავდა. მათ შეცვლას ადამიანი მარტივი და ხელმისწვდომი მეთოდებით — ჰიბრიდიზაციითა და ხელოვნური გადარჩევით ახდენდა. თანამედროვე ბიოტექნოლოგიური მეთოდებითაც ახდენენ გენეტიკური სტრუქტურის რეკონსტრუქციას, მაგრამ მას მცირე რამ აქვს საერთო ადრე გამოყენებულ მეთოდთან. თანამედროვე ბიოტექნოლოგია გენურ და უჯრედულ ინჟინერიას ეფუძნება. მათი გამოყენებით შესაძლებელია ბიოლოგიის, მედიცინისა და სოფლის მეურნეობის მთელი რიგი რთული პრობლემების გადაჭრა. ბიოტექნოლოგიის კლასიკური ობიექტი არის მიკროორგანიზმები, რომელთა გამოყენებით გენეტიკის, ბიოქიმიისა და მოლეკულური ბიოლოგიის ფუნდამენტურ პრობლემებს იკვლევენ.

გენური ინჟინერია

ნუკლეინის მჟავებზე მანიპულირების ახალი მეთოდების შემუშავებამ ხელი შეუწყო გენური ინჟინერიის ჩამოყალიბებას. **გენური ინჟინერია არის გენეტიკისა და მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდთა ერთობლიობა, რომლის მეშვეობით ღებულობენ რეკომბინანტულ რნმ-სა და დნმ-ს, ახდენენ გენთა შეთანწყობის კონსტრუირებას, რომელიც ნესისამებრ ბუნებაში არ გვხდება.** მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს: რომელიმე ორგანიზმის უჯრედიდან გამოყოფენ საინტერესო მოქმედების გენს და ათავსებენ სპეციფიკური დნმ-ის მოლეკულაში (ვექტორში). ამ მოლეკულას აქვს სხვა ორგანიზმის უჯრედში შეჭრისა და ავტონომიურად გამრავლების უნარი. დონორ უჯრედში შეყვანილ უცხო გენს ნორმალური ექსპრესის პირობებს უქმნიან. გენეტიკაში ადრე გამოყენებულიული მეთოდებიდან, რომლებითაც გენოტიპს ცვლიდნენ (მაგ., პოლიპლოიდის ინდუქცია მცენარეებში), გენური ინჟინერია პრინციპულად განსხვავდება. მისი საშუალებით შესაძლებელია in vitro („სინჯარაში") ფუნქციურად აქტიური გენეტიკური სტრუქტურების — რეკომბინანტური დნმ-ის მოლეკულების კონსტრუირება. ხშირად ტერმინს „გენური" და „გენეტიკური" ინჟინერია სინონიმურად ხმარობენ, მაგრამ ეს უკანასკნელი, როგორც გენებზე, ისე გენომის მსხვილ სტრუქტურებზე მანიპულირებასაც გულისხმობს. ჰიბრიდიზაციის გზით მცენარეთა და ცხოველთა გენომის ცვლილების შესაძლებლობა შეზღუდულია. რეპროდუქციული საიზოლაციო მექანიზმებით იზღუდება განსხვავებულ სახეობათა შეჯვარება. გენური ინჟინერისათვის ამდაგვარი ბარიერი არ არსებობს. შესაძლებელია, ფილოგენეზურად მკვეთრად დაცილებული ფორმებიდან, გენთა ახალი კომბინაციების მფლობელი ისეთი ორგანიზმის კონსტრუირება, რომელიც ბუნებაში საერთოდ არ გვხვდება.

გენურ ინჟინერიას საფუძველი 1972 წელს პ. ბერგმა და მისმა თანამშრომლებმა ჩაუყარეს. მათ ფილოგენეზურად დაცილებული ფორმების, კერძოდ, მაიმუნის ონკოვირუსის, ბაქტერიოფაგისა და ნაწლავის ჩხირის (E. coli) დნმ-იდან in vitro რეკომბინანტული მოლეკულის კონსტრუირება შეძლეს. ს. კოენმა ბაყაყის ოოციტისა და თაგვის მიტოქონდრიის დნმ-დან in vitro რეკონსტრირებული რეკომბინანტური დნმ ტრანსფორმაციის გზით შეიყვანა E. coli-ის უჯრედში, სადაც „ქიმერული" დნმ-ის ტრანსკრიპცია განხორციელდა.

რესტრიქციული ფერმენტები. XX ს. შუა წლებში ფაგის გამრავლების შესწავლისას გამოავლინეს დნმ-ის რესტრიქცია-მოდიფიკაციის მოვლენა. ბაქტერიას მოეპოვება (სტრუქტურის დამცველი) ფერმენტები — რესტრიქტაზები, რომლებიც ამოიცნობენ უჯრედში შეჭრილ უცხო (ფაგის) დნმ-ს და მის რესტრიქციას (დეგრადაციას) ახდენენ. ბაქტერიაში შეჭრილი ფაგის დნმ ვეღარ ფუნქციონირებს და ვირუსისადმი რეზისტენტულია.

გენურ ინჟინერიაში ფერმენტებს — რესტრიქტაზებს ფართოდ იყენებენ. რესტრიქტაზა ორჯაჭვიანი დნმ-ის სპეციფიკურ უბნებს — თანამიმდევრობებს (4-6 ნ.წ.) ამოიცნობს და ხლეჩს. რესტრიქციული ფერმენტები (ენდონუკლეაზები) გენური ინჟინერიის მთავარი ინსტრუმენტია. **ენდონუკლიაზით დნმ-ის დამუშავებას რესტრიქცია ეწოდება.**

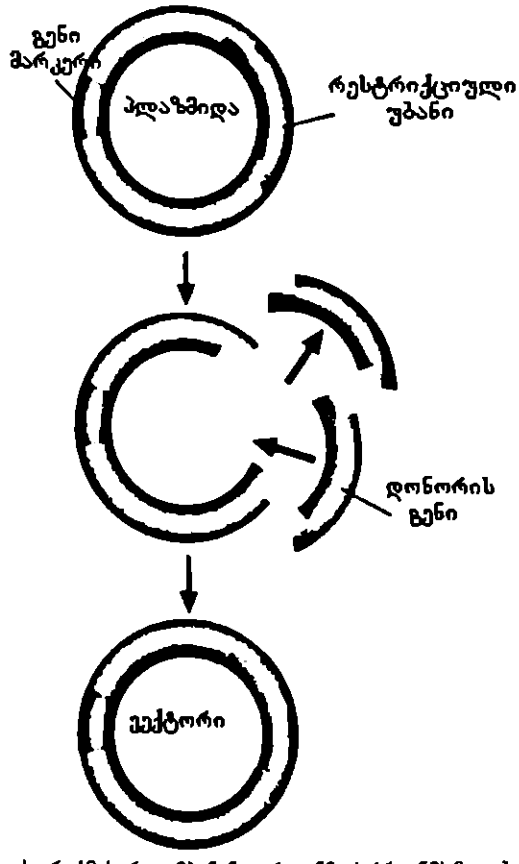
გენების მიღების მეთოდები. კლონირებისათვის საჭირო სასურველ გენებს სამი გზით მოიპოვებენ. შესაძლებელია გენის მიღება უშუალოდ ბუნებრივი წყაროდან — ინდივიდიდან. იგი ყველაზე ძველი და ნაცადი მიმართულებაა. დარგის განვითარების ადრეულ ეტაპზე ამ გზით ღებულობდნენ გენებს და მათ ბანკს ქმნიდნენ. ორგანიზმიდან (რომელსაც გააჩნია მანიპულაციისათვის სასურველი სტრუქტურული გენი) გამოყოფენ დნმ-ს, რომელსაც ფერმენტებით (ენდონუკლიაზებით) ფრაგმენტებად ჭრიან და პოულობენ დნმ-ის იმ ფრაგმენტს, რომელიც სასურველ გენს შეიცავს. ამ მიამრთულებას მნიშვნელობა დღესაც არ დაუკარგავს.

მეორე გზა არის გენის სინთეზი. მას მიმართავენ მაშინ, როდესაც ცნობილია გენის პირველადი სტრუქტურა (სექვენირებული გენი). გენის სინთეზი პირველად გ. ქორანამ (1973-1974 წწ.) განახორციელა. მან საფუვრის ალანინის სატრასპორტო რნმ-ის გენის სინთეზი მოახდინა. მესამე გზა არის ინფორმაციული რნმ-ის გამოყენებით შესაბამისი დნმ-ის მონაკვეთის (გენის) სინთეზი. ამჟამად ყველაზე პოპულარული გენურ ინჟინერიაში სნორედ ეს მიმართულებაა. რნმ-ის შემცველი ონკოვირუსების გამოკვლევისას გაირკვა, რომ სპეციპიკური ფერმენტები — უკუტრასკრიპტაზები (რევერტაზები) რნმ-დან დნმ-ის სინთეზს ახდენს. ამ ფერმენტების გამოყენებით ნებისმიერი ინფორმაციული რნმ-დან შესაბამისი დნმ-ის მონაკვეთის (გენის) სინთეზია შესაძლებელი.

კლონირებისთვის საჭირო ვექტორები. გენურ ინჟინერიაში მთავარი და ძირითადი სისტემა არის ვექტორი. იგი არის მასპინძელ-უჯრედში აეტონომიური რეპლიკაციის უნარის მქონე, დნმ-ის მოლეკულა. ვექტორს რეკომბინანტული დნმ ინტაქტურ უჯრედში შეაქვს. პროკარიოტებზე სამანიპულაციო ვექტორებს ბუნებრივი პლაზმიდებისგან ან ფაგებისგან ქმნიან. საფუარში გენების კლონირებისათვის შექმნილია რამდენიმე რეპლიკონიანი ვექტორი. მცენარეებსა და ცხოველებში ამ მიზნით ზოგიერთი სახის ვირუსს იყენებენ. ვექტორი შემდეგ მოთხოვნას უნდა აკმაყოფილებდეს: 1. უნდა იყოს მცირე ზომის; 2. უნდა შეეძლოს დამოუკიდებლად რეპლიკაცია; 3. უნდა ჰქონდეს ისეთ უბანი (რესტრიქციული), რომლის ამოჭრა და უცხო გენის ჩასმაა შესაძლებელი; 4. უნდა გააჩნდეს მარკერი გენები, რომლებიც ფენოტიპურად ელინდება (*სურ. 10.1).*

ინტაქტურ უჯრედში რეკომბინანტული დნმ-ის შეღწევას, ერთი მხრივ, თვით უჯრედის თავისებურებები განსაზღვრავს, მეორე მხრივ, გამოყენებული ვექტორი. პროკარიოტულ უჯრედზე მანიპულირებისას ვექტორად მოდიფიცირებული პლაზმიდა ტრასფორმაციის გზით შეყავთ უჯრედში. ადამიანის, ცხოველისა და მცენარეების ქსოვილთა კულტურის შემთხვევაში რეკომბინანტური დნმ-ის გადაცემის ერთ-ერთი გზა არის სომატურ უჯრედთა ჰიბრიდიზაცია.

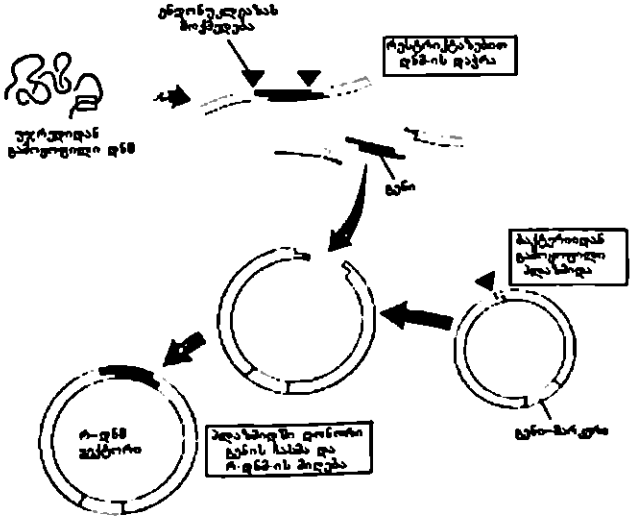
არსებითი მნიშვნელობა აქვს მასპინძელი უჯრედის (დონორი-უჯრედი) შერჩევას. ნესისამებრ, ცილა, რომელიც საჭირო აღარაა ან უცხოა უჯრედისთვის, მასში არსებული პროტეოლიტური ფერმენტებით იშლება. გენმოდიფიცირებულ უჯრედში უცხო ცილოვანი პროდუქტი რომ არ დაიშალოს, საჭიროა ამ ცილისადმი ტოლერანტული უჯრედთა სუბპოპულაციის გამოყვანა. მაგალითად, E. coli-ის გენმოდიფირებული შტამისთვის, მის მიერეე სინთეზირებული ინსულინი უცხო ცილაა. პროტეოლიტური ფერმენტებით უცხო, გამოუსადეგი ცილა-ინსულინი რომ არ დაიშალოს ამისთვის საჭიროა დონორად ისეთი უჯრედების შერჩევა, რომლებშიც ამ სახის ფერმენტები მინიმალური რაოდენობით სინთეზდება.



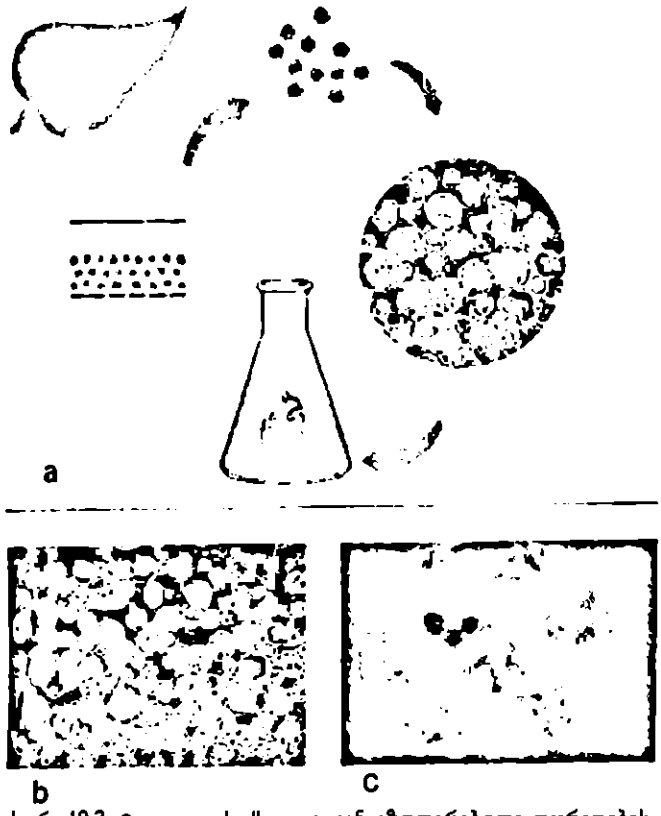
სურ. 10.1. რეკომბინანტური დნმ-ის (რ-დნმ) მიღების თანმიმდევრული სქემა. გამოყოფილი პლაზმიდური დნმ-დან რესტრიქტაზით ფრაგმენტის ამოკვეთა და დონორი ორგანიზმიდან გამოყოფილი დნმ-ის (გენის) ფრაგმენტის მოთავსება.

გენური ინჟინერიის პროცედურა შემდეგ ეტაპებს მოიცავს: 1. სასურველი გენის (სტრუქტურული გენი, რომლის ფუნქცია ცნობილია) მქონე დნმ-ის ფრაგმენტების მიღება ანუ გენის გამოყოფა რომელიმე ორგანიზმიდან; 2. დნმ-ის ფრაგმენტის მოთავსება ვექტორში (გენის გადამტანში); 3. რეკომბინანტური მოლეკულის შეყვანა რეციპიენტ უჯრედში და გენისათვის სტაბილური ექსპრესიისათვის პირობების შექმნა (*სურ. 10.2).*

გენური ინჟინერია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს როგორც გამოყენებით დარგებში, ისე ფუნდამენტურ პრობლემათა კვლევაში. ამ მეთოდით სწავლობენ როგორც გენომის ორგანიზაციას, ისე მისი ცალკეული ნაწილის — გენის სტრუქტურასა და ფუნქციას. გენური ინჟინერიით მეცნიერებმა გამოავლინეს ეუკარიოტული გენის მოზაიკური (ეკზონ-ინტრონული) სტრუქტურა, გენომის მიგრირებადი ელემენტები, აგრეთვე იკვლევენ ონტოგენეზის მოლეკულურ მექანიზმებს, შექმნეს კონკრეტულ ორგანიზმთა გენების



სურ. 10.2. რეკომბინანტური დნმ-ის (ვექტორის) მიღების თანმიმდევრული სქემა.



სურ. 10.3. a. ფოთლის ქსოვილიდან იზოლირებული უჯრედების მიღება. უჯრედების გამრავლება და ცალკეული უჯრედიდან სრულყოფილი მცენარის განვითარება. b. იზოლირებული უჯრედები. c. იზოლირებული უჯრედიდან განვითარებული მცენარეები

ბანკი.გენურ ინჟინერიას დიდი პოტენციური შესაძლებლობები გააჩნია, მისი რეალიზაცია თანამედროვე დროის და მომავლის საქმეა. *(იხ. თავი 7.)*

უჯრედული ინჟინერია

უჯრედული ინჟინერია არის ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი მეთოდი, რომლის მიზანია რეკონსტრუქციის, ჰიბრიდიზაციისა და კულტივირების გზით ახალი ტიპის უჯრედების შექმნა. უჯრედული ინჟინერია მოიცავს: სხვადასხვა სახის უჯრედთა ფრაგმენტებიდან სიცოცხლისუნარიანი უჯრედის რეკონსტრუქციას, განსხვავებული სახეობის ინდივიდთა უჯრედების შერწყმას (ჰიბრიდულ უჯრედში ორივე საწყისი უჯრედის გენეტიკური მასალაა გაერთიანებული) და სხვა ოპერაციებს. უჯრედულ ინჟინერიას მიმართავენ როგორც თეორიული პრობლემების შესასწავლად, ისე სელექციაში პრაქტიკული საკითხების გადასაჭრელად.

სომატურ უჯრედთა ჰიბრიდიზაცია. სომატურ უჯრედებს შერწყმისა და ჰიბრიდული უჯრედის წარმოქმნის უნარი აქვთ. ჰიბრიდული უჯრედი ორბირთვიანია. ამდაგვარ უჯრედს ჰეტეროკარიონი ეწოდება. ხშირად კარიოგამიის შედეგად ჰეტეროკარიონიდან ჰიბრიდული უჯრედი წარმოიქმნება, რომლიდანაც უჯრედთა პოპულაცია ყალიბდება.

ინგლისელმა მეცნიერმა გ. ჰარისმა (1965) თაგვისა და ადამიანის სომატური უჯრედების შეჯვარებით მიიღი ჰეტეროკარიონი. სომატურ უჯრედთა ამდაგვარი ჰიბრიდები მიღებულია ფილოგენეზურად საკმაოდ დაშორებულ (სამეფო, ტიპი, კლასი და მისთ.) სახეობებში, კერძოდ, მცენარისა და ცხოველის უჯრედების შერწყმით.

ამ მეთოდით მიიღეს ჰიბრიდომი (უჯრედული ხაზი), ანტისხეულის წარმომქმნელი ნორმალური და მიელომის სიმსივნური უჯრედების ჰიბრიდი. ჰიბრიდომს განუწყვეტელი გამრავლების (კიბოს უჯრედის თვისება) და ანტისხეულების წარმოქმნის უნარი გააჩნია (შეუღლებული აქვს ორივე უჯრედის სასურველი თვისება)., მას მონოკლონური (ერთგვაროვანი) ანტისხეულების მისაღებად იყენებენ. 1984 წ. მონოკლონური ანტისხეულების პრინციპის აღმოჩენისათვის მილშტეინს, კელერსა და ერნეს ნობელის პრემია მიანიჭეს.

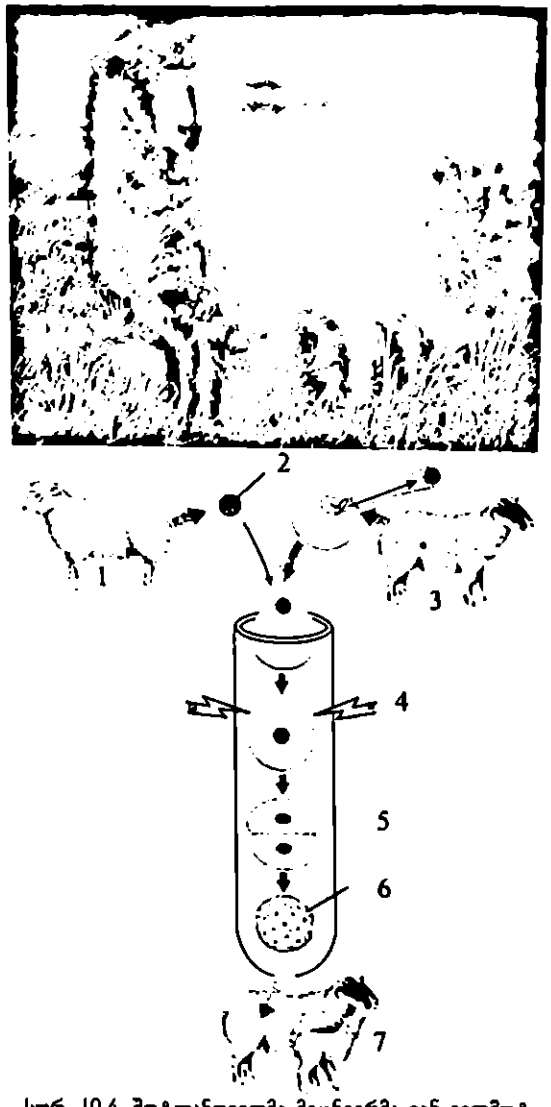
პირველად მცენარეში სომატურ უჯრედთა შერწყმით ჰიბრიდები ამერიკელმა მეცნიერმა პ. კარლსონმა (1972) მიიღო. მან თამბაქოს სხვადასხვა სახეობიდან მიღებული პროტოპლასტების (პლაზმური მემბრანით შემოფარგლული უჯრედის სტრუქტურა, მოცილებული აქვს უჯრედის კედელი) შერწყმით შეძლო ჰიბრიდული უჯრედების, მათგან კი მცენარის მიღება. იგი სქესობრივი გზით მიღებული ჰიბრიდებისგან იმით განსხვავდებოდა, რომ გააჩნდა ორივე მშობლის ციტოპლაზმა. მოგვიანებით მეცნიერებმა შეძლეს ისეთი ჰიბრიდის მიღება, რომელსაც ერთ-ერთი მშობლის ბირთვული გენები, ხოლო ორივე მშობლის ციტოპლაზმური გენები ჰქონდა. პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ისეთი ჰიბრიდების მიღებას, რომლებსაც ველური სახეობებიდან გადმოტანილი პათოგენებისა და სტრესული ფაქტორებისამი რეზისტენტობის გენები, მამრობითი სტერილობის ციტოპლაზმურ გენებს გააჩნიათ. პროტოპლასტების შერწყმით ჯიშებს ღებულობენ მაშინ, როდესაც მნიშვნელოვანი სამეურნეო ნიშნების მქონე სახეობები ერთმანეთს არ ეჯვარებიან.

უჯრედების რეკონსტრუქცია. უჯრედის მოდიფიკაციის ერთ-ერთი ხერხია გენური ინჟინერიის მეთოდებით მასში ცალკეული გენის შეტანა და გენომში ინტეგრაცია. უჯრედის გენეტიკურ მასალაში აქტიური გენის ჩაშენებას ან დაზიანებულის შეცვლას ახდენენ. ამდაგვარი მეთოდოლოგია ადამიანში გენური დაავადების მკურნალობის პერსპექტივას იძლევა. უჯრედის მემკვიდრული სტრუქტურის რეკონსტრუქცია შესაძლებელია, აგრეთვე მასში უცხო ბირთვისა და სხვადასხვა ორგანოიდის (მიტოქონდრია, ქლოროპლასტი) გადანერგვით. ფოტოსინთეზის აქტივაციის ერთ-ერთი გზაა მაღალეფექტური ქლოროპლასტების ჩანერგვა უჯრედში. მცენარეთა აზოტოვანი ნივთიერებებით მომარაგებაში მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს მიკროორგანიზმებისა და მცენარეულ უჯრედთა ხელოვნური სიმბიონტური ასოციაციები. ჩნდება პერსპექტივა, აზოტმაფიქ-

სირებელი ბაქტერიების მცენარის უჯრედში ჩანერგვით, მცენარემ შეიძინოს ატმოსფერული აზოტის ფიქსაციის უნარი. უჯრედის რეკონსტრუირების ნაცად ხერხს წარმოადგენს სხვადასხვა მშობლის ციტოპლაზმისა და ბირთვის შეთანწყობა. ამ გზით იკელევენ ციტოპლაზმის გავლენას ბირთვის რეგულატორულ აქტიობაზე.

ქსოვილთა კულტურა. ხელოვნურ საკვებ არეზე მცენარის, ცხოველისა და ადამიანის ორგანიზმიდან გამოყოფილი ქსოვილების განვითარებაა შესაძლებელი. პირველი ცდები ცხოველთა ქსოვილთა კულტურის მისაღებად ე. რუმ (1885) ჩაატარა. ამჟამად ადამიანისა და ცხოველის ქსოვილთა კულტურას in vitro-ში ავითარებენ. ამერიკელმა მეცნიერმა ე. რობინსმა (1922) შეძლო პომიდვრის ფესვის მერისტემული ქსოვილის ხელოვნურ არეზე განვითარება. ამჟამად მცენარის ქსოვილებს in vitro-ში ანვითარებენ როგორც მყარ, ისე თხევად ხელოვნურ საკვებ არეზე. განსხვავებით ადამიანისა და ცხოველის ქსოვილთა კულტურისაგან, მცენარეების ქსოვილითა კულტურისაგან ნორმალური მცენარის რეგენერაცია შესაძლებელია *(სურ. 10.3)*

ცხოველის ქსოვილთა კულტურის მეშვეობით იკვლევენ უჯრედთა ზრდისა და დიფერენცირების, ჰისტოგენეზის, ნივთიერებათა ცვლის და სხვა პროცესებს რაც გამოიყენება ადამიანისათვის სასარგებლო მრავალი ნივთიერების (მაგ., ინტერფერონის) მისაღებად. ვაქცინის მიღების მიზნით მასზე ავითარებენ ვირუსებს. ქსოვილთა კულტურა წარმოადგენს ტესტ-სისტემას ზოგიერთი ნივთიერების (პესტიციდები, სამკურნალო პრეპარატები, კოსმეტიკური საშუალებები და სხვ.) გენეტიკური აქტიობის გამოსაელენად. მცენარეთა ქსოვილთა კულტურას იყენებენ უჯრედთა ბიომასის მისაღებად და მისგან სამკურნალო ნივთიერებების გამოსაყოფად; მცენარეთა სელექციაში ახალი ჯიშების შესაქმნელად და ჯანსაღი მცენარის (არ შეიცავს პათოგენებს) მისაღებად; ასევე გენეტიკის, ფიზიოლოგიისა და ფიტოპათოლოგიის პრობლემების შესასწავლად.



სურ. 10.4. შოტლანდიელმა მეცნიერმა იან ვილმუტმა და მისმა თანამშრომლებმა პირველებმა მიიღეს დიფერენცირებული სომატური უჯრედიდან საქეეყნოდ ცნობილი ცხვარი სახელად – დოლი. a.კლონირების შედეგად მიღებული ცხვარი — დოლი. b. კლონირებული ცხვრის მიღების სქემა.. 1. ცხოველიდან ქსოველის გამოყოფა. 2. სომატური უჯრედიდან ბირთვის გამოცალკეება. 3. „რეციპიენტი'' ცხვრიდან კვერცხუჯრედის გამოყოფა და მისგან მიკროპიპეტით ბირთვის ამოცლა. ბირთვამოცლილ კვერცხუჯრედში უცხო (დონორის) ბირთვის ჩანერგვა. 4. ელექტროგანმუხტვით უჯრედის დაყოფის სტიმულირება. 5. "სინჯარაში" (ხელოვნურ არეში) ჩანასახის განვითარება. 6 ბლასტულის სტადიაზე მყოფი ჩანასახის გადატანა სუროგატ დედაში. 7. სუროგატი დედა და კლონირებული ბატკანი დოლი.

კლონირება არის უსქესო გამრავლების შედეგად იდენტური შთამომავლობის მიღება. კლონი კი არის უსქესო გამრავლების შედეგად წარმოქმნილი გენეტიკურად იდენტური შთამომავლობა. კლონირებაში იგულისხმება ცალკეული უჯრედის ან ორგანიზმის გენეტიკურად იდენტური ასლების დამზადების პროცესი. კლონი მიტოზის (ბაქტერიებში ბინარული გაყოფით) შედეგად ყალიბდება. დედისეულ უჯრედში არსებული გენეტიკური მასალა ზუსტად და თანაბრად ნაწილდება შვილეულ უჯრედებში. ამიტომაც მიაჩნათ, რომ კლონებს იდენტური გენეტიკური მასალა აქვთ. კლონთა გენეტიკური ერთგვაროვნება პირობითია. სპონტანური მუტაციური პროცესით, კლონთა ერთგვაროვნება ირღვევა. განსაკუთრებით გენეტიკური მასალის მცირე მონაკვეთების — მობილური ელემენტების გადაადგილება გენეტიკური მასალის (გენომის) არასტაბილობას იწვევს. ხანგრძლივი დროით კლონის ერთგვაროვნების შენარჩუნება შეუძლებელია. კლონისათვის ნიშანდობლივი მარკერული გენების მიხედვით გადარჩევით ახდენენ კლონის შენარჩუნებას. უჯრედთა კლონირებას მიმართავენ ბიოლოგიისა და მედიცინის თეორიული და პრაქტიკული პრობლემების გადასაჭრელად.

უსქესო გამრავლების ერთ-ერთი ფორმის — პოლიემბრიონიის დროს ცხოველებში (მხედრები, ჯაგშნიანები და სხვ.) და ადამიანში კლონები ჩნდებიან. ამ დროს ემბრიონი რამდენიმე ნაწილად იყოფა და თითოეული მათგანისგან ორგანიზმი — მონოზიგოტური ტყუპები ყალიბდება. მოყვანილი მაგალითი კლონის ნიმუშია, მა-

გრამ კლონირებასთან საერთო არაფერი აქვს.

XX ს. 60-იან წლებში კლონირების მეთოდებით მცენარეები და ცხოველები მიიღეს. სტიუარდმა სტაფილოს ცალკეული უჯრედიდან სრულყოფილი მცენარის მიღება შეძლო. გორდონმა დეზებიანი ბაყაყის ბირთვა-მოცლილ (ეუნუკლეირებულ) კვერცხუჯრედში გადანერგა ზრდასრული ბაყაყის ნაწლავის ეპითელის უჯრედის ბირთვი და შედეგად სრულყოფილი თავკომბალები და ზრდასრული ბაყაყები ჩამოყალიბდა. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ემბრიონული განვითარების ადრეულ ეტაპზე ბირთვების გადანერგვა დიფერენცირების პროცესზე გავლენას არ ახდენს. ამდაგვარი უჯრედები ტოტიპოტენტურია. უჯრედის უნარს, გაყოფის გზით ზრდასრული ორგანიზმის ნებისმიერ უჯრედად დიფერენცირდეს ტოტიპოტენტური ენოდება. ამდაგვარ უჯრედს აქვს უნარი გაიმეოროს ემბრიონული განვითარების ყველა ეტაპი და შეუძლია ყველა ტიპის ქსოვილის ჩამოყალიბება. ფორმირებადი ჩანასახის უჯრედები მოგვიანებით ამ თვისებას კარგავენ. ზოგიერთი ფიზიკური და ქიმიური ფაქტორის ზემოქმედებით შესაძლებელია ამ უნარის აღდგენა.

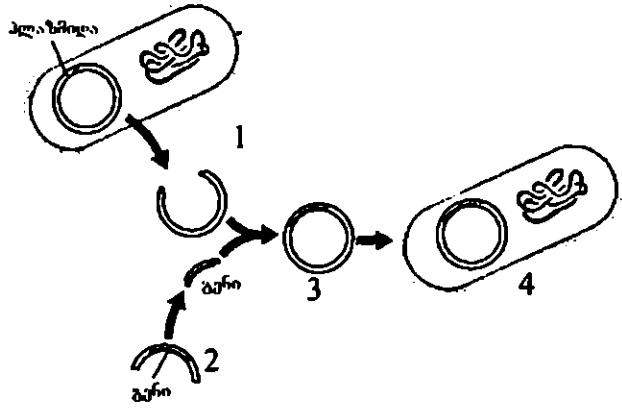
პირველი კლონირებული ძუძუმწოვარი ცხოელი (ცხვარი დოლი) მიიღეს 1996 წელს ი. ვილმუტმა და კ. კემპბელმა (როსლინის ინსტიტუტი, შოტლანდია). ზრდასრული ცხოელის (პროტოტიპი ცოცხალი აღარ იყო, ქსოელი სათანადო წესით პქონდათ შენახული) სარძევე ჯირკვლიდან გამოყოფილი ბირთვები 277 ეუნუკლეირებულ in vitro კვერცუჯრედში მოათავსეს, საიდანაც მხოლოდ 29 ემბრიონი განვითარდა. სუროგატ დედაში მხოლოდ ერთი ემბრიონი განვთარდა და დაიბადა საქეყნოდ ცნობილი ცხვარი — სახელად დოლი (*სურ. 10.4)*

გადაშენებული ცხოველის აღდგენის პირველი მცდელობა იყო პირინეის მთიანეთში ოდესღაც ფართოდ გავრცელებული მთის თხის – ბუკარდოს კლონირება. ამ ცხოველის ქსოვილი სათანადო წესით არის შენახული, რომელიც კლონირებისთვის გამოიყენეს. თიკანი დაბადების შემდეგ ფილტვების დეფექტის გამო დაიღუპა, რაც ხშირია კლონირებულ ცხოველებში. მიუხედავად მარცხისა, მეცნიერები თვლიან, რომ კლონირების ტექნიკის სრულყოფის შემდეგ შეძლებენ გადაშენებული ცხოველების აღდგენას.

კლონირების ტექნიკის გამოყენება პერსპექტიულია მეცხოველეობაში. მაღალპროდუქტული და სხვა კარგი სამეურნეო ნიშნების მფლობელი ცხოველიდან შეაძლებელია მრავალი გენეტიკურად იდენტური ასლი მიიღონ. ასევე ამ მეთოდის გამოყენება დიდ პერსპექტივებს სახავს კონსერვაციულ ბიოლოგიაში. კრიობანკში დაცული ქსოვილებიდან შესაძლებელი იქნება იშვიათი და გადაშენების წინაშე მყოფი ცხოველების გამრავლება და ველურ ბუნებაში პოპულაციის რიცხოენობის გაზრდა. ამ მეთოდის გამოყენებით შეძლებენ ისეთი ტრასგენური ცხოველების მილებას, რომლებსაც მედიცინაში ორგანოთა (თირკმელი, ღვიძლი და მისთ.) დონორებად გამოიყენებენ.

10.3. ბიოტექნოლოგიის მეშვეობით ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრა

ბიოტექნოლოგია და მედიცინა. სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ძლიერი აღმავლობა ანტიბიოტიკების აღმოჩენასა და მის წარმოებას უკავშირდება. მედიცინაში თანამედროვე ბიოტექნოლოგიას ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებისა და სამკურნალო პრეპარატების შესაქმნელად მიმართავენ. სამედიცინო ბიოტექნოლოგიამ რეკომბინანტული დნმ-ის (რ-დნმ) სფეროში დიდი წარმატება მოიპოვა. რ-დნმ-ის ტექნოლოგიით შესაძლებელია ბაქტერიის, საფუვრისა და ცხოველის გენომში ადამიანის ცილის მასინთეზირებელი გენის მოთავსება და რეციპიენტ უჯრედში შესაბამისი ცილის სინთეზის ინდუქცია (*სურ. 10.5).* პოლ ბერგმა (სტენფორდის უნივერსიტეტი) 1972 წელს პირველმა შეძლო ამ გზით ადამიანის ინსულინის სინთეზი. შეგახსენებთ, რომ მანამდე ინსულინს ცხოველის პანკრეასიდან იღებდნენ. მცირე გამოსავლიანობის გარდა, მის მოხმარებას თან ახლდა გეერდითი მოვლენები (მაგ., ალერგიული რეაქცია). დღეს ამდაგვარი რისკი აღარ არსებობს, ვინაიდან პაციენტი ადამიანისათვის ნიშანდობლიე პრეპარატს იღებს.



სურ. 10.5. გენმოდიფიცირებულ ნაწლავის ჩხირში (E. coli) ადამიანის ცილის სინთეზი. 1. ბაქტერიიდან პლაზმიდური დნმ-ის გამოყოფა. პლაზმიდის გახლეჩა და დნმ-ის ფრაგმენტის ამოკვეთა. 2. ღია პლაზმიდაში ადამიანის დნმ-ის ფრაგმენტის (გენის) მოთავსება. 3. რეკომბინანტური დნმ-ის (ვექტორი) მილება. 4. ტრანსფორმაციის გზით ვექტორის ბაქტერიაში შეტანა.

სამედიცინო ბიოტექნოლოგიაში რ-დნმ-ის ტექნოლოგიას ფართოდ იყენებენ მედიცინაში. მსოფლიოში მოხმარების მიხედვით, პირველი ადგილი ერითროპოეტინს უჭირავს, მომდევნო ადგილი კი ინსულინსა და ინ-

ტერფერონს. *10-3 ცხრილში* ჩამოთვლილია სამკურნალო პრეპარატები, რომლებიც რ-დნმ ტექნოლოგიით არის მიღებული.

ცხრილი 10-3.
რ-დნმ-ის ტექნოლოგიით მიღებული ადამიანის ზოგიერთი სამკურნალო პრეპარატი

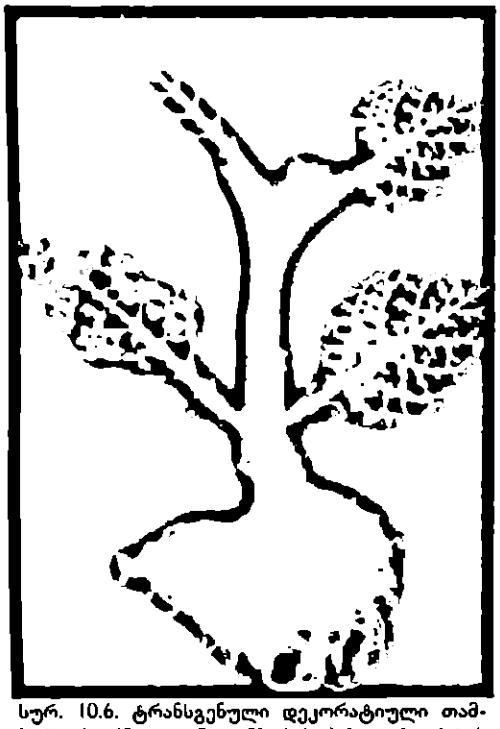
პროდუქტი	გამოყენება
ერითროპოეტინი	სტიმულირებს ერითროციტების პროდუქციას
ინსულინი	დიაბეტი
სისხლის შედედების IX ფაქტორი	ჰემოფილია B
ალფა-ინტერფერონი	ქრონიკული C ჰეპატიტი, ლეიკოზი, ქრონიკული გრანულემატოზი, მრავლობითი სკლეროზი
კალციტონინი	ძვლებში კალციუმის შეკავება
სისხლის შედედების VII და VIII ფაქტორი	აპირობებს სისხლის შედედების უნარს
გლუკოცერებროზიდაზა	გოშეს დაავადება
ადამიანის ზრდის ჰორმონი (HGH)	ინდუცირებს ძვლის ზრდას
ინსულინისებრი ზრდის ჰორმონი (IGF-1)	ინდუცირებს ზრდას
მონოკლონური ანტისხეულები	ზემოქმედებს სპეციპიკურ ცილოვან სტრუქტურებზე: იყენებენ სადიაგნოზოდ, კიბოს სამკურნალოდ.

რ-დნმ-ტექნოლოგიით ახდენენ ჰორმონების, ვიტამინების, ფერმენტებისა და ანტიბიოტიკების სინთეზს მიკრობების გამოყენებით. ამდაგვარ სინთეზს გარკვეული ნაკლიც აქვს. მიკრობებს (პროკარიოტებს) ხშირად არ შეუძლია ეუკარიოტული უჯრედისათვის დამახასიათებელი სრულყოფილი ცილის სინთეზი. მათ არ მოეპოვებათ ის ნივთიერებები, რომლებიც **ფოლდინგს** ახდენენ. (**შენიშვნა:** ცილის მოლეკულის საბოლოო სტრუქტურას მხოლოდ ამინოჟავათა ნაშთების თანამიმდევრობა არ განსაზღვრავს. უჯრედში არის რეგულატორული მოლეკულები, რომლებიც სპეციფიკურ კონფიგურაციას აძლევენ ცილის მოლეკულას. ამ პროცესს ფოლდინგი ეწოდება). მაგალითად, ნანლავის ჩხირი რ-დნმ-ტექნოლოგიით ახდენს ინსულინის სინთესზს, მაგრამ მისი შემადგენელი ორი მოლეკულის ერთმანეთთან დისულფიდური ბმით დაკავშირება აღარ შეუძლია. მოლეკულების მოდიფიცირებას ხელოვნური ფოლდინგით ახდენენ. ძუძუმწოვრების უჯრედებში სინთეზირებულ პროდუქტებს ამდაგვარი მოდიფიცირება აღარ ესაჭიროება, რადგანაც ფოლდინგი ნორმალურად მიმდინარეობს. ამიტომაც რიგი სამედიცინო პრეპარატის სანარმოებლად ქსოვილთა კულტურებს იყენებენ. უარყოფითი მხარე მასაც გააჩნია, კერძოდ, უჯრედთა კულტივირება რთულია, ძვირადღირებულია და მცირე რაოდენობით ასინთეზებენ პროდუცენტს. ამიტომაც მიღებული პრეპარატი იმდენად ძვირია, რომ მისი შეძენა ყველა პაციენტს არ შეუძლია. გამოირკვა, რომ რ-დნმ ტექნოლოგიით ძუძუმწოვრებთან შედარებით, მწერების უჯრედები გაცილებით მეტი რაოდენობით ასინთეზებს სამკურნალო ცილებს. ამიტომაც ამ მიზნით მათ ქსოვილთა კულტურას იყენებენ.

მკვლევარებმა რ-დნმ ტექნოლოგიით მიიღეს ისეთი ცილები, რომელთა გამოყენებითაც ვაქცინის დამზადებაა შესაძლებელი. ტრადიციულად ვაქცინებს მკვდარი ან დასუსტებული პათოგენური მიკრობებისგან ამზადებდნენ. რ-დნმ-ით მიღებული ცილები იმდაგვარი აგებულებისაა (პათოგენები აღარაა საჭირო), რომ იმუნურ სისტემას კონკრეტული პათოგენის საწინააღმდეგოდ ამოქმედებენ. გაცხოველებული მუშაობა ტარდება ტუბერკულიოზისა და შიდსის საწინააღმდეგო ვაქცინის შესაქმნელად.

ბაქტერიებისა და ვირუსებისგან თავდაცვა ვაქცინაციით ამოინურება. ტრადიციული წესით დამზადებული ვაქცინები ფრიად ვარიაბილურია. ამ სფეროში დიდ წარმატებადაა აღიარებული მონოკლონური ანტისხეულების მიღება და სამედიცინო პრაქტიკაში მისი დანერგვა. მონოკლონური ანტისხეულები ბიოლოგიურად სუფთაა და ერთ იმუნოკომპონენტს შეიცავს. სადღეისოდ ადამიანზე ეკოლოგიური კრიზისისა და პრესინგის ზემოქმედების პირობებში, აქტუალურია იმუნომოდულაცია და იმუნოსტიმულაცია. იმუნობიოტექნოლოგიით პრეპარატთა ფართო სპექტრია შექმნილი, კერძოდ თიმუსის ჰორმონები (თიმოზინი, თიმულინი), იმუნოპეპტიდები, ნაირგვარი მოქმედების ინტერფერონი და სხვ.

სამედიცინო ბიოტექნოლოგიაში პროდუქციის მოცულობით, ასორტიმენტთა მრავალფეროვნებით და გამოყენებით პირველი ადგილი ანტიბიოტიკებს უჭირავს. ამჟამად გამოვლენილია 6000 ახალი სახის ანტიბიოტიკი, მათგან მსოფლიო კლინიკებში 100-ზე მეტ დასახელების პრეპარატს იყენებენ. ანტიბიოტიკების ერა ჯერ არ დასრულებულა, მიუხედავად იმისა, რომ ბუნებრივი გადარჩევისა და მუტაციური პროცესის შედეგად პათოგენურმა მიკრობებმა მათდამი რეზისტენტობა გამოიმუშავეს, რომელსაც პლაზმიდაში ლოკალიზებული გენები აკონტროლებენ. ამჟამად მრავალი დაავადების მკურნალობა ანტიბიოტიკების გარეშე შეუძლებელია. ამასთანავე, მათი გამოყენებისას მკაცრი წესების ადაცვაა საჭირო. მკურნალობის დაწყებამდე უნდა შემოწმდეს პათოგენის მგრძნობელობა ანტიბიოტიკებისადმი (შედგეს ანტიბიოტიკოგრამა). საჭიროა მკურნალობის კურსის ბოლომდე ჩატარება, რათა გამოირიცხოს რეზისტენტული ფორმების ინდუქცია და ორგანიზმში მათი განმეორებით გამრაელება.



სურ. 10.6. ტრანსგენული დეკორატიული თამბაქო. სურნელოვან თამბაქოს პროტოპლასტის ბირთვში შეიტანეს და ჩანერგეს ციცინათელადან გამოყოფილი გენი, რომელიც სპეციფიკური ფერმენტის სინთეზს ახორციელებს. პროტოპლასტიდან მიღებულ მცენარეში გენი ექსპრესირდა და მოახდინა ფერმენტის სინთეზი. როდესაც მცენარეს ნივთიერება ლუციფერი დააკურეს, მან ნათება დაიწყო.

ზოგიერთი ბიოპრეპარატის მისაღებად ძირითადად ტრანსგენულ შინაურ ცხოველებს იყენებენ. მათში მიმდინარეობს როგორც ადამიანისთვის დამახასიათებელი ცილების სინთეზი, ისე მათი სისხლსა და რძეში სეკრეცია. ასე მაგალითად: გამოყვანილი ტრანსგენული თხის რძისგან ღებულობენ ანტითრომბინ III და ალფა-ანტიტრიფსინს, ცხვრის რძიდან — ალფა-1-ანტიტრიფსინს, ხოლო ბოცვერის სისხლიდან ინჰიბიტორ C1-ს. სულ მალე ბიოპრეპარატების წყარო ქათმის კვერცხი გახდება. ვინაიდან ტრანსგენური ქათმების ფერმის სწრაფად მოშენება ადვილია და იაფი, ამასთანავე დიდი რაოდენობით იძლევიან პროდუქციას.

ტრანსგენულ მცენარეებში შეძლეს ადამიანის გენების ექსპრესია და შესაბამისი ცილის სინთეზი. ამჟამად ტრანსგენული მცენარეები მიღებულია სამარცვლე—პარკოსნებში, პურეულ მარცვლოვნებში და ძირხვენიან კულტურებში. ამ მცენარეების მოყვანა იაფი და ადამიანისთვის გაცილებით უსაფრთხოა (არ შეიცავს ვირუსებსა და პრიონებს), ამასთანავე მათი შენახვა ადვილია. არსებობს გარკვეული რისკიც, კერძოდ, გენმოდიფიცირებულმა კულტურულმა მცენარემ ნიშანი მონათესავე ველურ მცენარეებს არ გადასცეს (აუტკროსინგი) და გარემოში არ გავრცელდეს. გამოყვანილია გენმოდიფიცირებული სიმინდი, რომლის მარცვლებიდან მონოკლონურ ანტისხეულებს ღებულობენ. ამავე კულტურაში დაწყებულია ბაქტერიული ტოქსინის საწინააღმდეგო საჭმელი ვაქცინის დამზადება, რომელიც მოგზაურებში დიარეას იწვევს. ტროპიკული და სუბტროპიკული კლიმატური ზონის მოსახლეობისათვის გამოცდის პროცესშია გენმოდიფიცირებული ბანანი რომელიც ქოლერის, ჰეპატიტისა და დიარეას საწინააღმდეგო საჭმელი ვაქცინა იქნება.

ბიოტექნოლოგია და სოფლის მეურნეობა. სოფლის მეურნეობაში ბიოტექნოლოგიას იყენებენ როგორც სელექციის ტრადიციული მეთოდების გასაუმჯობესებლად, ისე ახალი ტექნოლოგიების შესამუშავებლად, რომლითაც სოფლის მეურნეობის ეფექტურობას ზრდიან.

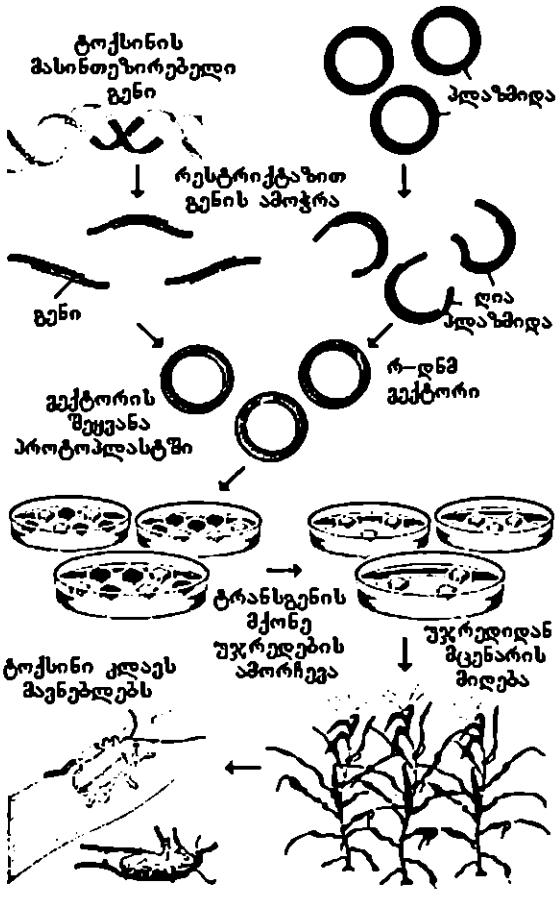
გენმოდიფიცირებულ მცენარეს გააჩნია გენომში ხელოვნურად ჩანერგილი უცხო გენი ანუ ტრანსგენი (*სურ. 10.6).* მათი მიღება საკმაოდ დიდ ხარჯებთან არის დაკავშირებული, ამიტომ სამანიპულაციოდ ისეთ კულტურებს (სოია, სიმინდი, ბამბა, რაფსი) ირჩევენ, რომელთა წარმოების მოცულობა მსოფლიოში მაღალია. მსოფლიოში მიღებული სოიას 50% და ბამბის 20% მოსავალი გენმოდიფიცირედული მცენარეებიდან არის მიღებული. აშშ-ში სოიას 90%, სიმინდის 75%, ბამბის 50% ტრანსგენული მცენარეებისგან ღებულობენ. ზემოთ დასახელებულ კულტურულ მცენარეთა გარდა, ტრანსგენული ჯიშები მიღებულია მზესუმზირასა და ყავაში.

დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია დამატებითი და სარწმუნო ინფორმაცია მიიღოს კოლორადოს სახელმწიფო უნივერსიტეტის ვებ-საიტიდან, რომელიც ფლობს მთელ მსოფლიოში გენმოდიფიცირებულ მცენარეებზე ინფორმაციას (http// cls.casa.colostate.edu/TransgenicCrop/index.html).

გენური ინჟინერიის გზით ჰერბიციდებისადმი, სოფლის მეურნეობის მავნებლებისადმი და დაავადების გამომწვევ პათოგენთა მიმართ რეზისტენტული ჯიშებია გამოყვანილი. გენმოდიფიცირებული კულტურები ფართო სპექტრის მქონე ჰერბიციდებისადმი, მასში მოთავსებული გენის მოქმედების შედეგად, მდგრადობას ავლენენ. ნათესების ჰერბიციდებით დამუშავებისას სარეველები იღუპება, კულტურული მცენარეები კი — არა. მაგრამ აქაც სიფრთხილის გამოჩენაა საჭირო. რიგ შემთხვევაში აღინიშნება აუტკროსინგი (ტრანსგენის სპონტანური მიგრაცია სხვა ველურ მონათესავე სახეობებზე).

გამოყვანილია მავნებელი მწერებისადმი რეზისტენტული ფორმები. ნიადაგის ბაქტერიას (Bacillus thuringiensis) მოეპოვება Cry გენი, რომელიც სპეციფიკური მოქმედების Bt ცილა—ტოქსინს აკოდირებს. ტოქსინი უსაფრთხოა ძუძუმწოვრებისა და ფრინველებისათვის, მხოლოდ ზოგიერთი მწერის ლარვებს (მუხლუხოს) ხოცავს. ტოქსინის მაკონტროლებელი Cry გენი შეიტანეს სიმინდის, ბამბის, თამბაქოსა და კარტოფილის სანარმოო ჯიშებში. მცენარეში Cry გენი ნორმალურად ექსპრესირებს და უჯრედში გროვდება ტოქსინი. იგი კლავს მხოლოდ იმ მწერს, რომელიც მცენარით იკვებება *(სურ. 10.7).* მანამდე პერბიციდებით ამუშავებდნენ ნაკვეთებს, იგი არა მარტო გარემოს აჭუჭყიანებდა, არამედ განურჩეველად სპობდა ყველა სახის მწერს, მათ შორის სასარგებლოსაც.

მეორე უსაფრთხო და ეფექტური გზაა მავნებელ მწერთა პოპულაციებში ე. წ. ,,ბიოდივერსანტების'' შეგზავნა. ლაბორატორიაში გამოპყავთ პოლილეტალური გენების შემცველი ხაზი. მათ უშვებენ ბუნებაში,



სურ. 10.7. ბაქტერიიდან (Bacillus thuringiensis) Bt ცილა—ტოქსინის მაკოდირებელი Cry გენის გამოყოფა და პლაზმიდაში მოთავსება. მიღებული ვექტორის მეშვეობით Cry გენის ჩაშენება სიმინდის გენომში და ექსპრესია. მავნებელი მწერებისადმი რეზისტენტული გენმოდიფიცირებული სიმინდის ჯიშის გამოყვანა.

რომლებიც ეჯვარებიან სხვა მავნებელ მწერებს. პოპულაციებში ვრცელდება ლეტალური გენები და ჰომოზიგოტი მწერები იხოცებიან.

გენური ინჟინერიის პრიორიტეტული მიმართულება ბაქტერიული და ვირუსული პათოგენებისადმი რეზისტენტული ფორმების შექმნაა. ასე მაგალითად, ფლორიდის უნივერსიტეტში მკვლევარებმა ვაზის საშიში ბაქტერიული დაავადებისადმი (პირსი) რეზისტენტული ფორმის მიღება შეძლეს. მათ თუთისაბრეშუმხვევიადან გამოყვეს პათოგენისადმი რეზისტენტობის განმსაზღვრელი გენი, რომელიც ვაზის გენომში გადაიტანეს. ტრასგენულ თამბაქოში ექსპრესირებული გენი გამოყოფს ანტისხეულებს და აღარ ავადდება ვირუსით, რომელიც ფოთლის ლაქიანობასა და დანაოჭებასთან ერთად მოსავლიანობასაც აქვეითებს.

ბიოტექნოლოგიური მეთოდებით შეძლეს მცენარეულ პროდუქტებში საკვები ღირებულების ამაღლება. გამოყვანილია „ოქროს ბრინჯი", რომელიც სხვა ჯიშებისაგან განსხვავებით დიდი რაოდენობით შეიცავს ბეტა-კაროტინს (A-პროვიტამინი). იგი მნიშვნელოვნად გაუმჯობესებს „მესამე სამყაროს" მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობას.

გაცილებით რთულია გენმოდიფიცირებული ცხოველების შექმნა. მათში საკმაოდ დაბალია სამრეწველო ეფექტურობა (>2%), ხოლო შთამომავლებში მაღალია ანატომიური დეფექტები. გამოყვანილია ტრანსგენული ორაგული, ჩვეულებრივ ორაგულში ჩავიჩადან (სამეფო ორაგული) გამოყოფილი ზრდის პორმონის გენის ჩანერგვით. იგი საწყისი ფორმისგან განსხვავებით მთელი წლის განმავლობაში იზრდება და სწრაფად აღწევს დიდ ზომას. ამჟამად ცდილობენ იგივე გენი შეიტანონ სატბორე მეურნეობის თევზებში — კალმახსა და პალტუსში. ამასთანავე ეკოლოგები გარკვეულ საფრთხეს არ გამორიცხავენ, ვინაიდან სატბორეებიდან ხშირად თევზები ველურ ბუნებაში ხვდებიან და ადგილობრივ ფორმებს აძევებენ.

გუელფის უნივერსიტეტში (ონტარიო, აშშ) შექმნეს ტრანსგენული ღორი — Enviropig, რომელიც შეიცავს ფიტაზას მაკოდირებელ გენს. სინთეზირებული ფერმენტი ხლეჩს საკვებში ფოსფატებს და განავლით აღარ ჭუჭყიანდება გარემო. იმ ქვეყნებს, რომელთაც თავისი მოსახლეობის გამოკვების საშუალება არ აქვთ, შეუძლიათ მნიშვნელოვნად გააუმჯობესონ მოსახლეობის სურსათით მომარაგება ბიოტექნოლოგიის გზით.

ბიოტექნოლოგია მრეწველობასა და გარემოს დაცვაში. უჯრედი ნარმოადგენს ერთგვარ უნივერსალურ ფაბრიკას, რომელიც გარემოდან მიღებული ენერგიის გამოყენებით ნივთიერებათა სინთეზს ახორციელებს. ეს ნივთიერებები უჯრედის სისტემების შენარჩუნებასა და კვლავწარმოქმნას ხმარდება. სამრეწველო ბიოტექნოლოგია უჯრედის ამ უნიკალურ თვისებას ემყარება და იყენებს.

სამრეწველო მიკრობიოლოგიაში ეფექტური მიმართულებაა მიკრობული ბიომასისა და საკვები ცილების მიღება, ვიტამინიზებული ცილების კონცენტრატის ნარმოება. მეცხოველეობას მიეწოდება საფუარიდან და ქლორელადან მიღებული საკვები ცილები, შეუცვლელი ამინომჟავები (ამინომჟავები, რომლებსაც ცხოველური უჯრედი ვერ ასინთეზებს), ანტიბიოტიკები და ზრდის სტიმულატორები. ცილის ყოველწლიური მსოფლიო დეფიციტი 20 მლნ. ტონას შეადგენს. დედამიწაზე მოსახლეობის რიცხვის სწრაფი ზრდის გამო დეფიციტი იზრდება. ცილის დეფიციტის შევსების ერთ-ერთი რეალური გზა მიკრობიოლოგიური ბიოტექნოლოგიაა. ასე მაგალითად, 300 კგ. ბროილერის ფრინველის დღე-ღამური ნამატი, კარგი მოვლისა და კვების პირობებში 12 კგ-ია, ხოლო თანამედროვე ბიორეაქტორში ამავე პერიოდში 300 ტ. საკვები საფუარის მიღება ხერხდება.

კვების მრეწველობაში მიკროორგანიზმებს, მცენარეულ და ცხოველურ უჯრედთა კულტურებს ზრდიან და მათგან ღებულობენ ფერმენტებს, სტეროიდულ ჰორმონებს, ამინომჟაებს, ვიტამინებს, ანტიბიოტიკებს, ორგანულ მჟავებს (ძმარმჟავა, რძემჟავა, ლიმონმჟავა), მეთანოლს და სხვ.

სამრეწველო მიკრობიოლოგია სახავს ენერგეტიკული პრობლემის დაძლევის გზას. მცენარეებიდან და საწარმოო ნარჩენებისგან ღებულობენ ეთილის სპირტს, რომელსაც ავტომობილების საწვავად გამოიყენება. ასე მაგალითად, ბრაზილიაში სანვავ სპირტს შაქრის ლერწმისა და სხვა მცენარეებისაგან აწარმოებენ. შემუ-

შეეებულია მეთოდიკა, რომლის გამოყენებითაც საყოფაცხოვრებო ნაგვისა და სოფლის მეურნეობის ნარჩენებისაგან ღებულობენ ბიოგაზს.

ამჟამად ქიმიური ნივთიერებებით დაჭუჭყიანებული ნიადაგისა და წყლის გასუფთავების სხვადასხვა მეთოდია შემუშავებული, მაგრამ მათ შორის ყველაზე სრულყოფილი და უსაფრთხო ბიოტექნოლოგიური მეთოდია. მიკროორგანიზმების მეშვეობით დაჭუჭყიანებულ ტერიტორიაზე, ნაგავსაყრელებზე, ან ნაგავგადამამუშავებელ ქარხნებში საშიში ქიმიური ნივთიერებების უსაფრთხო ან ნაკლებად საშიშ ნიეთიერებებად (ბიორემედიტაცია) გარდაქმნა ხორციელდება.

ბუნებაში გავრცელებული ბაქტერიებისა და ობის სოკოებისგან გამოვლენილია ისეთი შტამები, რომლებიც რთული ორგანული ნივთიერებების (პესტიციდები, პოლიქლორბიფენილები და მისთ.) ბიოდეგრადაციას ახდენენ. ზოგიერთი მიკროორგანიზმი ,,საკვებად'' მძიმე ლითონებს მოიხმარს, ზოგი მცენარე კი მათ სხეულში დიდი რაოდენობით იგროვებს. ამდაგვარ მიკროორგანიზმებსა და მცენარეებს მძიმე ლითონებით (დარიშხანი, მანგანუმი, ეერცხლისწყალი, რადიუმი, ტყვია და მისთ) დაჭუჭყიანებული გარემოს გასასუფთავებლად იყებებენ. ზოგიერთ მიკრობს აღმოაჩნდა ექვს ეალენტიანი ქრომის (გენეტიკურად აქტიურია და იწვევს კიბოს) სამვალენტიანად (ნაკლებ ტოქსიკურია) გარდაქმნის უნარი. ბიოდეგრადაციაში მონაწილე მიკრორგანიზმებიდან მაღალი ნარმადობის ან გენმოდიფიცირებული შტამები გამოყავთ. მათ ინტროდუქციას გაჭუჭყიანებულ გარემოში ახდენენ და ამ გზით გარემოს ასუფთავებენ. შემუშავებულია აირებით დაჭუჭყიანებული ჰაერის ბიოფილტრებით გასუფთავების ტექნოლოგია.

10.4. თანამედროვე გენეტიკური ინჟინერიის ეთიკური პრობლემები

განვითარების თანამედროვე ეტაპზე გენეტიკა შეიჭრა ჰუმანიტარულ მეცნიერებებში და მრავალი სოციოკულტურული პრობლემა ნამოჭრა. გენეტიკის მიერ შემოთავაზებულ ტექნოლოგიებსა და მათ ყოფაცხოვრებაში დანერგვას თან ახლავს ეთიკური რისკი. მათი გადაჭრა დიდ სიფრთხილეს მოითხოვს. ხშირ შემთხვევაში გენეტიკური ინჟინერიის კვლევის ობიექტი არის ადამიანი, კერძოდ, მისი გენეტიკური სტრუქტურა. ზოგჯერ მანიპულირების საბოლოო შედეგის თანმდევი შესაძლო უარყოფითი მომენტები კარგად გაცნობიერებული არ არის. ადამიანთა ერთ ჯგუფს – მეცნიერებს, უფლება ეძლევა განაგოს მეორე ჯგუფის (გენეტიკური ზემოქმედების ობიექტის) და მათ შთამომავალთა ბედი. ამ შემთხვევაში მრავალი ეთიკური პრობლემა იჩენს თავს. საჭიროა გენური ინჟინერიის პრაქტიკაში სუბიექტსა და ობიექტს შორის ეთიკური ნორმების დარეგულირება. ეს პრობლემა საკმაოდ მწვავეა. აქედან გამომდინარე, ისმის კითხვა: რა არის საზოგადოებისათვის მისაღები? რა არის დასაგმობი? რა შემთხვევაში შეიძლება ადამიანის მემკვიდრეობაში ჩარევა? ჯერარდაბადებული ბავშვის ბედზე ზემოქმედება? ეს საკითხი დისკუსიის გზით უნდა გადაწყდეს. პრობლემის გადაჭრაში საზოგადოების ყველა ფენამ უნდა მიიღოს მონაწილეობა. დისკუსია მხოლოდ იმ შემთხვევაში მოიტანს შედეგს, როდესაც საზოგადოება პრობლემათა არსში კარგად ერკვევა. ზოგჯერ ოპონენტები ეთიკურ, იურიდიულ და რელიგიურ შეხედულებებს თავიანთი პოზიციის დასაცავად გაუაზრებლად იშველიებენ.

ამჟამად ეთიკური ნორმები კანონით რეგულირდება. გაერომ 1948 წელს მიიღო **ადამიანის უფლებათა საყოველთაო დეკლარაცია**, რომელსაც მრავალი ქვეყანა შეუერთდა. თვით ამ ქვეყნებში დეკლარაციის მრავალი პუნქტი ირღვევა. ზოგიერთი დაკანონებული ეთიკური ნორმა ყოფა-ცხოვრებაში ვერ დაინერგა. გაცილებით რთული პრობლემები წამოიჭრება, როდესაც ახალ სიტუაციას ვაწყდებით. რელიგიური ტრადიციის გათვალისწინებას შედეგი არ მოაქვს. ძველი აღთქმა, მაგალითად განიკითხავს ონანს ცოდვისათვის [დაბ.38, 8-10]. ამაზე დაყრდნობით იუდეველი ღვთის მსახურები მოითხოვენ ექსტრაკორპორალური განაყოფიერების ე.წ. "ჩასახვა სინჯარაში" (ცოლ-ქმრის გამეტების ლაბორატორიულ პირობებში შერწყმა და ჩანასახის განვითარება) აკრძალვას. მათი შეხედულებით, სპერმა შესაძლოა ცოდვის გზით (მასტურბაციით!) იქნას მიღებული. (ექსტრაკორპორალური განაყოფიერების მეთოდის შემუშავებისათვის რობერტ ედვარდს 2010 წ. ნობელის პრემია მინიჭა. ამ მეთოდით მსოფლიოში 4 მილიონამდე ბავშვია გაჩენილი).

საყოველთაოდ მიღებული, ზოგიერთი ეთიკური პრინციპის აღიარებას საზოგადოებაში შეხედულებათა ერთიანობა არ გამოუწვევია. რამდენად ურყევია მიღებული ეთიკური პრინციპები და როგორ უნდა განხორციელდეს მათი რეალიზაცია კონკრეტულ სიტუაციაში? გაცილებით მეტი პრობლემა წამოიჭრება ხოლმე, როდესაც საზოგადოებას ახალ სიტუაციაში უხდება პრობლემის გადაჭრა. განსაკუთრებით მწვავედ ამდაგვარი პრობლემა წამოიჭრება, როდესაც მეცნიერების უახლესი ტექნოლოგიები ინერგება საზოგადოებაში.

გენეტიკური ტექნოლოგიების გაუთვალისწინებელი დანერგვით შეიძლება დაირღვეს ადამიანის უფლებები, მათ შორის: 1. ადამიანის სიცოცხლის ხელშეუხებლობა. 2. ადამიანის თავისუფლების ხელშეუხებლობა. 3. შთამომავ- ლობის დატოვების უფლება.

სერიოზული ეთიკური განჯის საგანია "პრენატალური დიაგნოსტიკის" მიღწევების პრაქტიკაში დანერგვა. განვითარების ადრეულ ეტაპზე საზღვრავენ ნაყოფის გენოტიპს. მძიმე გენეტიკური დაავადების გამომწვევი გენის გამოვლენის შემთხვევაში ცოლ-ქმართან შეთანხმებით მიმართავენ აბორტს. ოპონენტები მიიჩნევენ, რომ ნაყოფის განვითარების ხელოვნური შეწყვეტა ნებისმიერ შემთხვევაში დაუშვებელია, ვინაიდან ირღვევა ადამიანის სიცოცხლის ხელშეუხებლობის უფლება.

ასევე არაეთგვარი შეხედულებაა "პრეინპლანტაციური გენეტიკური დიაგნოსტიკის" შემთხვევაშიც.

2001 წლის ივნისში ცოლ-ქმარმა დახმარებისთვის მიმართა ი. ვერლისკის კლინიკას (ჩიკაგო, რეპროდუქციული გენეტიკის ინსტიტუტი, აშშ). მათ გენეალოგიაში "სიმსივნის ოჯახური ფორმა" ლი-ფრაუმენის სინდრომი აღენიშნებოდათ. ამ სინდრომს TP53 გენის მუტაცია იწვევს. წესისამებრ, ჰომოზიგოტებში სიმსივნური დაავადება 40 წლის ასაკში ვლინდება, თუმცა ხშირად ბავშვებშიც იჩენს თავს. ამ გენის მიხედვით ცოლ-ქმარი ჰეტეროზიგოტი აღმოჩნდა. ამ შემთხვევაში კი სინდრომის მფლობელი ბავშვის ჩასახვის ალბათობა 50%-ია. ლაბორატორიაში განხორციელდა "ჩასახვა სინჯარაში". გამოყვეს ისეთი ჩანასახი, რომელსაც არ ჰქონდა კიბოს გამომწვევი გენი. ჩანასახი მოათავსეს დედის საშვილოსნოში. ქალი დაფეხმძიმდა და ეყოლა ჯანმრთელი ვაჟი. *(იხ. თავი 7.6.3).*

სადღეისოდ "პრეინპლანტაციური გენეტიკური დიაგნოსტიკის" მეთოდით 50-ზე მეტი მძიმე მემკვიდრული დაავადების გამოვლენა და თავიდან აცილებაა შესაძლებელი. ისეთისაც კი, რომელიც ზრდასრულ და ხანდაზმულ ასაკში იჩენს ხოლმე თავს. მრავალი მეცნიერი მიიჩნევს, რომ ეს მეთოდი გაცილებით პროგრესულია, ვიდრე "პრენატალური დიაგნოსტიკის" მეთოდი. იგი გამორიცხავს რისკს და, შესაძლებელია, პაციენტს თავიდან ააცილოს ხელოვნური აბორტი.

დიდი მღელვარება გამოიწვია განსაზღვრული გენოტიპის მქონე ბავშვების "შეკვეთით" გაჩენამ. ცოლ-ქმარმა, რომელსაც ჰყავდა უკურნებელი ლეიკემიით დაავადებული ქალიშვილი, თხოვნით მიმართა ი. ვერლისკის კლინიკას. მათ სურდათ ძვლის ტვინის დონორად გამოსადეგი შვილის გაჩენა. ემბრიონთა სელექციის გზით, მეცნიერებმა შესძლეს შესაბამისი გენოტიპის ბავშვის ჩასახვა.

"შეკვეთილი" ბავშვი — ადამ ნეშე ქვეყანას 2000 წელს მოევლინა და სიცოცხლე შეუნარჩუნა სასიკვდილოდ განწირულ უფროს დას. ამავე პერიოდში ბრიტანეთიდან კლინიკას ორმა ოჯახმა მიაკითხა (ინგლისში კანონით იკრძალება მსგავსი მანიპულაციის ჩატარება). ერთ-ერთს ჰყავდა დიდი თალასემიით, მეორეს კი — ლეიკემიით დაავადებული შვილი. მეცნიერებმა "დაკვეთა" ნარმატებით შეასრულეს. გაჩენილმა დონორებმა სიცოცხლე შეუნარჩუნეს დაავადებულებს.

მომავალში მშობლების გენეტიკური მასალა აღარ იქმარებს "შეკვეთის" შესასრულებლად. საჭირო გახდება სხვა ადამიანთა გენების გამოყენება. გენეტიკის უახლესი ტექნოლოგიებით ეს ადვილად განსახორციელებელია. რამდენად მორალურია "სამკურნალო" ბავშვების წარმოება?

ადამიანის გენომის სრულყოფილი შესწავლა მომავალში შესაძლებელს გახდის, ცოლ-ქმარმა "შეუკვეთოს" სასურველი ნიშნების მქონე შვილი, რომელსაც ექნება დღეგრძელობის, მათემატიკური ან მუსიკალური მიდრეკილების, თვალის გარკვეული შეფერილობის და სხვა გენები. ამ შემთხვევაში არგუმენტად "სიცოცხლის გადარჩენის" მოშველიება აღარ გამოდგება. გამოდის, რომ ბავშვი ნარმოადგენს ისეთივე ნივთს, რომელსაც ნებისმიერ მაღაზიაში გემოვნების მიხედვით შევარჩევთ და ვიძენთ. ამ სახის ტექნოლოგიები ადამიანს გადააქცევს ნივთად, რომლის ყიდვა-გაყიდვა იქნება შესაძლებელი.

სადღეისოდ შესაძლებელია დაინგეგმოს მომავალი შვილის სქესი. უახლესი გენეტიკური ინჟინერიის მეთოდები იფანტიციდის 100%-იან გარანტიას იძლევა. X-ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდი მეტ დნმ-ს შეიცავს, ვიდრე Y-ქრომოსომიანი. შესაძლებელია მამაკაცის სპერმის სელექცია "საქალე" და "სავაჟე" ფრაქციად. ამდაგვარ პროცედურას ე,წ. MikroSort-ს ნარმატებით იყენებენ შინაურ ცხოველებში, რომელსაც დიდი სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს.

სასურველი სქესის ჩასასახად ადამიანის სპერმის სელექციას, მართალია, იფანტიციდთან საერთო არაფერი აქვს, მაგრამ ამდაგვარი მეთოდოლოგია მორალური თვალთახედვით უნაკლოდ ვერ ჩაითვლება. აქ, უპირველეს ყოვლისა, ადგილი აქვს სქესობრივ დისკრიმინაციას. მეორეც, ცნობილია, რომ საზოგადოება, სადაც მნიშვნელოვნად ჭარბობენ მამაკაცები, ნაკლებ სტაბილურია და ძალადობით, კრიმინალისაკენ და სამხედრო კონფლიქტებისკენ მიდრეკილებით გამოირჩევა.

2001 წელს გაერცელდა სენსაციური ინფორმაცია პირველი გენმოდიფიცირებული ბავშვების დაბადების შესახებ. ექსპერიმენტის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ჯეკ კოენმა და მისმა კოლეგებმა (რეპროდუქციული მედიცინისა და მეცნიერების ინსტიტუტი, ნიუ-ჯერსი, აშშ) შესძლეს ქალში დეფექტური მიტოქონდრიებით გამოწვეული უნაყოფობის დაძლევა. ეს ორგანოიდი უჯრედს ენერგიით ამარაგებს. იგი ადამიანის ყველა უჯრედშია., მათ შორის კვერცხუჯრედშიც. განაყოფიერებისას სპერმატოზოიდიდან მიტოქონდრია კვერცუჯრედში არ ხვდება. მიტოქონდრიაში რამდენიმე ათეული წრიული ფორმის დნმ-ს მოლეკულაა. ადამიანის მიტ-დნმ-ში გამოელენილია 37 გენი. მიტ-დნმ-ით ადამიანები განსხვავდებიან, მსგავსი აქვთ მხოლოდ დედის ხაზით ნათესავებს. მიტოქონდრიული გენები დედის გზით გადაეცემა შთამომავლებს.

იშვიათად, ზოგიერთი ქალის კვერცხუჯრედს აქვს დეფექტური მიტოქონდრიები. კვერცხუჯრედი ენერგიით ვეღარ მარაგდება და მისგან ჩანასახი ვერ ვითარდება. ქალში ამდაგვარი დეფექტი უნაყოფობას იწვევს.

ჯ. კოენის ლაბორატორიაში ჩაატარეს შემდეგი მიკროქირურგიული მანიპულაცია: ცოლის კვერცხუჯრედში მიკროპიპეტით შეიტანეს ქმრის სპერმატოზოიდი, ხოლო ჯანმრთელი დონორი-ქალის კვერცხუჯრედიდან - ციტოპლაზმის ნვეთი (მასში ათეულობით ნორმალური მიტოქონდრიაა). განვითარებული ჩანასახი მოათავსეს ცოლის საშვილოსნოში. ნაყოფი ნორმალურად განვითარდა და ჯანმრთელი ბავშვი დაიბადა. კოენის ლაბორატორიაში ზემოთ აღნიშნული მანიპულაცია 30 ქალს ჩაუტარდა, აქედან 12 ქალი დაორსულდა და ეყოლა ჯანმრთელი შვილი. სადღეისოდ ეს მეთოდი მრავალ ლაბორატორიაშია დანერგილი და ნარმატებულად იყენებენ.

ერთი შეხედვით, ეს მანიპულაცია დაავადებულ ადამიანში ორგანოს ან ქსოვილის (მაგ. თირკმელი,

გული, ძელის ტვინი და მისთ.) გადანერგვას - ტრანსპლანტაციას მოგვაგონებს. ტრანსპლანტანტის გენები შთამომავლობას არ გადაეცემა. კოენის ექსპერიმეტით გაჩენილი ადამიანი (კერძოდ, ქალი) დონორის გენებს შთამომავლებს გადასცემს. სწორედ ამ გარემოებამ გამოიწვია მეცნიერებს შორის მწვავე პოლემიკა. რამდენად გამართლებულია შთამომავალთა გენეტიკურ სტრუქტურაში ჩარევა? ჰყავს თუ არა კოენის მეთოდით გაჩენილ ბავშვს "ორი დედა" და როგორია მასთან დაკავშირებული მორალური, იურიდიული და ფსიქოლოგიური პრობლემები? ოპონენტთა არგუმენტებით, ბუნებრივი დედიდან ბავშვს 35 000 ბირთვული გენი გადაეცემა დონორი ქალიდან კი - 37 მიტოქონდრიული გენი (თანაფარდობა 1000:1). იგი "ორი დედის" პრობლემას გამორიცხავს.

გენეტიკური ინჟინერიის მეთოდების გაუმართლებელი გამოყენების სანიმუშო მაგალითია მათი მეშვეობით სპორტსმენებში რეკორდული მაჩვენებლების გაუმჯობესება. ამჟამად სპორტის ზოგიერთ სახეობაში რეკორდულმა შედეგებმა ბიოლოგიური შესაძლებლობის ზღვარს მიაღწია. მომავალში შედეგის გაუმჯობესება შეუძლებელია. ზოგიერთი ექსპერტის პროგნოზით, 2012 წლის ოქროს მედლებს, ძირითადად, ოლიმპიადაში მონაწილე გენმოდიფიცირებული სპორტსმენები მოიპოვებენ. "დნმ-დოპინგის" მომხმარებელი შეჯიბრში სხვა მონაწილეებთან შედარებით მეტი გამძლეობას, ძალასა და სიჩქარეს გამოაელენს.

სადღეისიოდ სამი სახის "დნმ-დოპინგ" პრეპარატია შექმნილი. ერთ-ერთი გენი ზრდის ერითროციტებში ჰემოგლობინის, ხოლო კუნთებში მიოგლობინის რაოდენობას. კუნთებს დიდი რაოდენობით მიეწოდება ჟანგბადი და იზრდება ორგანიზმის ამტანობა. მეცნიერებმა პრეპარტი ჰუმანური მიზნით - ანემიით დაავადებული ავადმყოფებისთვის შექმნეს. ოლიმპიელები მას არამიზნობრივად გამოიყენებენ. მეორე გენურ პრეპარატს სრულყოფის შემდეგ ფართო გამოყენება ექნება. იგი ზრდის სისხლძარღვთა სანათურის ამომფენი უჯრედების რაოდენობას. პრეპარატი გამიზნულია ათეროსკლეროზით დაავადებული პაციენტებისათვის. ოლიმპიელები პრეპარატს გამოიყენებენ კუნთების სისხლით მომარაგების გასაუმჯობესებლად. ასევე პერსპექტიულია მესამე გენური პრეპარატი. იგი ხელს უწყობს კუნთოვანი ბოჭკოების ზრდას. პრეპარატი გამიზნულია ხანდაზმულებისა და კუნთოვანი დისტროფიით დაავადებული პაციენტებისთვის. კლინიკური გამოკვლევებით დადგენილია, რომ პრეპარატი 15-30%-ით ზრდის კუნებს. ახალად სინთეზირებული პრეპარატი აღმოჩენაა არაკეთილსინდისიერი სპორტსმენებისთვის. იგი შეცვლის ამჟამად აკრძალულ დოპინგ-სტეროიდებს.

მეცნიერები მუშაობენ გენური დოპინგის აღმომჩენ ტესტებზე. ზოგიერთი პრეპარატი სისხლში არ გადადის. ამდენად, მათი გამოვლენა რთულია, ზოგჯერ შეუძლებელი. ამ შემთხვევაში ირღვევა ოლიმპიური ფიცი; ამას გარდა, დოპინგ- დამოკიდებული სპორტსმენი "დაპროგრამებული" აუტომატია. იგი მხოლოდ მკაცრ ფუნქციებს ასრულებს და დაკარგული აქვს ადამიანური ღირსება. ოლიმპიადა გახდება გენეტიკურ ტექნოლოგიათა და არა ღირსეულ სპორტსმენთა კონკურენციის ასპარეზი. ბუნებრივია, ეს უკვე აღარ იქნება სპორტი.

გამოკვლევები ცხადყოფს, რომ წარმატებული რეკორდსმენების აღნაგობასა და სპორტულ მონაცემებს გენოტიპი განსაზღვრავს. სწორედ ამის გამოა, რომ კენიელი სპორტსმენები სხვა მსრბოლელებთან შედარებით დიდ სიჩქარეს ავითარებენ. საშუალო მონაცემების მქონე, მაგრამ გენური დოპინგის მომხმარებელი სპორტსმენი შეძლებს, დაამარცხოს მასზე უფრო მაღალი მონაცემების მქონე, ღირსეული მოწინააღმდეგე, რომელიც არ იყენებს ამგვარ დოპინგს. ასეთ შემთხვევაში ასპარეზობა აზრს კარგავს.

გაცილებით სერიოზულ მორალურ-ეთიკური პრობლემებს ვაწყდებით ადამიანის კლონირებასთან დაკავშირებული გენეტიკური ტექნოლოგიების შემუშაევებისას. პოტენციურად, ადამიანის კლონირება ორი მიზნით განხორციელდება: კლონირებული ბავშვების მიღებისა (რეპროდუქტული კლონირება) და სამედიცინო მიზნებით (თერაპიული კლონირება). ამ შემთხვევაში გენეტიკოსების, ფილოსოფოსების, პოლიტიკოსების, სასულიერო მოღვაწეებისა და სოციოლოგების წინაშე პრობლემათა მთელი კოპლექსი იჩენს თავს. რამდენად საჭიროა ადამიანთა მოდგმის გაუმჯობესება და "ჰარმონიზება" კლონირების გზით? რა შედეგს მოიტანს ადამიანის ამდაგვარი, "დაპროექტებული სელექცია"? ხომ არ არის ეს ერთგვარი მეტოქეობა და თავის გატოლება უზენაეს შემოქმედთან? ცოცხალ მატერიას, მათ შორის, ადამიანს ახასიათებს გენეტიკური ნაირგვარობა – ჰეტეროგენულობა. იგი პოპულაციების ნორმალური არსებობისა და განვითარების საფუძველია. "იდეალური ადამიანისათვის" ნიშანდობლივი კრიტერიუმები არ არსებობს. თითოეული ადამიანი გენეტიკურად უნიკალურია. ამდენად, ადამიანის გენეტიკური "გაუმჯობესების" იდეა საფრთხის შემცველია და მეცნიერულ საფუძველს არის მოკლებული.

თერაპიული კლონირებისას მიიღებენ გარკვეული გენოტიპის ემბრიონებს ღეროუჯრედების გამოსაყოფად. ამ მასალას გამოიყენებენ რიგი დაავადებების (დიაბეტი, პარკინსონი, ალცჰაიმერის დაავადება და მისთ.) სამკურნალოდ. კლონირებული ღეროუჯრედებიდან განვითარებული ქსოვილი განკურნავს დაავადებულ ადამიანს. ღეროუჯრედებიდან ამოცლილი ემბრიონი (ანუ მომავალი ჯანსაღი ადამიანი) იღუპება. ისმის კითხვა: ირღვევა თუ არა ადამიანის სიცოცხლის ხელშეუხებლობის ფუნდამენტური უფლება? შესაძლებელია თუ არა, რომ ამან ბიძგი მისცეს ორგანოთა, ქსოვილთა და გენთა "სათადარიგო ნაწილების" ბაზრის შექმნას; ნაწილებისა, რომლებიც ადამიანის ემბრიონიდან იქნება დამზადებული?

თავი 11. ცოცხალი სამყაროს ისტორიული განვითარება

ორგანული სამყაროს ისტორიულ განვითარებას იკვლევს მეცნიერება – ევოლუციური თეორია. იგი შეისწავლის ორგანული სამყაროს ევოლუციის მოვლენებს, მიზეზებს, გზებს და კანონზომიერებებს. ევოლუციური თეორია განაზოგადებს ბიოლოგიის ცალკეულ დარგში მიღებულ შედეგებს. იგი თანამედროვე ბიოლოგიის, სასოფლო-სამეურნეო და სამედიცინო პრაქტიკის უმნიშვნელოვანესი თეორიული საფუძველია.

ბიოლოგიური ევოლუცია არის ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი ისტორიული განვითარება, რასაც თან ახლავს პოპულაციის გენეტიკური შემადგენლობის ცვლილება, ადაპტაციების ფორმირება, სახეობათა წარმოქმნა და ამოწყდომა, ბიოცენოზებისა და მთლიანად ბიოსფეროს გარდაქმნა.

ორგანული სამყაროს ევოლუცია უწყვეტი და შეუქცევადი პროცესია. ახალი სასარგებლო მემკვიდრული ცვლილებების თანდათანობითი დაგროვება იწვევს ცოცხალ ფორმათა თვისობრივ გარდაქმნას და ახალი სახეობის ჩამოყალიბებას.

ევოლუციურ პროცესს შეგუებითი ხასიათი აქვს. სახეობათა ევოლუცია მიმდინარეობს საარსებო პირობებთან შეგუების პროცესში. ევოლუცია იწვევს ცოცხალ ფორმათა ორგანიზაციის დონის ამაღლებას. რთული ორგანიზაციის ფორმები წარმოიშვა მარტივი ორგანიზაციის ფორმებიდან. იმავდროულად მიმდინარეობს მარტივი და რთული ორგანიზაციის დონის ფორმების თანაარსებობა. ორგანიზაციის დონის ამაღლება ევოლუციის საბოლოო შედეგია. ევოლუციის პროცესი ზოგიერთ შემთხვევაში ორგანიზაციის დონის ამაღლების გარეშეც ხორციელდება.

სახეობათა მრავალფეროვნება ევოლუციის შედეგია. ცნობილია ცხოველთა 1,5 მილიონი, მცენარეთა 0,5 მილიონი, სოკოების 100 ათასი, ხოლო მიკრობების 4,5 ათასი სახეობა. მრავალფეროვნების მიუხედავად, ყველა ორგანიზმს საერთო ნიშნების მთელი წყება ახასიათებს. ასეთია, მაგალითად, ცხოველური და მცენარეული უჯრედის მსგავსი ორგანიზაცია, გამრავლების პროცესები, მემკვიდრეობისა და ცვალებადობის მოვლენები, უჯრედის მიტოზური და მეიოზური გაყოფა, ნივთიერებათა პლასტიკური და ენერგეტიკული ცვლის პროცესები და ა. შ. აღნიშნული ფაქტები ორგანული სამყაროს ერთიანი წარმოშობის მიმანიშნებელია. ზემოთ ჩამოთვლილ შედეგებს: 1. სახეობათა მრავალფეროვნებას; 2. გარემოსთან ორგანიზმთა შეგუებას; 3. ორგანიზმთა ორგანიზაციის დონის თანდათანობით ამაღლებასა და გართულებას; აქვთ გარკვეული მიზეზები, რომელთაც ევოლუციის თეორია შეისწავლის. ევოლუციის მთავარი მიზეზი ბუნებრივი გადარჩევაა, რომელიც ჩ. დარვინმა აღმოაჩინა.

11.1. ევოლუციური თეორიის განვითარების მოკლე ისტორია

ევოლუციური თეორიის განვითარების საწყის ეტაპად მიჩნეულია პერიოდი, როდესაც გავრცელებული იყო სამყაროს ერთიანობისა და მისი განვითარების იდეა. ძველი სამყაროს (ჩინეთი, ინდოეთი, მესოპოტამია, ეგვიპტე, საბერძნეთი) მრავალი სწავლული და ფილოსოფოსი იზიარებდა ამ იდეას. ჯერ კიდევ ჩვ. წ. ა.-მდე I ათასწლეულის ბოლოს ჩინეთში გავრცელებული იყო მოძღვრება ერთი ფორმის ორგანიზმთა თანდათანობითი ცვლილების გზით მეორედ გარდაქმნის შესახებ. ჩვ. წ. ა.-მდე I ათასწლეულში ინდოეთში არსებობდა ფილოსოფიური სკოლები, რომლებიც იზიარებდა „პირველადი მატერიიდან" მატერიალური (მათ შორის ორგანული) სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების იდეას. აიურვედას უძველეს ტექსტებში გადმოცემულია შეხედულება მაიმუნიდან ადამიანის წარმოშობის შესახებ. სამყაროს ერთიანობისა და განვითარების იდეა სრულყოფილი სახით ნარმოდგენილია ანტიკური ფილოსოფოსებისა და სწავლულთა (ჰერაკლიტე, ემპიდოკლე, დემოკრიტე, ლუკრეციუსი, არისტოტელე და სხვ.) შრომებში. მათ მიერ მოცემულია მახვილგონიერული მოსაზრებანი ორგანულ სამყაროზე, რომელიც წარმოადგენდა აზროვნების ნაყოფს და ცოცხალ ბუნებაზე უშუალო დაკვირვებას, მათ განზოგადებას არ ემყარებოდა. ამდენად ძველი სამყაროს სწავლულები არ შეიძლება მივიჩნიოთ თანამედროვე ევოლუციონისტების უშუალო წინამორბედებად.

XVII-XIX ს. პირველ ნახევარში სისტემატიკის, შედარებითი ანატომიის, ბიოგეოგრაფიის განვითარებამ ხელი შეუწყო ფაქტობრივი მასალის დაგროვებას. მომდევნო ეტაპზე ჩამოყალიბდა შეხედულებათა სისტემა — ტრანსფორმიზმი – მოძღვრება ორგანულ ფორმათა ცვალებადობისა და ერთი სახეობის მეორე სახეობად გარდაქმნის შესახებ. იგი შეიცავდა ევოლუციური იდეის ჩანასახს. ტრანსფორმიზმის იდეის მიმდევართა (რ. ჰუკი, ე. დარვინი, დ. დიდრო, უ. სენტ-ილერი, ი. გოეთე და სხვ.). შეხედულებები ზოგჯერ ანტიკური და შუასაუკუნეების სწავლულთა და ფილოსოფოსთა შეხედულებებს ეფუძნებოდა. ტრანსფორმისტები აღიარებდნენ ორგანიზმთა გარდაქმნას, მაგრამ სათანადო არგუმენტებით ვერ ასაბუთებდნენ. მართალია, მათ ვერ შექმნეს სრული ევოლუციური თეორია, მაგრამ ნიადაგი მოუმზადეს მის ჩამოყალიბებას.

ჟ. ბ. ლამარკის[1] ევოლუციური თეორია. პირველი სრული და თანმიმდევრული ევოლუციური თეორიის ფუძემდებელია ჟან ბატისტ ლამარკი (1744-1829), რომლის ძირითადი დებულებები დასრულებული სახით გადმოცემულია შრომაში „ზოოლოგიის ფილოსოფია" (1809). ლამარკის ევოლუციური კონცეფცია მოიცავს ორგანული სამყაროს განვითარების მთელ პერიოდს სიცოცხლის წარმოშობიდან, ადამიანის წარმოშობის ჩათვლით. ლამარკის კონცეფციით ორგანიზმები ცვალებადია, სახეობა (ასევე სხვა სისტემატიკური კატეგორიები) პირობითია და თანდათანობით სხვა სახეობებად გარდაიქმნებიან. ლამარკის აზრით, უმარტივესი ორგანიზმები თვითჩასახვით არაცოცხალი მატერიიდან წარმოიქმნებიან. ლამარკის თეორიის მიხედვით, ორგანიზმები იცვლებიან და ვითარდებიან უმარტივესიდან ურთულესისაკენ, ნაკლებ სრულყოფილიდან უფრო სრულყოფილისაკენ ორგანიზაციის დონის ამაღლების – „გრადაციის" გზით. ევოლუციის მამოძრავებელ ძალად ლამარკს მიაჩნდა თვით ორგანიზმებში არსებული „სწრაფვა სრულყოფისაკენ", განვითარების პროცესში მათი გარდაქმნის მიზეზად - გარემო პირობების უშუალო ზემოქმედებით გამოწვეულ ცვლილებებ მიიჩნევდა. გარემო პირობები თავისი ზემოქმედებით ცვლის და არღვევს გრადაციის ბუნებრივ მსვლელობას. მცენარეებსა და დიფერენცირებულ ნერვულ სისტემას მოკლებულ ცხოველებზე გარემო უშუალოდ მოქმედებს და შეგუებით ცვლილებებს იწვევს. ნერვული სისტემის მქონე ცხოველებზე გარემოს ცვლილება ქცევებისა და ჩვევების შეცვლას იწვევს. ვარჯიშის შედეგად შესაბამისი ორგანო იცვლება საჭირო მიმართულებით (მაგ., ჟირაფის, გედის, ბატის გრძელი კისერი, წყლის ფრინველთა თითებს შორის საცურავი აპკი და სხვ.). უვარჯიშობით კი ორგანო სუსტდება, კნინდება და ქრება (მაგ., თხუნელას თვალი, სირაქლემას ფრთები, გველის კიდურების უქონლობა და სხვ.), (ე. წ. პირველი კანონი). ეს ცვლილებები მემკვიდრეობით გადაეცემა (ე.წ. მეორე კანონი). მოგვიანებით, გენეტიკური გამოკვლევებით დადგინდა, რომ გარემოს ზემოქმედებით გამოწვეული ორგანოთა ცვლილება მოდიფიკაციაა და შეძენილი ნიშან-თვისებები არ მემკვიდრეობს. ლამარკის კონცეფციით ადამიანი რომელიღაც უმაღლესი მაიმუნებიდან წარმოიშვა. იგი ანთროპოგენეზის ერთ-ერთ უმთავრეს ფაქტორად ზეამართულ სიარულზე გადასვლას და მეტყველებას მიიჩნევდა.

ამრიგად, ლამარკის თეორია სწორად ასახავს ევოლუციის პროცესის რეალურად არსებობას, მაგრამ ვერ იძლევა მისი მიზეზების მართებულ ახსნას. ვინაიდან ლამარკის ევოლუციური კონცეფცია სუსტად იყო არგუმენტირებული, თანამედროვეთა შორის აღიარება ვერ პოვა და იგი დავიწყებას მიეცა.

დარვინ-უოლესის ევოლუციური თეორია. მეცნიერულად დასაბუთებული ევოლუციური კონცეფცია მხოლოდ XIX ს. მეორე ნახევარში ჩამოაყალიბეს. საკუთარი დაკვირვებების, თავის დროის მეცნიერული ცოდნისა და სელექციის მიღწევათა განზოგადების საფუძველზე ჩარლზ რობერტ დარვინმა[2] (1809-1882) ჩა-

---

1 ჟან ბატისტ ლამარკი. გამოჩენილი ფრანგი ბუნებისმეტყველი ჟან ბატისტ ლამარკი დაიბადა 1744 წლის 1 აგვისტოს ბაზანტენში (პიკარდიის პროვინცია), ღარიბი აზნაურის ოჯახში. მშობლებს უნდოდათ ის მღვდელი გამოსულიყო და კათოლიკურ სასწავლებელში მიაბარეს. 16 წლის ლამარკი ტოვებს სკოლას და მოხალისედ მოქმედ არმიაში მიდის (მიმდინარეობდა 7-წლიანი ომი). იქ მან დიდი სიმამაცე გამოიჩინა და ოფიცრის წოდება მიიღო. 1768 წლამდე ლამარკი სამხედრო სამსახურში იმყოფებოდა. მაგრამ ავადმყოფობის გამო ის იძულებული გახდა სამხედრო სამსახურისთვის თავი დაენებებინა. ლამარკი სწავლას აგრძელებს პარიზის უმაღლეს სამედიცინო სკოლაში. შემდეგ მუშაობას იწყებს სამეფო ბოტანიკურ ბაღში (1772-1776), რომელიც შემდგომში (1793) პარიზის საბუნებისმეტყველო მუზეუმად გადაკეთდა. შრომისმოყვარე და ნიჭიერმა ახალგაზრდა მეცნიერმა 1778 წელს დაწერა დიდი შრომა სამ ტომად — „საფრანგეთის ფლორა". ამ ნიგნმა ლამარკს დიდი სახელი მოუხვეჭა და პარიზის აკადემიის წევრად აირჩიეს. 1778 წლიდან იგი სათაეში უდგას ბოტანიკის კათედრას, 1793 წლიდან კი ზოოლოგიის კათედრის ხელმძრვანელობას სთავაზობენ. 1801 წელს ის აქვეყნებს შრომას „უხერხემლო ცხოველთა სისტემა", რომელშიც პირველადაა გამოთქმული ევოლუციური იდეები. 1809 წელს ლამარკმა დაბეჭდა ფუნდამენტური შრომა „ზოოლოგიის ფილოსოფია", რომელშიც ჩამოყალიბებულია მისი ევოლუციური კონცეფცია. ლამარკმა შემოიღო ცხოველთა დაყოფა უხერხემლოებად და ხერხემლიანებად, რომელიც ამჟამადაც მყარადაა დამკვიდრებული ბიოლოგიაში. აღსანიშნავია, რომ ტერმინი „ბიოლოგია", თანამედროვე გაგებით, პირველად ერთდროულად, მაგრამ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ლამარკმა და გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა გ. ტრევირანუსმა (1802) იხმარეს. ლამარკს ეკუთვნის გეოლოგიური, ჰიდროლოგიური და მეტეოროლოგიური გამოკვლევებიც, რომლებშიც ის ეყრდნობა განვითარების იდეასა და ისტორიზმის პრინციპს. სიცოცხლის უკანასკნელ წლებში ლამარკი დაბრმავდა და უკიდურეს სიღარიბეში ჩავარდა. ყველასაგან მივიწყებული 1829 წლის 18 დეკემბერს გარდაიცვალა.

2 ჩარლზ რობერტ დარვინი. ინგლისელი ბუნებისმეტყველი, ჩარლზ რობერტ დარვინი დაიბადა 1809 წლის 12 თებერვალს, ქალაქ შრუზბერში. მამამისი ცნობილი ექიმი იყო, ხოლო პაპა — ერაზმ დარვინი — XVIII საუკუნის ცნობილი მეცნიერი. დარვინმა დაწყებითი განათლება შრუზბერში მიიღო. 1825 წლიდან იგი სტუდენტია ედინბურგის უნივერსიტეტის სამედიცინო ფაკულტეტისა, სადაც ორი წელი დაჰყო. შემდგომ დარვინი სწავლას აგრძელებს კემბრიჯის უნივერსიტეტის თეოლოგიის ფაკულტეტზე. მას *სურდა* სოფლის მღვდელი გამოსულიყო და, ამასთანავე, ემუშავა ზოოლოგიაში. 1831 წელს დარვინმა დაასრულა საუნივერსიტეტო კურსი და ბაკალავრის ხარისხი მიიღო. უნივერსიტეტის დამთავრებისთანავე დარვინმა დედამიწის გარშემო იმოგზაურა გემ „ბიგლით" (1831-1836 წწ.). ამ სამეცნიერო ექსპედიციამ გადამწყვეტი როლი ითამაშა ახალი მსოფლმხედველობის ჩამოყალიბებაში. ჩ. დარვინი „სახეობათა წარმოშობაზე" დაახლოებით ოც წელს (1837-58) მუშაობდა. 1858 წ. 18 ივნისს ჩ. დარვინმა ინგლისელი ზოოლოგის, ალფრედ რასელ უოლესისაგან (1823-1913) მიიღო სტატია, რომელშიც ევოლუციის მსგავსი კონცეფცია იყო გადმოცემული. რეკომენდაციასთან ერთად, უოლესი დარვინს სთხოვდა, მისი სტატია გადაეცა გამოჩენილი გეოლოგისათვის, ჩ. ლაიელისათვის. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ კონცეფციამდე ორივე ავტორი თომას მალთუსის (1766-1834) ნაშრომმა „ხალხთმოსახლეობის ბუნებრივი კანონი" (1822) მიიყვანა. დარვინმა უოლესის თხოვნა შეასრულა. დადგა პრიორიტეტის — პირველაღმომჩენობის საკითხი. მეგობრების მტკიცე მოთხოვნის შემდეგ, დარვინის შრომის მოკლე რეფერატი, ა. უოლესის სტატიასთან ერთად 1858 წ. 1 ივნისს მოხსენდა ლონდონის ლინეს საზოგადოებას და დაიბეჭდა ამავე წელს

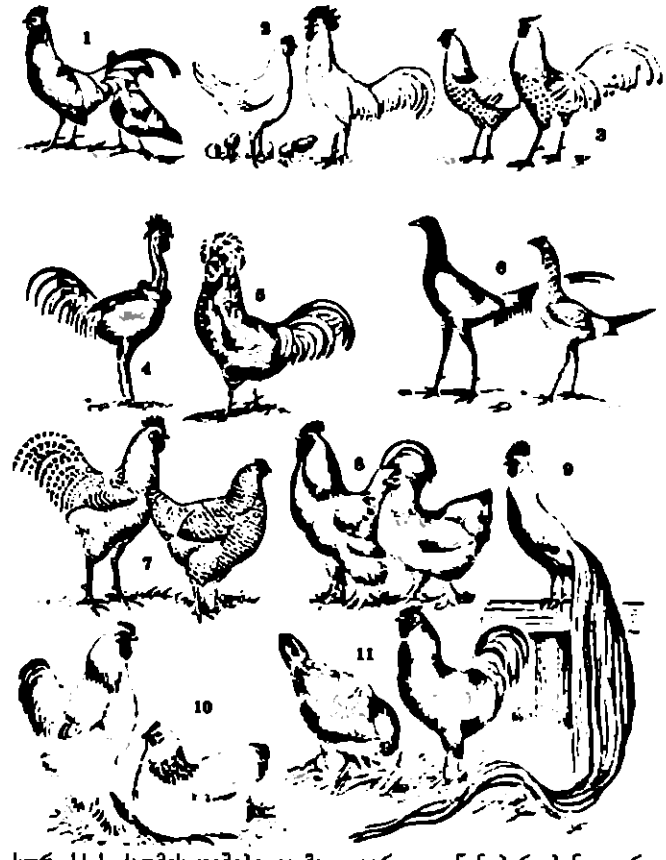
მოაყალიბა ევოლუციური კონცეფცია. თეორია გადმოცემულია ტრილოგიაში: ,,სახეობათა წარმოშობა ბუნებრივი გადარჩევის გზით, ანუ უკეთშეგუებულ ჯიშების გადარჩენა სიცოცხლისათვის ბრძოლაში" (1859); ,,შინაური ცხოველებისა და კულტურული მცენარეების შეცვლა" (1868); ,,ადამიანის წარმოშობა და სქესობრივი გადარჩევა" (1871). 1858 წელს მსგავსი შეხედულება ნამოაყენა ალფრედ რასელ უოლესმა. ხშირად ევოლუციის ამ კონცეფციას დარვინ-უოლესის თეორიას უწოდებენ.

ამ კონცეფციის თანახმად, ევოლუციის ფაქტორებია მემკვიდრეობითობა, ცვალებადობა და ბუნებრივი გადარჩევა. მექანიზმი, რომელიც წინარე სახეობიდან ახალი სახეობების წარმოშობას აპირობებს, არის ბუნებრივი გადარჩევა. ბუნებრივი გადარჩევის პრინციპი სამ მთავარ დაკვირვებასა და ორ დასკვნაზეა დაფუძნებული.

დაკვირვება 1. დარვინმა შენიშნა, რომ ყოველ ინდივიდს დიდი რეპროდუქციული პოტენციალი გააჩნია. მათ გეომეტრიული პროგრესიით გამრავლების უნარი აქვთ.

დაკვირვება 2. ყოველ სახეობაში ინდივიდთა რაოდენობა თაობათა მანძილზე თითქმის უცვლელია. რეალურად არსებულ ინდივიდთა რაოდენობა არ შეესაბამება გამრავლების ინტენსიობას (ჩნდება მრავალი შთამომავალი, მაგრამ სქესობრივ მომწიფებას მხოლოდ ერთეულები აღწევენ).

დასკვნა 1. ვინაიდან მშობლები დიდი რაოდენობით იძლევიან შთამომავლობას, ხოლო ზრდასრულ ასაკს ერთეულები აღწევენ, მათ შორის უნდა მიმდინარეობდეს კონკურენცია საარსებო რესურსებისათვის, ანუ მიმდინარეობს ,,არსებობისათვის ბრძოლა".



სურ. 11.1. ქათმის ჯიშები და მათი გარეული ნინაპარი ბანკივური ქათამი (1). 2. ლეგჰორნი. 3. პამბურგული. 4. ყელღილღეელები. 5. პუდანი. 6. ძიძგილა. 7. პლიმუტროკი. 8. კოხინხინი. 9. ფენიქსი. 10. ბრამა. 11. ვიანდოტი.

დაკვირვება 3. დარვინმა შენიშნა, რომ ერთსა და იმავე სახეობაში ორი აბსოლუტურად იდენტური ინდივიდი არ გვხვდება. შეინიშნება ნაირგვარობა (პოლიმორფიზმი), სხვაგვარად, ცვალებადობა ცოცხალი ბუნების ერთ-ერთი თვისებაა. თუ განსხვავდებიან ზრდასრული ფორმები, იმავე მოვლენას უნდა ეხვდებოდეთ მოზარდებშიც.

დასკვნა 2. არსებობისათვის ბრძოლაში იმარჯვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც მოპოვებათ სასარგებლო ნიშან—თვისებები, რითაც უკეთ ეგუებიან გარემო პირობებს და ამიტომ ისინი დიდი რაოდენობით ტოვებენ შთამომავლობას, ე. ი. მათ ,,რეპროდუქციული უპირატესობა" აღენიშნებათ ნაკლებ შეგუებულებთან შედარებით. დროთა განმავლობაში ამ პროცესის მრავალჯერადი განმეორება საზიანო ვარიაციების ელიმინაციას, ხოლო სასარგებლო ვარიაციების გადარჩენას იწვევს. უკეთ შეგუებულთა გადარჩენა არსებობისათვის ბრძოლაში ბუნებრივი გადარჩევის საფუძველია.

სახეობათა მრავალფეროვნებისა და ადაპტაციათა ჩამოყალიბების ახსნის გასაღები დარვინმა შინაურ ცხოველთა და კულტურულ მცენარეთა ჯიშების შესწავლაში დაინახა. პრაქტიკაში ადგილი აქვს დიდ ჯიშობრივ ნაირგვარობას. თითოეული სახეობა ბიოლოგიური და სამეურნეო ნიშნებით განსხვავებულ ათეულობითა და ასეულობით ჯიშს ითვლის. დარვინმა უარყო ჯიშთა წარმოშობის მეტაფიზიკური შეხედულება, რომლის თანახმად ადამიანმა ჯიშები ბუნებიდან ,,მზა სახით" შემოიტანა კულტურაში. დარვინმა დაასაბუთა, რომ ჯიშები ველურ ბუნებაში არ არსებობს. კულტურულ მცენარეთა და შინაურ ცხოველთა ჯიშთა ახლანდელი მრავალფეროვნების შემოქმედი ადამიანია.

შინაურ ცხოველთა და კულტურულ მცენარეთა წარმოშობის ღრმა ანალიზით ჩ. დარვინმა დაასაბუთა,

საზოგადოების აგვისტოს შრომათა კრებულში. ხშირად ევოლუციის ამ კონცეფციას დარვინ-უოლესის თეორიას უწოდებენ. 1859 წლის 24 ნოემბერს დაიბეჭდა დარვინის ნაშრომი „სახეობათა წარმოშობა...", რომელიც ბიოლოგიაში ახალი ერის დასაწყისს მოასწავებდა. დარვინმა მრავალრიცხოვანი შრომები დატოვა. ჩარლზ დარვინი გარდაიცვალა 1882 წლის 19 აპრილს. ის დიდი პატივით დაკრძალეს უესტმინსტერის საბატონო -- ინგლისის პანთეონში -- ნიუტონის, ფარადეისა და სხვა დიდ მოღვაწეთა გვერდით.

რომ ჯიშების ეს მრავალფეროვნება სათავეს ველურ ნინაპართა მცირე რაოდენობიდან იღებს. ასე მაგალითად, ველურმა ნინაპარმა (სახეობამ) დასაბამი მისცა ქათმის (Galus galus) *(სურ. 11.1)*, მტრედის (Columba livia), ბოცვერის (Orictolagus cuniculus), ძაღლის (Canis familaris) და ა.შ. მრავალ ჯიშს.

თავისი მოღვაწეობის მანძილზე ადამიანმა, სამეურნეო ინტერესების შესაბამისად, სხვადასხვა მიმართულებით გარდაქმნა მცენარეები და ცხოველები. მაშასადამე, ადამიანი წარმართავდა ჯიშთა ევოლუციას. დარვინმა დაასაბუთა, რომ ამ პროცესში გადამწყვეტი როლი შეასრულა მემკვიდრულმა ცვალებადობამ და ხელოვნურმა გადარჩევამ. ამრიგად, სელექციის მეცნიერული საფუძვლები დარვინმა ჩამოაყალიბა. დარვინის შეხედულებით, გადარჩევის პრინციპი სელექციის მსგავსად მოქმედებს ველურ ბუნებაში.

დარვინმა დამაჯერებლად აჩვენა, რომ ბუნებრივი გადარჩევის მეშვეობით შესაძლებელია აიხსნას ორგანული სამყაროს ყველა მახასიათებელი, ტაქსონომიური იერარქიული სისტემიდან მოყოლებული, ფარმავანგის კაშკაშა შეფერილობის წარმოშობით დამთავრებული, როგორც რუდიმენტული ორგანოების არსებობა, ისე დედამიწაზე ორგანიზმთა განსახლების თავისებურებანი. დარვინის მეცნიერული მემკვიდრეობა მეტყველებს იმაზე, თუ როგორ ღრმად და მრავალმხრივ სწავლობდა იგი ბუნებას, რაოდენ დიდი იყო მისი სამეცნიერო ერუდიცია. ასევე განსაცვიფრებელია მისი თეორიული ნოვატორობა. დიდი წინააღმდეგობის მიუხედავად, დარვინ-უოლესის კონცეფცია სწრაფად დამკვიდრდა მეცნიერებაში და საფუძვლად დაედო თანამედროვე ბიოლოგიას.

მცდარი წარმოდგენები დარვინის მიერ მოწოდებულ ევოლუციურ კონცეფციაზე საკმაოდ მრავალრიცხოვანია. ზოგიერთი მათგანი ფართოდაა გავრცელებული საზოგადოებაში. ასეთია, მაგალითად, ბიოლოგიური ევოლუციისა და ,,არსებობისათვის ბრძოლის'' გაიგივება. ტერმინი "უკეთშეგუებულთა გადარჩენა" დარვინისეულია, მაგრამ მასში სხვა აზრია ჩადებული და ყოველთვის გულისხმობს ინდივიდს, წარმომქმნელს იმგვარი შთამომავლებისა, რომლებიც სქესმწიფე ასაკს აღწევენ. ასევე დარვინს ეკუთვნის ტერმინი ,,ბრძოლა არებობისათვის'', რომელსაც მკვლევარი მალთუსს დაესესხა, თუმცა დარვინთან ამ ტერმინს მეტაფორული დატვირთვა აქვს. ინგლისელ ფილოსოფოსს, ჰერბერტ სპენსერს ეკუთვნის არსებობისათვის ბრძოლის პოპულარიზაციისა და ადამიანთა საზოგადოებაზე გადატანის იდეა, რომელიც ოსტატურად გამოიყენა სოციალური ევოლუციის მისეულ კონცეფციაში. იმ ისტორიულ ეპოქაში გარკვეული სოციალური ნრეებისთვის მისაღები იყო იდეა ინდივიდებს შორის არსებობისათვის ბრძოლის შესახებ, რომელშიც ,,ძლიერი ფორმები იმარჯვებენ'' და მის ნაყოფს იმკიან. დარვინი ხაზგასმით მიუთითებდა, რომ ევოლუციის კანონზომიერებანი, მათ შორის, არსებობისათვის ბრძოლა სამართლიანია და მოქმედებს მხოლოდ ცხოველთა და მცენარეთა სამყაროში. მისი გადატანა ადამიანთა საზოგადოებაში არ არის მართებული. ბუნებრივი გადარჩევის არასწორი ინტერპრეტაციის შედეგად მრავალი მიმართულება ჩამოყალიბდა, მათ შორის, სოციალდარვინიზმი და ევგენიკა.

ბიოლოგიაში ახალ აღმოჩენათა საფუძველზე მნიშვნელოვნად განვითარდა, შეივსო და დაიხვეწა ევოლუციური თეორია. თანამედროვე ევოლუციური თეორიის ჩამოყალიბებაში დიდი როლი შეასრულა გენეტიკის, ეკოლოგიის, მოლეკულური ბიოლოგიის, პალეონტოლოგიისა და ბიოლოგიის სხვა დარგების მიღნეებმა. თანამედროვე ევოლუციურ მოძღვრებას საფუძვლად უდევს დარვინ-უოლესის მიერ მოწოდებული ბუნებრივი გადარჩევის კონცეპტი. ამჟამად ახალ მოძღვრებას ***ევოლუციის სინთეზური თეორია*** ენოდება.

მიკროევოლუციის კანონზომიერებანი

11.2. პოპულაცია-ევოლუციური პროცესის ელემენტარული ერთეული

მიკროევოლუცია ევოლუციის საწყისი ეტაპია, რომელიც სახეობის შიგნით მიმდინარეობს, იწვევს მის დიფერენცირებას და სახეობათა წარმოქმნით მთავრდება.

სახეობა სიცოცხლის ორგანიზაციის ერთ-ერთი იერარქიულ დონესა და ძირითად ტაქსონომიურ ერთეულს წარმოადგენს. **სახეობა არის ინდივიდთა ერთობლიობა, რომელსაც აქვს საერთო მორფო-ფიზიოლოგიური ნიშნები და ერთმანეთთან შეჯვარებისა და ნაყოფიერი შთამომავლობის მოცემის უნარი, საერთო არეალს იკავებენ და მდგრად გენეტიკურ სისტემას ქმნიან.**

ყოველ სახეობას გარკვეული არეალი უჭირავს. ცხოველთა, მცენარეთა და მიკროორგანიზმთა ნებისმიერი სახეობის ინდივიდები მათ მიერ დაკავებულ არეალში სიერცობრივად არათანაბრად არიან განაწილებულნი. ისინი შეიძლება დასახლებული იყვნენ ,,კუნძულებრივად'' (ე. წ. იზოლატები ანუ დიზუნქციები) ან მჭიდროდ დასახლებული ტერიტორიები შედარებით მეჩხერად დასახლებულ ტერიტორიებს ცვლიან (ე. წ. კონტინიუმი). ერთი სახეობის ინდივიდთა ერთობლიობები, რომლებიც ქმნიან ტერიტორიაზე (ხმელეთზე ან აკვატორიაში) მჭიდროდ დასახლებულ ,,ცენტრებს'', პოპულაციებს წარმოადგენენ. **ერთი სახეობის ინდივიდთა ერთობლიობას, რომელიც ხანგრძლივად არსებობს გარკვეულ ტერიტორიაზე, შედარებით გამოცალკევებულია სხვა ერთობლიობებისაგან, ხასიათდება მის ფარგლებში თავისუფალი შეჯვარებით და ერთიანი გენეტიკური სისტემით, აქვს თავისი სტრუქტურის შენარჩუნების უნარი, პოპულაცია ეწოდება.**

ვინაიდან ბიოლოგიური ევოლუცია წარმოადგენს ორგანიზმების ცვლილებისა და დივერგენციის პროცესს დროში, ამდენად საჭიროა განისაზღვროს ამ პროცესის ელემენტარული ერთეული. ასეთი ელემენტარული ერთეული არის პოპულაცია. პოპულაციის წევრები თავისუფლად ეჯვარებიან ერთმანეთს (მიმდინარეობს

პანმიქსია) და სივრცობრივად მეტნაკლებად იზოლირებული არიან ამავე სახეობის სხვა პოპულაციებისაგან. ისმის კითხვა, რატომ ითვლება პოპულაცია ევოლუციის ელემენტარულ ერთეულად და არა სახეობა (როგორც სალტაციონიზმის მომხრენი თვლიან) ან ცალკეული ინდივიდი (როგორც ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნდა). ცალკეული ინდივიდი მცირე ხანს ცოცხლობს, მაშინ, როდესაც ევოლუციური მასშტაბი გრანდიოზულია და ათასობით და მილიონობით წლებს ითვლის. ამდენად ევოლუციის ელემენტარული ერთეული უნდა იყოს ინდივიდთა ისეთი ჯგუფი, რომელიც ხანგრძლივად არსებობს (ევოლუციას ექვემდებარება არა ინდივიდი, არამედ ინდივიდთა ჯგუფი). ელემენტარული ერთეული არაა ისეთი ჯგუფები, როგორებიცაა: ოჯახი, ჯოგი და სხვ., ვინაიდან მათი არსებობაც დროში ეფემერულია.

ევოლუციის ელემენტარული ერთეული არ არის სახეობა. იგი დახშული, რთული, პეტეროგენული სისტემა აღმოჩნდა. იგი მეტად მრავალრიცხოვანი განსხვავებული წევრებისაგან შედგება, არათანაბრად არის განაწილებული სივრცეში და შედგება მცირე ერთეულებისაგან – პოპულაციებისაგან. პოპულაცია დამოუკიდებელი ევოლუციური სტრუქტურაა. იგი წარმოადგენს უმცირეს, ელემენტარულ ჯგუფს, რომელიც ხანგრძლივად არსებობს განსაზღვრულ ტერიტორიაზე (სახეობის არეალში), ექვემდებარება ევოლუციური ფაქტორების მოქმედებას და აღენიშნება დამოუკიდებლად ევოლუციური განვითარების უნარი, ამდენად, პოპულაცია ევოლუციის ელემენტარულ სტრუქტურულ ერთეულს წარმოადგენს.

11.3. პოპულაციის გენეტიკური დახასიათება

გენოტიპებისა და ალელების სიხშირე. ინდივიდთა თავისუფალი შეჯვარების (პანმიქსიის) შედეგად პოპულაციაში იქმნება ერთიანი გენეტიკური სტრუქტურა – გენოფონდი. პოპულაციის გენთა ერთობლიობას *გენოფონდი* ეწოდება.

პოპულაციის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებლად ალელებისა და გენოტიპების სიხშირე ითვლება. პოპულაციის გენეტიკურ შესწავლას გენების სიხშირისა და გენოტიპების თანაფარდობის განსაზღვრის გზით ახდენენ. პოპულაცია ღია გენეტიკური სისტემაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ პოპულაციათა შორის ხდება მიგრაცია. შესაბამისად, მათ შორის მიმდინარეობს გენეტიკური ინფორმაციის გაცვლა (ე. წ. გენთა ნაკადი). მაშასადამე, ბუნებრივი პოპულაციები განსხვავდებიან ალელთა შეხვედრის სიხშირით და ამა თუ იმ გენოტიპების რაოდენობრივი თანაფარდობით. პოპულაციას აანალიზებენ არა უშუალოდ გენებისა და გენოტიპების, არამედ ფენოტიპის მიხედვით. ფენოტიპის სიხშირის მიხედვით ადგენენ მათი განმსაზღვრელი გენების შეხვედრის სიხშირესა და წარმოქმნილ გენოტიპთა თანაფარდობას პოპულაციაში. ასევე საზღვრავენ პოპულაციის ფარგლებს, სხვადასხვა პოპულაციათა შორის მსგავსება-განსხვავების დონეს.

როდესაც ჰომო- და ჰეტეროზიგოტური კლასები ერთმანეთისგან ფენოტიპურად განსხვავდებიან (კოდომინანტობა, არასრული დომინანტობა და სხვ.) ფენოტიპის მიხედვით ადვილია შესაბამისი გენოტიპის დადგენა. ვინაიდან სრული დომინანტობისას დომინანტ ჰომოზიგოტს (AA) და ჰეტეროზიგოტს (Aa) ერთნაირი ფენოტიპი გააჩნიათ, ცალკეული ალელის სიხშირისა და ცალკეული გენოტიპური კლასების თანაფარდობის განსაზღვრა ფენოტიპური კლასების მიხედვით შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში რეცესიული და დომინანტური ალელის სიხშირესა და შესაბამისი გენოტიპური კლასების თანაფარდობას პარდი-ვაინბერგის ფორმულით საზღვრავენ.

პარდი-ვაინბერგის კანონი. 1908 წელს ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ინგლისელმა მათემატიკოსმა ჯ. ჰარდიმ და გერმანელმა ექიმმა ვ. ვაინბერგმა დაადგინეს კანონზომიერება, რომელსაც შემდგომ პარდი-ვაინბერგის კანონი უწოდეს. ამ კანონით მტკიცდება, რომ მემკვიდრეობა არ ცვლის ალელთა სიხშირეს პოპულაციაში. ამრიგად, პოპულაციებში (თუ მასზე გარემო ფაქტორები არ მოქმედებს) დომინანტური ჰომოზიგოტების (AA), დომინანტური ჰეტეროზიგოტებისა (Aa) და რეცესიული ჰომოზიგოტების (aa) სიხშირე თაობათა მანძილზე უცვლელია, ე.ი. დინამიურ წონასწორობას ინარჩუნებს. თუ დომინანტი A ალელის სიხშირეს აღვნიშნავთ p-თი, რეცესიული a ალელისას კი — q-თი, მაშინ პოპულაციაში მოცემული ლოკუსის მხოლოდ ორი ალელის არსებობის შემთხვევაში წარმოიქმნება ტოლობა: $pA + qa = 1$. ამ შემთხვევაში გენოტიპთა თანაფარდობა იქნება: $(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$, რაშიც ადვილად დაერწმუნდებით თუ პენეტის ცხრილს გამოიყენებთ:

♀/♂	pA	qa
pA	P^2AA	pqAa
qa	pqAa	q^2aa

დავუშვათ, რომ პოპულაციაში ერთი გენის ორი განსხვავებული ალელის მქონე ჰომოზიგოტი ინდივიდები AA და aa თანაბარი რაოდენობითაა და თავისუფლად შეეჯვარებიან ერთმანეთს (პანმიქსია). მაშასადამე, A და a

ალელები გახვდება თანაბარი – 0,5 სიხშირით. ამ შემთხვევაში F1-ში გენოტიპურ კლასთა სიხშირე იქნება:

♀/♂	0.5A	0.5a
0.5A	0.25AA	0.25Aa
0.5a	0.25Aa	0.25aa

ამრიგად, 0,25AA + 0,50Aa + 0,25aa = 1. ეს კი გვიჩვენებს, რომ პოპულაციის არსებულ თაობაში ჰომოზიგოტები AA და aa ნარმოიქმნება შესაბამისად 0,25 სიხშირით, ხოლო ჰეტეროზიგოტები Aa — 0,50 სიხშირით. შემდგომ თაობაშიც ალელებისა და გენოტიპების იგივე სიხშირე შენარჩუნდება. დომინანტი A ალელის მქონე გამეტების სიხშირეა 0,5 (0,25 AA ჰომოზიგოტებიდან + 0,25 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან), ასევე რეცესიული a ალელის მქონე გამეტების სიხშირეც 0,5-ია (0,25 aa ჰომოზიგოტებიდან + 0,25 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან). თუ ეს წონასწორობა პოპულაციაზე რაიმე ფაქტორის მოქმედებით არ იქნება დარღვეული, იგივე თანაფარდობა იქნება შენარჩუნებული მომდევნო თაობებში.

თუ მოცემული გენის ერთი ალელის სიხშირეს აღვნიშნავთ q სიმბოლოთი, მაშინ ამავე გენის ალტერნატიული ალელის სიხშირე შეიძლება გამოისახოს როგორც 1-q. თუ ალელების აღმნიშვნელ სიმბოლოებს პენეტის ცხრილში ჩავსვამთ, მაშინ იგი ასეთ სახეს მიიღებს:

♀/♂	q	(1-q)
q	q^2	q(1-q)
(1-q)	q(1-q)	(1-q) (1-q)

იგი შეჯამებული სახით შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ: $q^2 + 2qx(1-q) + (1-q)^2$ ან $[q + (1-q)^2]$;

ჰარდი-ვაინბერგის ფორმულით შესაძლებელი ხდება პოპულაციაში ალელებისა და გენოტიპური კლასების თანაფარდობის განსაზღვრა იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ყველა გენოტიპი არაა იდენტიფიცირებული. მაგ., ადამიანში ალბინიზმს იწვევს რეცესიული გენი. იგი პოპულაციაში დაბალი სიხშირით გახვდება. თუ ნორმალური პიგმენტაციის განმსაზღვრელი გენის დომინანტურ ალელს ავღნიშნავთ A-თი, ხოლო ალბინიზმის გამომწვევ რეცესიულ ალელს კი a-თი, მაშინ ნორმალური პიგმენტაციის მქონე ადამიანების გენოტიპები იქნება AA ან Aa, ხოლო ალბინოსის – aa. თუ რომელიმე პოპულაციაში ალბინიზმის სიხშირეა 1:10000, მაშინ ჰომოზიგოტური (aa) კლასის სიხშირე იქნება q^2=0,0001; q=0,01, a ალელის სიხშირე კი 0,01-ის ტოლია. A ალელის სიხშირე კი იქნება 1-q = 1-0,01 = 0,99; ნორმალური დომინანტური ჰომოზიგოტი (AA) კლასის სიხშირე იქნება p^2=0,992=0,98; ჰეტეროზიგოტული Aa კლასების სიხშირე 2pq=2x0,99x0,01=0,0198, ე. ი. დაახლოებით 0,02-ის ტოლია. მაშასადამე, რეცესიული ალელი ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში 100-ჯერ მეტია, ვიდრე ჰომოზიგოტურში. ამრიგად, თუ ვიცით პოპულაციაში მხოლოდ რეცესიული ჰომოზიგოტების (aa) სიხშირე, საკმარისია ამ სიდიდიდან კვადრატული ფესვის ამოღება, რომ დავადგინოთ რეცესიული ალელის სიხშირე (q). დომინანტი ალელის სიხშირე კი შეადგენს p=1-q-ს. ამ ხერხით პოპულაციაში A და a ალელების სიხშირის განსაზღვრის შემდეგ ადვილია პოპულაციის ყველა გენოტიპური კლასის სიხშირის დადგენა.

ამრიგად, ჰარდი-ვაინბერგის კანონის თანახმად, **უსასრულოდ დიდი პანმიქტიური პოპულაციები, რომლებზეც არ მოქმედებს გარემო ფაქტორები, დინამიურ წონასწორობაშია, ანუ ალელთა და გენოტიპთა სიხშირე მასში თაობათა მანძილზე უცვლელია.** ეს კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, თუ: 1. პოპულაცია არის მრავალრიცხოვანი; 2. შეჯვარება შემთხვევითი ხასიათისაა; 3. არ წარმოიქმნება ახალი მუტაციები; 4. ყველა გენოტიპი ერთნაირი სიცოცხლისუნარიანია და, მაშასადამე, გადარჩევა არ მიმდინარეობს; 5. თაობები ერთმანეთს არ ფარავენ; 6. არ მიმდინარეობს ემიგრაცია და იმიგრაცია (გენთა ნაკადი), ე.ი. პოპულაციათა შორის გენეტიკური მასალის მიმოცვლა არ ხდება.

თუ დაცულია ზემოთ ჩამოთვლილი პირობები, მაშინ სხვადასხვა ალელების სიხშირე თაობათა მანძილზე (ე. ი. ხანგრძლივად) მუდმივი რჩება, პოპულაციაში გენეტიკური წონასწორობა მყარდება და მასში არავითარი ევოლუციური ცვლილება არ მიმდინარეობს. ბუნებაში ასეთი პოპულაციები მეტად იშვიათია. მეტწილად პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის დინამიკაზე მოქმედ ფაქტორთა გავლენით თანაფარდობა ირღვევა.

მიკროევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები

პოპულაციებში ცვლილებათა გამომწვევ და შემნახველ ფაქტორებს ევოლუციის **მამოძრავებელი ძალები** (ფაქტორები) ეწოდება. XX საუკუნეში მეცნიერებმა ევოლუციაში მონაწილე სხვაფაქტორებიც - მუტაციური პროცესი, გენთა ნაკადი, გენთა დრეიფი, იზოლაცია - გამოავლინეს, მაგრამ ძირითადი ფაქტორი, რომელიც ანესრიგებს, ნარმართავს ევოლუციურ პროცესს, არის - ბუნებრივი გადარჩევა.

11.4. მუტაციური პროცესი – ევოლუციის ფაქტორი, მუტაციები – მასალა

მუტაციური პროცესი მიკროევოლუციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მამოძრავებელი ფაქტორია. იგი ყველა ცოცხალ ორგანიზმში სპონტანურად და მუდმივად მიმდინარეობს. ადაპტური მნიშვნელობის მიხედვით მუტაციები შეიძლება იყოს სასარგებლო, ნეიტრალური ან საზიანო. ეს დაყოფა პირობითია, რადგანაც გარემო პირობების შეცვლისას სასარგებლო მუტაციები შეიძლება გახდეს საზიანო ან - პირიქით. გარემო პირობების შესაბამისად ერთი და იგივე მუტაცია შეიძლება პირობით საზიანო ან პირობით სასარგებლო აღმოჩნდეს. მუტაციური ცვალებადობა განხილულია მე-7 თავში, აქ მოკლედ შევეხებით მის მნიშვნელობას ევოლუციურ პროცესში.

მუტაციის სპონტანური ინდუქცია ორგანიზმის ონტოგენეზური განვითარების ნებისმიერ პერიოდში ხდება, გამეტებიდან და ზიგოტებიდან დაწყებული, ვიდრე ორგანიზმის სიბერით დამთავრებული. იგი ორგანიზმის ნებისმიერი ნიშან-თვისების განმსაზღვრელ გენში მიმდინარეობს. სპონტანურ მუტაციურ პროცესს ფართო სპექტრი გააჩნია. განსხვავებული დონით ორგანიზმის ყველა ნიშნისა და თვისების (მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური, ეთოლოგიური და ა. შ.) განმსაზღვრელი გენების მუტაცია ხდება. მუტაციებით წარმოიქმნება საკმაოდ მრავალფეროვანი მასალა ევოლუციის პროცესისათვის.

მიკროორგანიზმების, მცენარეთა და ცხოველთა პოპულაციების შესწავლისას გამოირკვა, რომ ისინი განსხვავდებიან გენური, ქრომოსომული ან გენომური მუტაციების შეხვედრის სიხშირით. ბუნებაში არ გეხვდება ერთი და იმავე სახეობის ორი ერთნაირი გენეტიკური სტრუქტურის (გენოფონდის) მქონე პოპულაცია. ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან როგორც მეზობელი, ისე საკმაოდ დაცილებული პოპულაციები.ინდივიდის გენეტიკური სტრუქტურის (გენოტიპის) ჩამოყალიბება ევოლუციის პროცესში უკეთესი კომბინაციების გადარჩევის გზით მიმდინარეობს. ნებისმიერი გადახრა ამ სისტემაში იწვევს დისბალანსს. ახლად წარმოქმნილი მუტაციების დიდი ნაწილი ორგანიზმისათვის საზიანოა, რადგან ისინი ცვლიან ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებულ ერთიან გენეტიკურ სტრუქტურას. პოპულაციებში ერთი მხრივ რეცესიული მუტაციების ფართო გავრცელება წარმოადგენს **გენეტიკურ ტვირთს** პოპულაციისათვის, მაგრამ მეორე მხრივ, ის, როგორც სამობილიზაციო რეზერვი, ემსახურება პროგრესულ ევოლუციას. გენთა ნაირგვარი მუტაციები, რომლებიც განსხვავებული სიხშირით წარმოიქმნება, არღვევს პოპულაციაში არსებულ წონასწორობას (ჰარდი-ვაინბერგის კანონს), ხოლო შემდგომ კვლავ მყარდება გენოტიპთა ახალი წონასწორობა. ამრიგად, პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურა იცვლება ერთი წონასწორობიდან მეორე წონასწორობამდე.

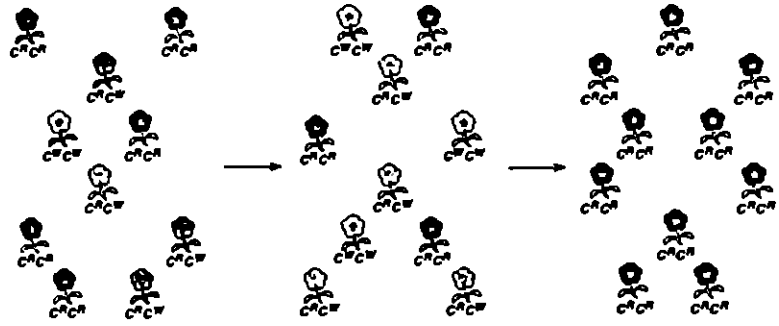
პოპულაციის გენოფონდი ყოველ თაობაში ახალი მუტაციებით ივსება. ამ პროცესს **მუტაციური ზვინელა** ეწოდება. მუტაციის გავრცელებას პოპულაციაში განსაზღვრავს, უწინარეს ყოვლისა, მისი მუტაბილობა (ამა თუ იმ ლოკუსის მუტაციის უნარი), მაგრამ მისი დონე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა გავლენას ახდენს მუტაცია ინდივიდის ცხოველმყოფელობასა და ნაყოფიერებაზე. მუტაციათა მცირე ნაწილი სასარგებლო ან ნეიტრალური აღმოჩნდება. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ხდება თაობათა მანძილზე მათი შენარჩუნება და შეიძლება მნიშვნელოვანი როლიც შეასრულოს ევოლუციის პროცესში. ამჟამად მიაჩნიათ, რომ ევოლუციაში არსებით როლს მცირე მუტაციები ასრულებენ, რადგან ისინი ნიშნის უმნიშვნელო ცვლილებას იწვევენ; სასარგებლო მცირე მუტაციების გენოტიპში დაგროვებისას ნიშნის არსებითი ცვლილება ხდება. როდესაც მუტანტურ ინდივიდებს შესამჩნევი უპირატესობა აქვთ საწყის ფორმებთან შედარებით, ისინი სწრაფად ვრცელდებიან ბუნებაში და სახლდებიან სახეობისათვის ადრე არსებობისათვის ნაკლებ ხელსაყრელ პირობებში.

სხვადასხვა ტიპის მუტაციების წარმოშობის სიხშირით პოპულაციების განსხვავება, მუტაციების ორგანიზმის მნიშვნელოვან ნიშნებზე მოქმედება, პოპულაციების გენეტიკური ნაირგვარობა და მათი გაჯერება მუტაციებით საშუალებას გვაძლევს დაეასკვნათ, რომ მუტაციები ევოლუციის ელემენტარული მასალაა. მუტაციური პროცესის ევოლუციური როლი, აგრეთვე, იმაში მდგომარეობს, რომ იგი განაპირობებს პოპულაციაში მაღალი დონით გენეტიკური ნაირგვარობის (პეტეროგენულობის) შენარჩუნებას. პეტეროგენულობას კი ეფუძნება ევოლუციის სხვა ელემენტარული ფაქტორების, მათ შორის, ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება. ამრიგად, მუტაციური პროცესი არის ელემენტარული ევოლუციური მასალის მიმწოდებელი ფაქტორი.

11.5. გენთა დრეიფი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი

ამერიკელმა მეცნიერმა ს. რაიტმა დაადგინა (1931) ნებისმიერ განსაზღვრულ პოპულაციაში თაობათა მანძილზე ალელთა მოცემული კონცენტრაციის განუსაზღვრელად შენარჩუნება, რომ შეუძლებელია. პოპულაციაში ალელთა კონცენტრაციის დარღვევა შეიძლება მოხდეს მუტაციური პროცესისა და ბუნებრივი გადარჩევის გარეშეც. **თაობათა მანძილზე (ბიოლოგიურ დროში) შემთხვევითი პროცესებით გამოწვეულ ალელთა სიხშირის ცვლილებას პოპულაციაში გენთა დრეიფი ეწოდება.** გენთა დრეიფი განსაკუთრებით შესამჩნევია მცირერიცხოვან პოპულაციებში.

საარსებო პირობების ცვლილების შედეგად ხდება პოპულაციის რიცხოვნობის მკვეთრი გადიდება ან შემცირება, ე. წ. სიცოცხლის (პოპულაციური) ტალღები. ნებისმიერი პოპულაცია გადის მაქსიმალური და მინიმალური რიცხოვნობის პერიოდებს, რომლებსაც შეიძლება ჰქონდეს ციკლური ან აციკლური ხასიათი. ამ



სურ. 11.2. პოპულაციაში გენთა დრეიფის მოქმედების სქემა. კვადრატებში ნარმოდგენილ მცენარეთა შემთხვევითი გადარჩენა ყოველ მომდევნო თაობაში ალელთა სიხშირის ცვლილებას ინვევს.

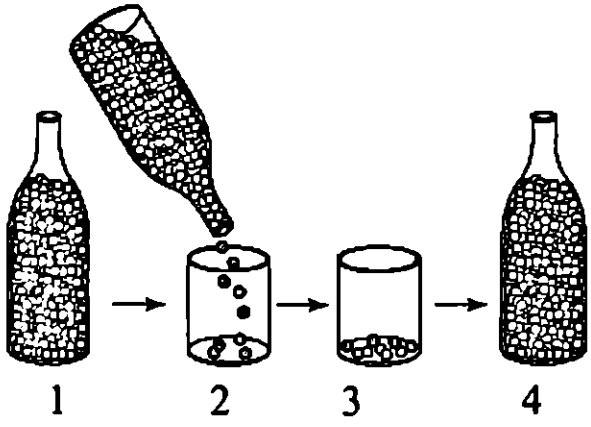
სახის ფლუქტუაციის მიზეზი საკმაოდ მრავალგვარია. იგი შეიძლება გამოიწვიოს როგორც აბიოტურმა, ისე ბიოტურმა ეკოლოგიურმა ფაქტორებმა.

პოპულაციის გენოფონდის ცვლილება ხდება როგორც მაქსიმალური, ისე მინიმალური რიცხოვნობისას. რიცხოვნობის გაზრდისას ადრე კუნძულებრივად განლაგებული (განცალკევებული ანუ დიზუნქციური) პოპულაციების გენოფონდი ერთიანდება. იმის გამო, რომ თითოეული პოპულაცია თავისი გენეტიკური სტრუქტურით-გენოფონდით უნიკალურია, გაერთიანების გამო მათ საწყისისაგან განსხვავებული გენოფონდი უყალიბდებათ.

როდესაც პოპულაციის რიცხოვნობა მკვეთრად ეცემა, შემთხვევით ინდივიდთა მცირე რაოდენობა გადარჩება. ასეთი პოპულაციის გენური სიხშირე საწყისისაგან განსხვავებული იქნება *(სურ. 11.2)*. თუ შემდგომში რიცხოვნობა კვლავ გაიზრდება, მაშინ ახალ აფეთქებას დასაბამს მისცემს ინდივიდთა ეს მცირერიცხოვანი ჯგუფი (მოქმედებს ე. წ. „ბოთლის ყელის" ეფექტი *(სურ. 11.3)*. ამდაგვარი პოპულაციის გენოფონდს ამ მცირე ჯგუფის გენეტიკური შემადგენლობა განსაზღვრავს. რაც უფრო მცირერიცხოვანია ინდივიდთა ამონაკრები, მით უფრო მაღალია ალელთა სიხშირის მერყეობა. ალელთა ეს მერყეობა (გენთა დრეიფი) შემთხვევითია და გადარჩევის შედეგს არ წარმოადგენს. გენთა დრეიფის შედეგად წარმოქმნილი ყველა ცვლილების შენარჩუნება არ ხდება. მაგრამ ზოგჯერ წარმოიქმნება მეტად შეგუებული ინდივიდები. ე. მაირმა ამ შემთხვევას „გენეტიკური რევოლუცია" უწოდა. ზოგიერთი ევოლუციონისტი მიიჩნევს, რომ ახალი სახეობა სწორედ ამდაგვარი პროცესის შედეგად ყალიბდება.

თუ რატომაა ეფექტური მცირერიცხოვან პოპულაციებში გენთა დრეიფი, ამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი: დავუშვათ, რომ ორი განსხვავებული რიცხოვნობის პოპულაციაში გენთა სიხშირეები თანაბარია და იშვიათი ალელი ინდივიდთა 1%-ში გვხვდება (q=0.01). შემთხვევითი მოვლენის შედეგად მოხდა ამ ალელის მქონე ინდივიდთა ელიმინაცია პოპულაციიდან, ე. ი. q=0. თუ პოპულაცია 1.000.000 წევრისაგან შედგება, მაშინ იშვიათი ალელი 10.000 ინდივიდს ექნება. ხოლო თუ მეორე პოპულაცია 100 წევრისაგან შედგება, მაშინ ალელი მხოლოდ 1 ინდივიდს აღმოაჩნდება. ბუნებრივია ალელის შემთხვევითი დაკარგვის ალბათობა მცირერიცხოვანი (მეორე შემთხვევა) პოპულაციიდან გაცილებით მაღალია, ვიდრე მრავალრიცხოვანიდან.

გენთა დრეიფთანაა დაკავშირებული ე. წ. **დამფუძნებლის პრინციპი.** ამ მოვლენას ვხვდებით იმიგრაციის შედეგად ახალი პოპულაციის ფორმირებისას. როგორც უკვე აღინიშნა, საწყისი პოპულაციიდან შემთხვევითი ამორჩევით ინდივიდთა ძალზე მცირე ჯგუფი შეიძლება განსახლდეს და სხვა ტერიტორია დაიჭიროს. ბუნებრივია, ინდივიდთა ეს მცირერიცხოვანი ჯგუფი ალელთა შედგენილობით არატიპურია და საწყისი პოპულაციისაგან განსხვავდება. ზოგიერთი ალელის კონცენტრაცია მაღალი იქნება, ზოგიერთი კი მათში საერთოდ არ აღმოჩნდება. ასეთ პიონერულ პოპულაციაში ყალიბდება ახალი გენოფონდი, რომელიც ალელთა კონცენტრაციით საწყისისაგან განსხვავებულია. გენთა დრეიფით, იშვიათ ალელთა დაკარგვის გამო წესისამებრ გენეტიკური ცვალებადობა ქვეითდება. ახალი პოპულაცია სათავეს ამდაგვარი გაღარიბებული გენოფონდიდან იღებს. ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორების (მუტაციური პროცესი, ბუნებრივი გადარჩევა და სხვ.) ზემოქმედებით პოპულაციას ეცვლება გენოფონდი და პოლიმორფული ხდება. **საწყისი განსაზღვრული გენოფონდის გავლენას პოპულაციის შემდგომ ბედზე დამფუძნებლის პრინციპი ეწოდება.**



სურ. 11.3. ბოთლის ყელის მოქმედების მოდელი. 1. საწყისი პოპულაცია. 2. ბოთლის ყელში გაცლა (ერთეული ინდივიდების გადარჩენა). 3. შემთხვევით გადარჩენილი ინდივიდები. 4. ახალად ფორმირებული პოპულაცია.

დამფუძნებლის ეფექტი გამოელენი-

ლია ადამიანის მრავალ მცირერიცხოვან პოპულაციაში. აშშ-ს პენსილვანიის შტატის ქალაქ ლანკასტერში სახლობს რელიგიური იზოლატი (დახშული პოპულაცია), ქორწინება მხოლოდ პოპულაციის წევრებს შორის ხდება. პოპულაციაში მაღალი სიხშირით გვხვდება ელისა — ვან კრეველდის (EvC) სინდრომი. დამახასიათებელია განსაკუთრებული ფორმის ჯუჯა სხეული და პოლიდაქტილია. ნიშანი რეცესიულია და ჰომოზიგოტებს უყალიბდებათ. რელიგიურ იზოლატს სამმა ცოლქმრულმა წყვილმა დაუდო სათავე, რომლებიც 1770 წელს ევროპიდან ამერიკაში გადასახლდნენ. პოპულაციის 40 საგვარტომოდან, რომელიც 13000 ადამიანს მოიცავს, 82 სინდრომის მატარებელია. ამ რელიგიურ იზოლატში დაავადების მაღალი სიხშირე დამფუძნებლის ეფექტითაა გამოწვეული.

11.6. გენთა ნაკადი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი

პოპულაციათა შორის გენთა მიმოცვლას *გენთა ნაკადი* ეწოდება. გენთა ნაკადი არამიმართული და შემთხვევითი პროცესია. ერთი პოპულაციიდან მეორეში ინდივიდთა მცირე ჯგუფის იმიგრაცია იწვევს მასში განსხვავებულ ალელთა შემთხვევით მოხვედრას. იმის გამო, რომ ერთ პოპულაციას ალელთა გარკვეული ფორმები აკლდება, მეორეს კი ემატება, თითოეული მათგანის გენოფონდში ალელთა ხვედრითი პროპორციები იცვლება. გენთა ნაკადის მეშვეობით პოპულაციაში ცვალებადობის დონე იზრდება. ამ პროცესის უშუალო შედეგი მუტაციების ნარმოქმნის პროცესის მსგავსია. გენთა ნაკადი ალელთა კონცენტრაციის გაცილებით სწრაფ ცვლილებას იწვევს, ანუ მუტაციურ პროცესზე უფრო ეფექტურია. მართალია, გენთა ნაკადით გენოფონდი იცვლება, მაგრამ ევოლუციური ცვლილების თვალსაზრისით მისი მოქმედება კონსერვატულია. პოპულაციათა შორისი მიგრაციების მეშვეობით სახეობის გენოფონდი ერთიანი ხდება. ამრიგად, გენთა ნაკადი, ერთი მხრივ, პოპულაციათა გენეტიკური ცვალებადობის წყაროა, მეორე მხრივ, არსებით როლს ასრულებს სახეობის მდგრადობის შენარჩუნებაში. ამდენად, პოპულაციათა შორის გენთა ნაკადის შეწყვეტა (საიზოლაციო მექანიზმების განმტკიცება) ახალ სახეობათა ფორმირების ერთ-ერთი წინაპირობაა.

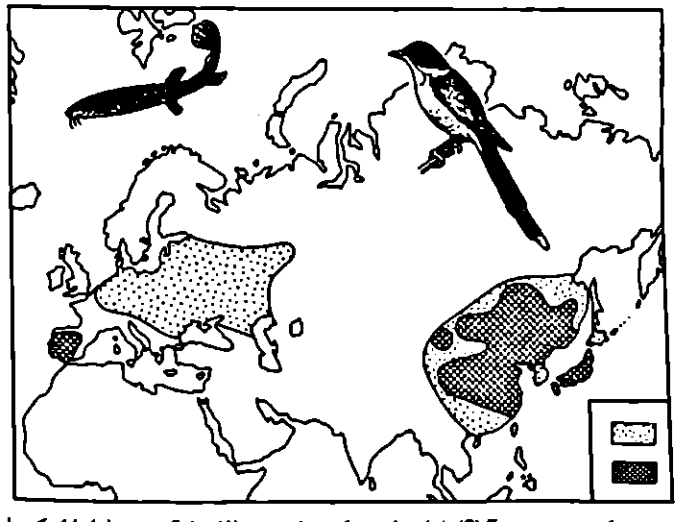
ამერიკაში (აშშ) თეთრკანიანებსა და ზანგებს შორის შერეული ქორწინების შედეგად გაჩენილ შთამომავლებს ზანგებს აკუთვნებენ. ამდენად, შერეული ქორწინებები შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც გენთა ნაკადი თეთრკანიანებიდან ზანგთა პოპულაციაში. მაგალითად, რეზუს ფაქტორის განმსაზღვრელი ალელის (Rо) სიხშირე ამერიკაში მცხოვრებ თეთრკანიანებში p=0,028 შეადგენს. აფრიკის ტომებში (საიდანაც სათავეს ამერიკელი ზანგები იღებენ) ამ ალელის სიხშირეა p=0,630, ამერიკელ ზანგებში კი – p=0,446. ზანგები ამერიკაში 300 წლის (დაახლოებით 10 თაობა) წინ ჩამოასახლეს. გამოთვლილია, რომ გენთა ნაკადი თეთრკანიანი მოსახლეობიდან ზანგების პოპულაციაში თითოეულ თაობაში საშუალოდ 3,6% შეადგენდა. დადგენილია, რომ ზანგებს გენოფონდში გენთა დაახლოებით 30% თეთრკანიანი პოპულაციიდან გენთა ნაკადის მეშვეობით აქვთ მიღებული.

როდესაც ემიგრანტების გენოტიპური თავისებურებანი ახალ პირობებში მათ ადაპტურ უპირატესობას მიანიჭებს, ისინი გამრავლდებიან, თავიანთ წელილს შეიტანენ პოპულაციის გენოფონდში და ამით გავლენას მოახდენენ პოპულაციის გენეტიკურ სტრუქტურაზე. ხოლო თუ, მათი ადაპტური ღირებულება დაბალი აღმოჩნდება, ისინი პოპულაციიდან ელიმინირდებიან.

11.7. იზოლაცია, როგორც ევოლუციის ფაქტორი

იზოლაციის ევოლუციური მნიშვნელობა ცხადყო ჩ. დარვინმა. მისი, როგორც ევოლუციის ფაქტორის მნიშვნელობა XX ს. 30 — 40-იან წლებში დაადგინეს. როდესაც პოპულაციები ან პოპულაციის გარკვეული ნაწილი თაობათა მანძილზე (ხანგრძლივად) რჩება გამიჯნული, შეიძლება მათში მოხდეს გენეტიკური სტრუქტურის მნიშვნელოვანი ცვლილება. ამდაგვარი პოპულაციების დიფერენცირებამ შესაძლოა ახალ სახეობათა ფორმირება გამოიწვიოს. გამოყოფენ იზოლაციის ორ ძირითად ფორმას: **სივრცობრივსა და ბიოლოგიურს.**

სივრცობრივი (ტერიტორიული ანუ გეოგრაფიული) იზოლაცია გულისხმობს პოპულაციათა გამიჯვნას გეოგრაფიული ზღუდეებით (მდინარე, სრუტე, ხრამი, მთები და სხვ.) იგი შეიძლება სხვადასხვა ფორმით განხორციელდეს. ხმელეთის ბინადართ მიჯ-



სურ. 11.4. ხლაკუნასა (1) და ცისფერი კაჭკაჭის (2) წყვეტილი არიალი.

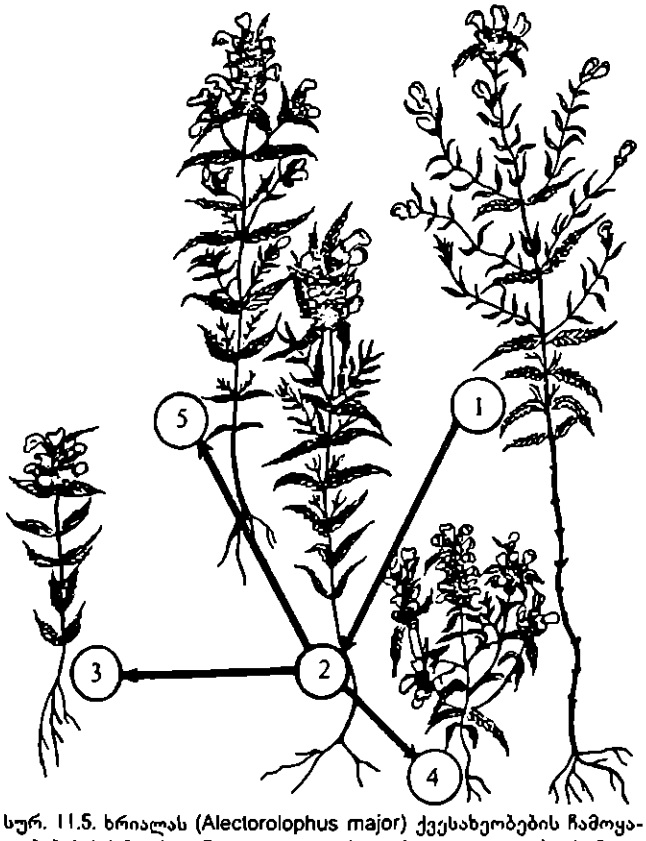
ნავს წყლის ბარიერი, ჰიდრობიონტებს კი — ხმელეთის ბარიერი, დაბლობის პოპულაციებს — მთები, მთის პოპულაციებს კი — დაბლობი და ა. შ. სივრცობრივი იზოლაცია ასევე შეიძლება ეკოლოგიური ფაქტორებით (მაგ., არახელსაყრელი ფიზიკურ-ქიმიური პირობები) ან გაუვალი ეკოცენოზებით (მაგ., ტყის მასივები, უდაბნოები და სხვ.) მოხდეს.

სივრცობრივი იზოლაციის არსებობა ზოგ შემთხვევაში გარკვეულ ტერიტორიაზე სახეობის ისტორიული განვითარებით შეიძლება აიხსნას. მაგალითად, ცისფერ კაჭკაჭს წყვეტილი (დიზუნქციური) არეალი აქვს. იგი გვხვდება როგორც პირენეის ნახევარკუნძულზე, ასევე შორეულ აღმოსავლეთში, რაც გამყინვარებითაა გამოწვეული. მსგავს წყვეტილ არეალს ფლობს თევზი ხლაკუნა, რომელიც დასავლეთ ევროპასა და შორეულ აღმოსავლეთშია გავრცელებული. ხანგრძლივი ბიოლოგიური დროის გასვლის მიუხედავად გამიჯნულ პოპულაციებში არსებითი მორფო-ფიზიოლოგიური ცვლილებები არ მომხდარა. ისინი ერთსა და იმავე სახეობას მიეკუთვნებიან *(სურ. 11.4)*.

სივრცობრივი გამიჯვნა უშუალოდ არ იწვევს რეპროდუქციულ იზოლაციას. თუ ინდივიდებმა ზღუდე გადალახეს, მაშინ ისინი ერთმანეთს თავისუფლად შეეჯვარებიან და მათ შორის განსხვავებაც გაქრება. სივრცობრივი იზოლაცია ფიზიკური ხასიათისაა და არსებითად განსხვავდება ბიოლოგიური იზოლაციისაგან.

ბიოლოგიური იზოლაცია ორი ტიპის: **პრეკოპულაციური და პოსტკოპულაციური** მექანიზმით ხორციელდება. ამის გამო შეუძლებელი ხდება თავისუფალი შეჯვარება (პანმიქსია) და წყდება გენთა ნაკადი. პრეკოპულაციურ მექანიზმებში ერთიანდება იზოლაციის ყველა ის ფორმა, რომელიც ინდივიდთა შეჯვარებას აბრკოლებს. მათ მიეკუთვნება ეკოლოგიური, მორფო-ფიზიოლოგიური და ეთოლოგიური იზოლაციის ფორმები. პოსტკოპულაციური იზოლაციის მექანიზმები შეჯვარებულ ინდივიდებში გენომთა შეუთავსებლობას იწვევს, მას მიეკუთვნება გენეტიკური იზოლაცია. ზოგჯერ მორფო-ფიზიოლოგიურ, ეთოლოგიური და გენეტიკურ იზოლაცას ერთ ჯგუფში — რეპროდუქციულ იზოლაციაში – აერთიანებენ.

იზოლაციის ეკოლოგიურ ფორმას გამრავლების ადგილი და ვადები განსაზღვრავს. ამიტომ გამოყოფენ სეზონურ და ბიოტოპურ იზოლაციას. სეზონური იზოლაციისას მონათესავე ინდივიდების შეჯვარებას აბრკოლებს სქესობრივი მომწიფების ვადების სხვადასხვაობა. გამრავლების სეზონური გამიჯვნა ჯგუფების მკვეთრ და სწრაფ დაცილებას იწვევს.



სურ. 11.5. ხრიალას (Alectorolophus major) ქვესახეობების ჩამოყალიბების სქემა. 1. საწყისი ფორმა (A. major montaneus), რომელიც გავრცელებულია ყამირ ალპურ მდელოებზე. 2. სათიბებზე გავრცელებული ადრე მოყვაილე ქვესახეობა (Al.ajor aestivalis). ოჯერ გათიბვის შედეგად ჩამოყალიბებული ორი ქვესახეობა: 3 — Al.m.vernalis, ყვავილობს ადრე ზაფხულში და 4 _ Al.m.policladus, ყვავილობს გვიან ზაფხულში. 5. Al.m.apterous ჭვაევის ყანის სარეველა.

დიდი მნიშვნელობა აქვს განვითარებისა და ვეგეტაციის პერიოდების დაცილებას (ასინქრონულობას). გამოელენილია ისეთი სახეობები, რომლებშიც გაერთიანებული ინდივიდები ყვავილობის პერიოდით განსხვავდებიან. მაგალითად, მცენარე ხრიალაში ჩამოყალიბებულია საადრეო და საგვიანო ფორმები, რაც ადამიანის მიერ წლების მანძილზე ნარმოებულმა გათიბვამ(შეუგნებელმა გადარჩევამ) გამოიწვია *(სურ. 11.5)*. სეზონური იზოლაცია გამოვლენილია ცხოველებშიც. ,,საგაზაფხულო'' და ,,საშემოდგომო'' რასები აღწერილია სალამურასა და თევზებში. მაგ., ორხიდისა (მაკედონია) და სევანის (სომხეთი) ტბაში გავრცელებული კალმახის ენდემური სახეობები განსხვავდებიან ტოფობის პერიოდით, საქვირითე ადგილითა და სიღრმით.

ბუნებაში გაცილებით უფრო ხშირად გვხვდება ბიოტოპური იზოლაცია. პოტენციური პარტნიორები მხოლოდ გამრავლების პერიოდში ერთიმეორეს ვერ ხვდებიან. მაგალითად, გომბეშოს ერთი ფორმა (Bufo americanus) ქვირითს ყრის ჭაობებსა და ტბებში, მეორე (B. fewleri) კი - გუბურებსა და ნაკადულებში.

იზოლაციის მორფო-ფიზიოლოგიური ფორმა გამრავლების ორგანოების განსხვავებული აგებულებითა და ფუნქციითაა გამოწვეული. იზოლაციის ამ ფორმის დროს მკვეთრად ქვეითდება განაყოფიერების ალბათობა, ე. ი. რეპროდუქტულ პერიოდში სა-

სქესო პროდუქტების (გამეტების) შეხვედრის ალბათობა მეტად დაბალია. მცენარეებში ასეთ ბარიერს ქმნის ყვავილში მტვრიანების და ბუტკოს სხვადასხვა დონეზე განლაგება (პეტეროსტილია), მტვრის მარცვლის განსხვაებული გაღივების უნარი და სისწრაფე. თუ დინგზე სხვა სახეობის მცენარის მტვერი მოხვდა, იგი ვერ ან ნელა ღივდება. სამტვერე მილი ნელა ყალიბდება, რომელიც ხშირად წყვეტს განვითარებას. ყოველივე ზემოთ აღნიშნული აბრკოლებს გამეტების შეხვედრას.

ცხოველებში მონათესავე სახეობებს ზოგიერთ შემთხვევაში განსხვავებული აგებულების საკოპულაციო ორგანოები აქვთ, რის გამოც შეუძლებელი ხდება განაყოფიერება. ზოგჯერ ახლომდგომ სახეობებში კოპულაცია ნორმალურად მიმდინარეობს, მაგრამ იმუნური შეუთავსებლობის გამო მდედრის სასქესო გზებში სპერმატოზოიდები იღუპებიან.

იზოლაციის ეთოლოგიური ფორმა ქცევის თავისებურებათა განსხვავების მეშვეობით უზრუნველყოფს მონათესავე ფორმების გამიჯვნას. ბუნებრივია, იზოლაციის ეს სახე გვხვდება მხოლოდ იმ ცხოველებში, რომელთაც კარგად აქვთ განვითარებული ნერვული სისტემა (მაგ., მწერები, თევზები, ამფიბიები, რეპტილიები, ძუძუმწოვრები). მრავალ მათგანს აქვთ სპეციფიკური ნიშნები (მეორადი სასქესო ნიშნები), რითაც მონათესავე ფორმები ადვილად პოულობენ ერთმანეთს, ასევე ასხვავებენ სხვა სახეობის ინდივიდებს.

საიზოლაციო მექანიზმების მეორე ჯგუფი (ე. წ. პოსტკოპულაციური) შეჯვარების შემდეგ მოქმედებენ და პოპულაციათა გამიჯვნას იწვევენ. მას მიეკუთვნება გენეტიკური იზოლაცია. ახლომდგომი სახეობების შეჯვარებით წარმოქმნილი ზიგოტები ან ონტოგენეზის ადრეულ ეტაპზე ჩანასახები იღუპებიან. ზოგჯერ ახლომდგომი სახეობების შეჯვარებით წარმოქმნილი ჰიბრიდები სიცოცხლისუნარიანნი არიან, მაგრამ მათში ნაყოფიერება მკვეთრადაა დაქვეითებული, მეტწილად სტერილურები არიან. იზოლაცია, როგორც ევოლუციის ფაქტორი, ახალ გენოტიპებსა და შიდასახეობრივ ფორმებს არ წარმოქმნის. მისი მეშვეობით საწყისი ერთიანი პოპულაცია ორ ან მეტ შემადგენელ ნაწილად იყოფა, რითაც გენეტიკური დიფერენცირების საწყის სტადიებს განამტკიცებს, აღრმავებს და აძლიერებს.

11.8. ბუნებრივი გადარჩევა - ევოლუციის მთავარი მამოძრავებელი ფაქტორი

ბუნებრივი გადარჩევის წანამძღვრები. ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორები: გენთა ნაკადი, მუტაციური პროცესი, გენთა დრეიფი და იზოლაცია არამიმართული, სტოქასტური და განუსაზღვრელი მოქმედებისაა. ევოლუცია ქაოსური როდია, არამედ შეუქცევადი და მიმართული პროცესია, რომლისთვისაც ნიშანდობლივია ახალი ადაპტაციების ფორმირება, ახალ სახეობათა და ტაქსონების იერარქიული სისტემის წარმოქმნა, ორგანული ბუნების პროგრესული განვითარება. ცნობილია მხოლოდ ერთადერთი მიმართული ფაქტორი - ბუნებრივი გადარჩევა, რომელიც ანესრიგებს და წარმართავს ევოლუციურ პროცესს. ბუნებრივი გადარჩევის ხელშემწყობი პირობებია: **1. პოპულაციის გენეტიკური ნაირგვარობა (პეტეროგენულობა); 2. გამრავლების პროგრესია; 3. ბრძოლა არსებობისათვის.**

გენეტიკური ჰეტეროგენულობა პოპულაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურებაა. გაირკვა, რომ ბუნებრივი პოპულაციები ფარული მემკვიდრული ცვლილებებით (მუტაციებით) არის გაჯერებული. მუტაციები იწვევენ გენეტიკური მასალის თვისობრივ ან რაოდენობრივ ცვლილებას. ნებისმიერ ცოცხალ სისტემაში მუტაციური პროცესი სპონტანურად და მუდმივად მიმდინარეობს. იგი ეხება ორგანიზმის ყველა ნიშან-თვისებას. მუტაციები არის ელემენტარული მასალა ევოლუციური პროცესისათვის. ბუნებრივი გადარჩევის მეორე აუცილებელ წინაპირობას გამრავლების პროგრესია წარმოადგენს. ბუნებრივი გადარჩევა მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როდესაც მშობლების მიერ წარმოქმნილი შთამომავლები მათი შეცვლისათვის საჭირო რაოდენობას აღემატება.

ორგანულ სამყაროში ხდება გამრავლების პროგრესია. ყოველი ორგანიზმი დიდი რაოდენობით შთამომავლების მოცემის უნარს ფლობს. ისინი გეომეტრიული პროგრესიით მრავლდებიან. ინდივიდები ძალზე დიდი რაოდენობით ჩნდებიან, მაგრამ სქესმწიფე ასაკს უმნიშვნელო რაოდენობა აღწევს. ასე მაგალითად, ერთი მდედრი კალმახი ტოფობისას 6 ათასამდე ქვირითს ყრის, ხოლო მთვარე თევზი 300 მილიონამდე *(იხ. ცხრ. 11-1).* წყვილ ბეღურას 10 წლის მანძილზე 200 მილიარდი ინდივიდის მოცემა შეუძლია. ბაბუაწაერას 10 წლის განმავლობაში შეუძლია დედამიწის ზედაპირის ტოლი ფართობი 20 სმ-ის სისქის ფენით დაფაროს. მხოლოდ დარვინმა განსაზღვრა გამრავლების პროგრესიის მნიშვნელობა ევოლუციის პროცესში, რაც არსებობისათვის ბრძოლის წინა პირობაა.

მართალია, ორგანიზმები გამრავლების დიდი უნარით გამოირჩევიან, მაგრამ მათი არსებობისათვის აუცილებელი პირობები (ტერიტორია, საკვები, წყალი და მისთ.) შეზღუდულია. ამდენად, იქმნება ***შეუსაბამობა ინდივიდთა რაოდენობასა და საარსებო პირობებს შორის, რომელიც არსებობისათვის ბრძოლას უზრუნველყოფს.*** ბუნებაში გამრავლების პოტენციური შესაძლებლობის სრული რეალიზაცია შეუძლებელია. ყველა გაჩენილ ინდივიდს ზრდასრული ასკისათვის რომ მიეღწია, მაშინ მათთვის საარსებო პირობები აღარ იქნებოდა. ამრიგად, ორგანიზმებს შორის ყოველთვის მიმდინარეობს ბიოლოგიური შეჯიბრი ანუ კონკურენცია საარსებო პირობების მოსაპოვებლად. მეორე მხრივ, ორგანიზმები წინააღმდეგობას უწევენ გარემოს ბიოტური (მტრები, პარაზიტები და სხვ.) და აბიოტური (ტემპერატურის ცვალებადობა, ჟანგბადის, წყლის, სინათლის

ცხრილი 11-1
სეზონის განმავლობაში ერთი ინდივიდის რეპროდუქციის რიცხოვნობა

სახეობა	ლათინური სახელწოდება	შთამომავალთა რაოდენობა
ადამიანი	Homo sapiens	1
ძაღლი	Canis familaris	7 (1 – 22)
მგელი	Canis lupus	3 – 10
შოშია	Sturnus vulgaris	5 – 8 კვერცხი
ჩვეულებრივი ანკარა	Nartix natrix	15 – 30 კვერცხი
გიურზა	Vipera lebetina	15 — 20 კვერცხი
სამეფო კობრა	Ophiphagus hannah	20 – 40 კვერცხი
ჩვეულებრივი გომბეშო	Bufo bufo	1200 – 7000 ქვირითი
ტბის ბაყაყი	Rana ridibunda	5000 – 10000 ქვირითი
მთვარე თევზი	Mola mola	~300000000 ქვირითი
ვირთევზა	Cadus morhua	2,5 – 10 მილიონი ქვირითი
კალმახი	Salmo truta	200 – 6000 ქვირითი
ადამიანის ასკარიდა	Ascaris lumbricoides	200000 კვერცხი 24 სთ-ში
ოთახის ბუზი	Musca domestica	600 – 2000 კვერცხი
ხილის ბუზი	Drosophila melanogaster	100 კვერცხი
ლენცოფა	Hyascyanus niger	~ 446500 თესლი
ნინმატურა	Capseila bursa-pestoris	~ 73000 თესლი
მინდვრის ნარი	Cirsium arvence	~ 35000 თესლი
ბაბუაწვერა	Taraxacum officinale	~ 100000 თესლი
ხაშხაში	Papaver somniferum	~ 30000 თესლი

ნაკლებობა ან სიჭარბე და მისთ.) ფაქტორების მავნე ზემოქმედებას. ორგანიზმებისა და გარემო ფაქტორების ყველა ურთიერთმიმართება ჩ. დარვინმა გააერთიანა კრებსითი ცნებით — ბრძოლა არსებობისათვის, რომელიც მეტაფორული გაგებით იხმარება. (სადღეისოდ ხშირად მის ნაცვლად ტერმინ ,,კონკურენციას'' იყენებენ).

ამა თუ იმ სახეობის პოპულაცია დამოუკიდებლად და განმხოლოებულად როდი არსებობს, იგი ბიოცენოზის შემადგენელი კომპონენტია. მისი წარმატებული არსებობა დიდად არის დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორ ურთიერთობას დაამყარებს მოცემული პოპულაცია სხვა სახეობის პოპულაციებთან. ამ რთული ურთიერთდამოკიდებულების ფორმირება აბიოტური ფაქტორების მოქმედების ფონზე მიმდინარეობს. ამდენად, ორგანულ სამყაროში არსებობისათვის ბრძოლის სახეები მეტად მრავალფეროვანია, გამოყოფენ შემდეგ ძირითად ფორმებს: **შიგასახეობრივს, სახეობათაშორისსა და კონსტიტუციურს**.

შიგასახეობრივი ბრძოლა არსებობისათვის მიმდინარეობს ერთი და იმავე სახეობის ინდივიდებს შორის და განსაკუთრებული სიმძაფრით გამოირჩევა. *(სურ. 9.11).* ბრძოლის ეს ფორმა იშვიათადაა პირდაპირი ხასიათის. მეტწილად იგი ვლინდება საკუთარი სიცოცხლის დაცვისა და შთამომავლობის უზრუნველყოფისათვის უფრო ეფექტურ საშუალებათა გამომუშავებაში, რაც უპირატესობას ანიჭებს მას სხვა ინდივიდებთან კონკურენციაში, მტრებისა და გარემოს არახელსაყრელი პირობებისადმი წინაალმდეგობის გაწევისას. პოპულაციის შემადგენელ ინდივიდებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა პერიოდსა და გარემოსთან მიმართებით შესაძლებელია იყოს ნეიტრალური, კონკურენტული ან შესაძლებელია გამოვლინდეს ურთიერთდახმარების ფაქტები. მაგალითად, როდესაც საკვებ არეში დაბალია დროზოფილას ლარვების სიმჭიდროვე, ისინი ერთმანეთს ეხმარებიან, რათა თავიდან აიცილონ საკვების გამოშრობა და მასზე ობის სოკოს განვითარება. საშუალო სიმჭიდროვის დროს ლარვებს შორის დამოკიდებულება ნეიტრალურია, მაღალი სიმჭიდროვის დროს კი მძაფრი კონკურენცია აღინიშნება (იხ. თავი 9, ეკოლოგია).

სახეობათაშორისი ბრძოლა არსებობისათვის მეტწილად პირდაპირი ხასიათისაა. მაგ., ურთიერთობა მტაცებელსა და მსხვერპლს შორის, ასევე პარაზიტსა და მასპინძელს შორის. ზოგჯერ ეს ბრძოლა არაპირდაპირი ხასიათისაა, რაც კონკურენციის სახით ვლინდება.

კონსტიტუციური ბრძოლა არსებობისათვის გამოიხატება თავდაცვითი ფიზიოლოგიური რეაქციებით მავნე აბიოტურ ფაქტორებზე (გვალვა, სიცივე, მარილიანობა....). მაგ., სიცივეში ხშირია ბეწვის განვითარება, ზამთარში ან ზაფხულის გვალვებისას - ძილქუში, ანაბიოზში გადასვლა და მისთ. ცხოველებში იგი ვლინდება აგრეთვე ქცევითი აქტებით, როგორიცაა სოროში ჩაძრომა, ინცისტირება, ნიადაგში ჩამალვა, საბინადრო ადგილის შეცვლა და სხვ.

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ბრძოლა არსებობისათვის მოიცავს არა მარტო კონკურენტულ ურთიერთობებს, არამედ ორგანიზმთა ურთიერთმიმართებათა სხვა ფორმებსაც (მაგ., კოოპერაცია, ურთიერთდახმარება და სხვ.), რაც მიმართულია სიცოცხლის შენარჩუნებისა და შთამომავლობის დაცვისაკენ. არსებობისათვის ბრძოლას ჩ. დარვინი განიხილავდა, როგორც ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობას.

ბუნებრივი გადარჩევა და მისი ძირითადი ფორმები

ბუნებრივი გადარჩევის არსი. მოძღვრება ბუნებრივი გადარჩევის შესახებ ევოლუციის სინთეზური თეორიის ქვაკუთხედს წარმოადგენს. ჩ. დარვინის განმარტებით, ბუნებრივი გადარჩევა არის სასარგებლო ინდივიდუალურ განსხვავებათა ან ცვლილებათა მქონე ინდივიდების შენარჩუნება და საზიანოთა მოსპობა.

ადაპტური ევოლუცია ორეტაპიანი პროცესია. მუტაციური ცვალებადობისა და ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება ერთმანეთისაგან გამიჯნულია. მუტაციის შედეგად წარმოიქმნება ახალი გენეტიკური ვარიანტები. ამდაგვარი დაჯგუფება პირობითია, ვინაიდან მუტაციის ადაპტური ღირებულება კონკრეტულ საარსებო გარემოში ვლინდება. იმ ინდივიდებს, რომელთაც მეტი დადებითი მუტანტური ალელები აქვთ, ნარმატებული გამრავლებისა და სქესმწიფე შთამომავლობის დატოვების მეტი შანსი გააჩნიათ.

არსებობისათვის ბრძოლაში პოპულაციის შემადგენელ ინდივიდთა ერთი ნანილი იღუპება ან ვერ ტოვებს შთამომავლობას, ნანილი კი გადარჩება. მეტწილად იღუპებიან საზიანო ვარიაციის მქონე ინდივიდები, ხოლო გადარჩებიან სასარგებლო ვარიაციის მქონენი. გადარჩენილი ინდივიდები თავიანთ ნიშან-თვისებებს გადასცემენ შთამომავლობას. ყოველ მომდევნო თაობაში სასარგებლო ვარიაციების წილი გაცილებით მეტი იქნება, ვიდრე წინა თაობაში იყო. ამ პროცესის მრავალჯერადი განმეორება თაობათა მანძილზე (ბიოლოგიურ დროში) იწვევს საზიანო ვარიაციათა მქონე ინდივიდების ელიმინაციას და სასარგებლო ვარიაციათა მქონე ფორმების გადარჩენას, რაც უზრუნველყოფს არსებობისათვის ბრძოლაში გამარჯვებას. ამგვარი მუტაციური ცვალებადობით ნაირგვარი მასალა წარმოიქმნება. ბუნებრივი გადარჩევა წარმოქმნილი მასალიდან საუკეთესო ვარიანტებს ტოვებს, ხოლო დანარჩენის წუნდებას — ელიმინაციას ახდენს.

ბუნებრივი გადარჩევის გენეტიკურ-ევოლუციური არსი იმით გამოიხატება, რომ პოპულაციაში დიფერენცირებულად (არაშემთხვევითად) ინახება გარკვეული გენები, მომდევნო თაობასაც გენები შერჩევით გადაეცემა. ამრიგად, ბუნებრივი გადარჩევა არის უკეთ შეგუებული ინდივიდების გადარჩენა და შთამომავლობის დატოვება; კონკრეტულ საარსებო გარემოში გარკვეული გენოტიპების შერჩევითი შენარჩუნება და მათი გადაცემა მომდევნო თაობებისათვის.

ბუნებრივი გადარჩევის დამამტკიცებელი არგუმენტები. XIX საუკუნის ბოლოს და XX ს-ში მრავალი ექსპერიმენტული გამოკვლევა ჩატარდა ჩ. დარვინისა და ა. უოლესის მიერ მოწოდებული ბუნებრივი გადარჩევის ჰიპოთეზის დასასაბუთებლად. თვალსაჩინო არგუმენტები მხოლოდ XX ს-ის შუა პერიოდში იქნა მოპოვებული. კერძოდ, დასაბუთდა, რომ ბუნებრივი გადარჩევა მთავარი და ერთადერთი მიმართული ევოლუციური ფაქტორია, რომელიც გადამწყვეტ როლს ასრულებს ორგანული სამყაროს ისტორიულ განვითარებაში. ყოველივე ზემოთ აღნიშნულმა განაპირობა ამ ჰიპოთეზის ბუნებრივი გადარჩევის თეორიად ჩამოყალიბება.



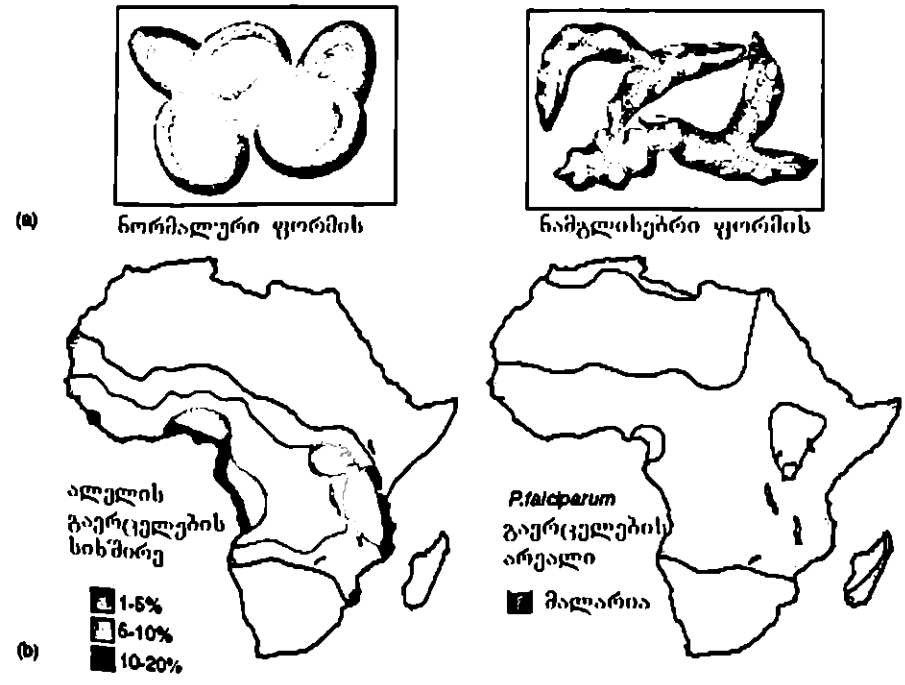
სურ. 11.6. არყის ხის მზომელას პეპლების ნორმალური და მელანისტური შეფერილობა. პეპლები არყის ხის ქერქის ფონზე და გაჭვარტლულ ხის ქერქის ფონზე.

კლასიკური მაგალითია ინდუსტრიული მელანიზმის მოვლენა. XIX-XX სს. განვითარებულ ინდუსტრიულ რაიონებში ქარხნების გამონაბოლქვმა გარემოს დაბინძურება გამოიწვია. მცენარეული საფარი გაიჭვარტლა. ასეთ რაიონებში მუქი შეფერილობის მწერებმა პოპულაციიდან ღია ფორმები განდევნეს. დასავლეთ ევროპაში მწერების 80-ზე მეტ სახეობას შეფერილობა შეეცვალა. მათი შემადგენელი პოპულაციები ძირითადად მუქი შეფერილობისაა. ეს მოვლენა კარგადაა შესნავლილი არყის ხის მზომელას პეპლებში (Biston betularia). ინგლისის არაინდუსტრიული რაიონების

პოპულაციებში გვხდება ღია ფორმები. პეპლებს აქვთ ღია მონაცრისფრო-კრემისფერი, შავ წინწკლებიანი ფრთები (forma lipica). ისინი ღამის პეპლებია, დღისით უძრავად სხედან არყის ხის ქერქზე. მათი შეფერილობა ეხამება არყის ხის ქერქსა და მასზე არსებულ მღიერებს. ინდუსტრიულ რაიონებში გვხვდება მუქი რუხი (f. insularia) და მურა-შავ ფრთებიიანი (f.carbonaria) ინდივიდები. წლების განმავლობაში ინდუსტრიულ რაიონებში სანარმოო ნარჩენებით ტყეები იმდენად შეიჭვარტლა, რომ არყის ხეზე მღიერები მოისპო, ხოლო ქერქი შავი შეფერილობის გახდა. ამ ფონზე მუქ ფორმებს მფარველობითი შეფერილობა აღენიშნათ. ისინი ნაკლებ შესამჩნევნი არიან *(სურ. 11.6)*. ბუნებრივი გადარჩევა ფრინველთა მეშვეობით ხდება: ადვილად ამჩნეევენ და ჭამენ ღია შეფერილობის პეპლებს. არასამრეწველო რაიონებში საპირისპირო მოვლენა შეინიშნება. ინგლისის ძლიერ დაბინძურებულ რაიონებში გვხვდება carbonaria, შედარებით ნაკლებ დაბინძურებულში - insularia, ხოლო არაინდუსტრიულ რაიონებში, სადაც ტყეები დაუბინძურებელია -lipica.

ბ. ქეთლუელმა (1958) შეისწავლა გადარჩევის გავლენა პეპლების მელანისტური ფორმების გავრცელებაზე. მან ბირმინგემის მახლობლად ძლიერ გაჭვარტლულ ტყეში გაუშვა საღებავით მონიშნული სამიეე ფორმის პეპლები, შემდეგ მათ სატყუარათი იჭერდა პეპლებს და აღრიცხავდა გადარჩენილი ინდივიდების რაოდენობას. გამოირკვა, რომ ფრინველები ღია შეფერილობის პეპლებს ორჯერ მეტს ანადგურებდნენ, ვიდრე მუქ ფორმებს. ანალოგიური ცდა მან ჩაატარა დორსეტში, სადაც ტყეები გაჭვარტლული არაა. არყის ხის თეთრ ფონზე ფრინველები ადვილად ამჩნევდნენ მუქ პეპლებს და ისინი ორჯერ მეტი ნადგურდებოდა, ვიდრე ღია ფორმები. მას შემდეგ, რაც გარემოს დაცვას გაჭუჭყიანებისაგან დიდი ყურადღება მიექცა, კერძოდ, ქვანახშირის გამოყენება საწვავად მკვეთრად შემცირდა, ადგილი აქვს უკუ პროცესს.

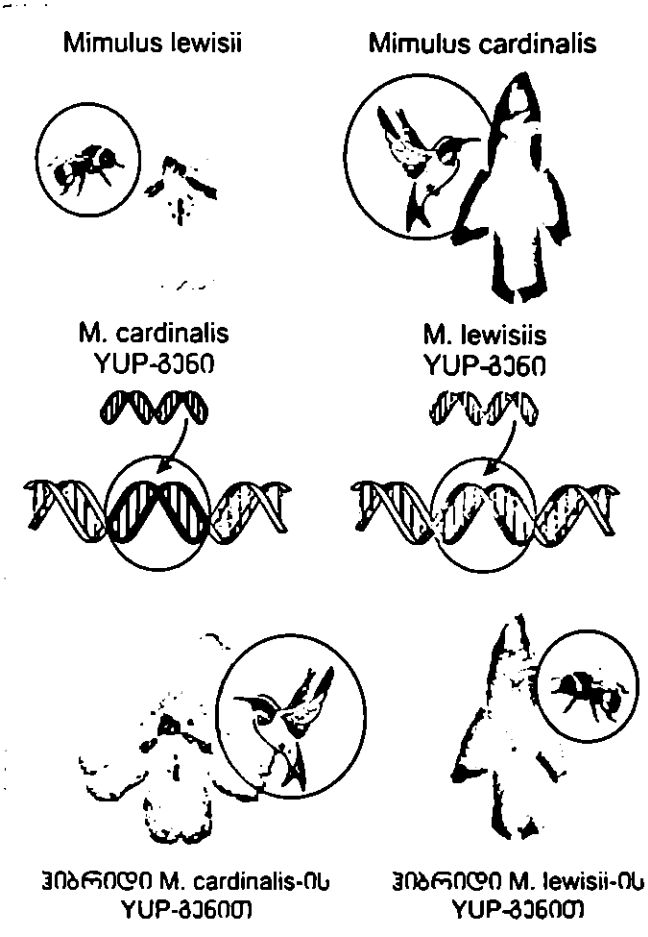
მღრღნელებში და მწერებში შხამქიმიკატებისადმი, ხოლო პათოგენურ მიკროორგანიზმებში ფარმაკოლოგიური პრეპარატებისადმი რეზისტენტულობის ამაღლება გადარჩევის წამყვანი როლის დამადასტურებელი მნიშვნელოვანი არგუმენტია. 1944 წელს დაავადების გადამტან და სასოფლო-სამეურნეო მავნებლების წინააღმდეგ ფართო მაშტაბით გამოიყენეს ინსტექტიციდი დდტ. 1960 წლისთვის უკვე გამოავლინეს ამ შხამქიმიკატისადმი რეზისტენტული 120 სახეობის მწერი, მათ შორის 60 სახეობა რეზისტენტული აღმოჩნდა რამდენიმე ინსექტიციდის მიმართ. ორფრთიანებში ჩატარებული გამოკვლევებით გამოირკვა, რომ დდტ-ს ზემოქმედებით 4-7 თაობის განმავლობაში ამ შხამქიმიკატისადმი მედეგობა 100-ჯერ იზრდება. ისინი უძლებენ ისეთ დოზებსაც კი, რომელიც სანყისი ფორმების 100%-ით სიკვდილს იწვევდა. შხამქიმიკატის ზემოქმედების შედეგად გადარჩებიან ერთეული რეზისტენტული ინდივიდები. გამრავლების პოტენციალის რეალიზაციის შედეგად ყალიბდება პოპულაცია, რომელიც მხოლოდ შხამქიმიკატისადმი რეზისტენტული ფორმებისაგან შედგება. ბუნებრივი გადარჩევის გზით მწერების პოპულაციაში მიმდინარეობს ისეთი ალელების ფიქსაცია, რომელიც შეგუების ფართო სპექტრს აპირობებს. გენების მოქმედებით ერთი მხრივ ყალიბდება შხამქიმიკატების დამშლელი ეფექტური ფერმენტული სისტემა, მეორე მხრივ იზრდება მათი შეუღწევადობა ორგანიზმში, ასევე



სურ. 11.7. a. ადამიანის ერითროციტის ფორმა ნორმასა და ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის დროს. b. HBs ალელისა გავრცელება და სიხშირე აფრიკის მოსახლეობაში; პარაზიტის გავრცელების არეალი.

უყალიბდებათ რთული ქცევები, რომლებითაც თავს არიდებენ შხამიან გარემოს.

სანიმუშო მაგალითია ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის გავრცელება ადამიანის ზოგიერთ პოპულაციაში. ჰომოზიგოტი (HbS/HbS) ინდივიდები ანემიით (ხშირად ვერ აღწევენ რეპროდუქციულ ასაკს) იღუპებიან. მიუხედავად ამისა, ლეტალი, რეცესიული HbS ალელის სიხშირე ზოგიერთ პოპულაციაში საკმაოდ მაღალია, კერძოდ იმ რაიონებში (სამხრეთი და დასავლეთი აფრიკა, ხმელთაშუაზღვისპირეთი, პაკისტანი, ინდოეთი), სადაც მალარია არის გავრცელებული. აფრიკის ზოგიერთი აბორიგენების 40%, ინდოეთის ზოგიერთ რეგიონში მოსახლეობის 10-15% ჰეტეროზიგოტებია (HbA/HbS). პოპულაციაში ლეტალური ალელის მაღალი სიხშირით ფიქსაცია იმითაა გამონვეული, რომ ჰეტეროზიგოტები გაცილებით რეზისტენტულებია დაავადებისადმი, ვიდრე ნორმალური ჰომოზიგოტები (HbA/HbA). იმ რეგიონში, სადაც მალარიაა გავრცელებული, ჰეტეროზიგოტებს აღენიშნებათ სელექტიური უპირატესობა ჰომოზიგოტებთან შედარებით: HbS/HbS გენოტიპის ინდივიდები ანემიით, ხოლო HbA/HbA გენოტიპის ინდივიდები მალარიით იღუპებიან *(სურ. 11.7)*. როდესაც ჩამოყალიბებული ნიშანი ადაპტურ მნიშვნელობას კარგავს, მაშინ მისი შენარჩუნება პოპულაციაში აღარ ხდება და ლეტალი გენის კონცენტრაცია გენოფონდში თანდათანობით ქვეითდება. აშშ-სა და ბრაზილიის ზანგ მოსახლეობაში (ამ ტერიტორიაზე მალარია არ გეხდება) ჰეტეროზიგოტ ინდივიდთა რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია (9-10%), ვიდრე იმ აფრიკელებში, საიდანაც ისინი იღებენ სათავეს (იხ. თავი 7; გენური დაავადებები).

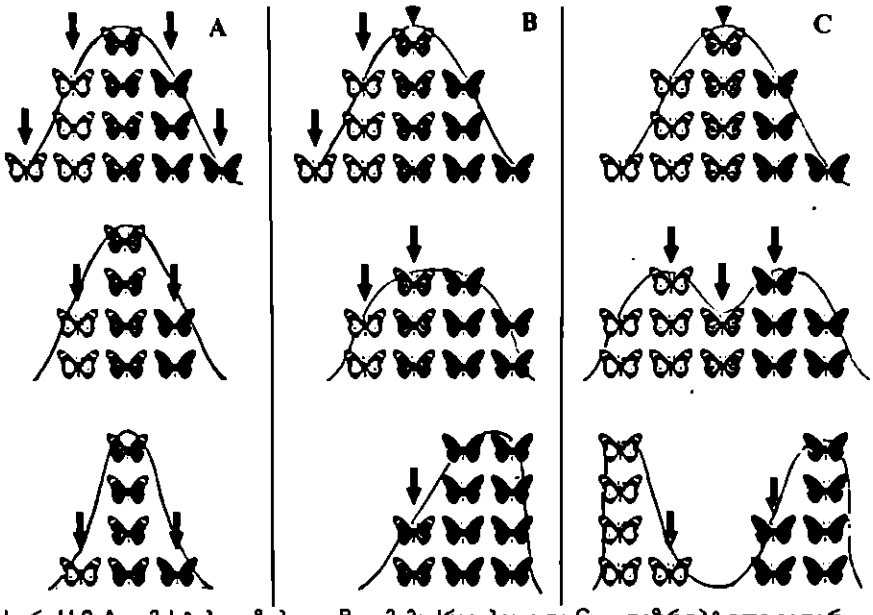


სურ. 11.8. ტუჩოსანთა გვარ Mimulus-ში სახეობათა ნარმოშობის ექსპერიმენტული მტკიცებულება.

კვლევის უახლესი არგუმენტები. ბოლო 20 წლის განმაელობაში ბუნებრივი გადარჩევის გენეტიკური მექანიზმების გამოკვლევა ინტენსიურად მიმდინარეობს. ამჟამად ამ პრობლემატიკით გაცილებით მეტი მეცნიერია დაკავებული, ვიდრე ოდესმე. ისინი ბუნებრივ გადარჩევასა და სახეობათა ნარმოშობას მოლეკულური ბიოლოგიის უახლესი ტექნოლოგიებით იკვლევენ.

ამერიკელმა მეცნიერებმა კ. ჰოლდერმა და ჯ. ბულმა (2004) ნაწლაეის ბაქტერიის ორ მონათესავე ფაგზე გამოიკვლიეს ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება. ისინი ფაგებს მაღალ ტემპერატურაზე ამრაველებდნენ. ფაგები ექსტრემალურ პირობებს უმოკლეს დროში შეეგუვნენ. ადაპტაციის პროცესი ორივე ფაგში მსგავსად წარიმართა. იგი თაედაპირველად აჩქარებულად მიმდინარეობდა, შემდგომ შენელდა და ბოლოს სტაბილური გახდა. მეცნიერებმა ფაგის დნმ-ში ადაპტაციის განმსაზღვრელი უბნები გამოავლინეს. ანალოგიურად ევოლუირებს ადამიანში მოხვედრილი ვირუსები და პათოგენური მიკრობები. ისინი სწრაფად იძენენ სამკურნალო პრეპარატებისადმი რეზისტენტობას, რის გამოც ხშირად დაავადების მკურნალობა გაძნელებულია. კარგად არის შესწავლილი აივ-ის (ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსი) მოლეკულური ეეოლუცია. ვირუსი უკურნებელ დაავადებას — შიდსს იწვევს. ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრილი ვირუსი სწრაფად მრავლდება და მასში მუტაციის შედეგად გენთა ნაირგვარი ახალი ვარიანტები წარმოიქმნება; მათ შორის ისეთებიც, რომლებიც ვირუსს სამკურნალო პრეპარატებისადმი მდგრადობას სძენენ. მკელევარებმა მრავალი სახის შიდსის სამკურნალო პრეპარატი შექმნეს, მაგრამ ამ წამლების გამოყენების შედეგად ხდება წამლის მიმართ მდგრადი ვირუსების გადარჩენა. მკურნალობის დასაწყისში ვირუსებს შორის შეიძლება შემთხვევით აღმოჩნდეს კონკრეტული მედიკამენტის მიმართ რამდენიმე მდგრადი ვირუსი. ვირუსები, რომლებიც მკურნალობის დასაწყისში პრეპარატს გადაურჩებიან, წამლისადმი რეზისტენტობის გენებს თავის შთამომაელობას გადაცემენ. მედიკამენტის მიმართ მდგრადი ვირუსების რაოდენობა პოპულაციაში სწრაფად იზრდება და პაციენტების ამ პრეპარატებით მკურნალობა არაეფექტური ხდება.

ამერიკელმა მეცნიერებმა დ. შემსკემ და დ. ბრედშოუმ გამოაელინეს (2004) ერთი გენის ცელილებით



სურ. 11.9. A — მასტაბილიზებელი, B — მამოძრავებელი და C — დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედების სქემა.

გამონვეული ახალ სახეობათა ნარმოქმნა. მათ შეისწავლეს ტუჩოსანთა ოჯახის ორი მონათესავე სახეობა. ერთ-ერთი (Mimulus lewisii) ვარდისფერ ყვავილებს იკეთებს და მას მეტწილად ბაზები მტვერავენ. მეორე სახეობა (Mimulus cardinalis) კაშკაშა წითელ ყვავილებს იკეთებს და, ძირითადად, კოლიბრებით იმტვერება. ნიშანს ერთი გენის (YUP) ორი განსხვავებული ალელი განსაზღვრავს. ორივე სახეობა ერთსა და იმავე არეალშია გავრცელებული. ისინი ერთმანეთს ვერ ეჯვარებიან, ვინაიდან სხვადასხვა ცხოველებით იმტვერებიან (მოქმედებს ეკოლოგიური იზოლაცია). ამერიკელმა მეცნიერებმა გენური ინჟინერიის მეთოდების გამოყენებით ორი სახის ჰიბრიდის კონსტრუირება მოახდინეს. პირველ ტიპს M. lewisii-ის გენომში cardinalis-ის YUP გენის ალელი ჰქონდა ჩანერგილი. ჰიბრიდები ნარინჯისფერ ყვავილებს იკეთებდნენ და ბუნებრივ პირობებში მათ მეტწილად კოლიბრები მტვერავდნენ. მეორე ტიპის ჰიბრიდს — პირიქით, M. cardinalis-ის გენომში M. lewisii-ის YUP გენის ალელი ჰქონდა ჩანერგილი. მეორე ტიპის ჰიბრიდები ვარდისფერ ყვავილებს იკეთებდნენ და ბუნებრივ პირობებში მათ მეტწილად კელები და ბაზები მტვერავდნენ *(სურ. 11.8)* ამ ზოოფილური სახეობების ფორმირებაში YUP გენმა გადამწყვეტი როლი შეასრულა. მაშასადამე, ბუნებრივი გადარჩევა ახალ სახეობათა წარმოქმნისას მარტივ გენეტიკურ ცვლილებებს იყენებს.

ბუნებრივი გადარჩევის ფორმები. თანამედროვე ევოლუციურ თეორიაში საკვანძოა საკითხია ბუნებრივი გადარჩევის ფორმების შესახებ. პოპულაციურ დონეზე გადარჩევის სამ ძირითად ფორმას გამოყოფენ: მასტაბილიზებელს, მამოძრავებელსა და დიზრუპტულს *(სურ. 11.9)*.

მასტაბილიზებელი გადარჩევა არის ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმა, რომელიც მიმართულია პოპულაციაში ნიშნის საშუალო, ადრე ჩამოყალიბებული მნიშვნელობის შენარჩუნებისა და მდგრადობის ამაღლების რეალიზაციისაკენ. იგი მიმდინარეობს ნორმიდან ნებისმიერი გადახრის ელიმინაციის გზით.

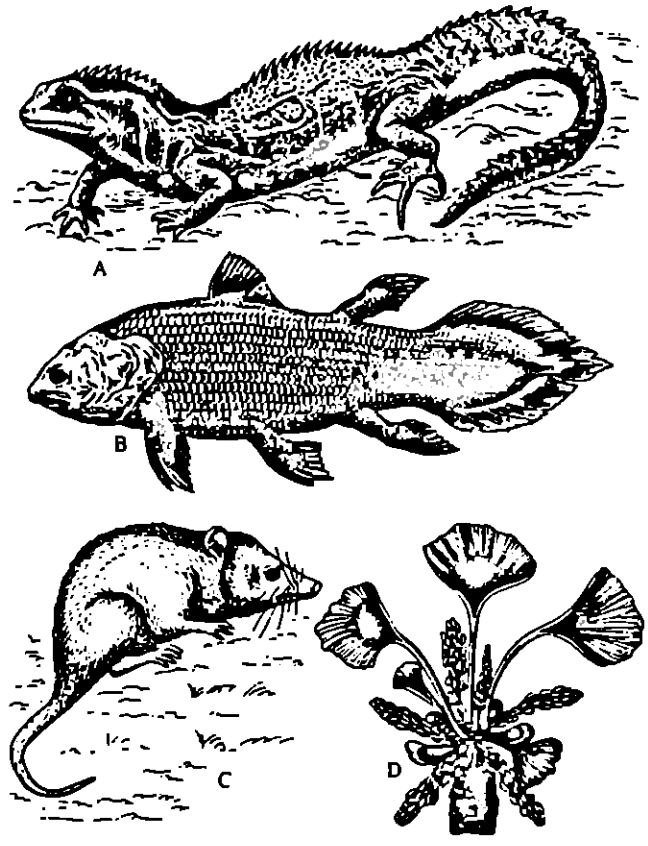
მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედებისას უპირატესად მრავლდებიან და შთამომავლობას ტოვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც პოპულაციისათვის დამახასიათებელი ნიშნის საშუალო მაჩვენებელი აქვთ. ინდივიდები, რომელთაც საშუალო ნორმიდან ნებისმიერი მიმართულებით ფენოტიპურად განსხვავებულია, იღუპებიან. მასტაბილიზებელი გადარჩევა ინახავს და აძლიერებს ადრე ჩამოყალიბებულ ადაპტაციურ ნიშნებს. იგი მოქმედებს მეტნაკლებად უცვლელ გარემო პირობებში. ბუნებრივია, ამ პირობებში მოქმედებას აგრძელებს მუტაციური პროცესი, არსებობისათვის ბრძოლა და ბუნებრივი გადარჩევა, მაგრამ ინდივიდებში ადრე ჩამოყალიბებული ადაპტაციური ნიშნები არ იცვლება. ნარმოქმნილი მუტაციები მავნეა, ვინაიდან არღვევენ გარემოსთან იმ შეგუებულობას, რომელიც ჩამოყალიბდა პოპულაციის ევოლუციის პროცესში, ამიტომაც ახალი ადაპტაციები აღარ წარმოიქმნება. ინახება მხოლოდ უკვე მიღწეული შეგუებითი ნორმა. ამრიგად, მასტაბილიზებელი გადარჩევის ყველაზე თვალსაჩინო შედეგია უკვე არსებული ადაპტაციური ნიშნებისა და ნიშნებისათვის დამახასიათებელი რეაქციის ნორმის შენარჩუნება და სტაბილიზაცია.

მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედების საილუსტრაციოდ მოვიყვანთ რამდენიმე მაგალითს. ამერიკელმა ორნითოლოგმა გ. ბამპერსმა 1898 წლის ზამთარში მანჰეტენის ქუჩებში (ნიუ — იორკის უბანი) შეაგროვა ძლიერი ქარბუქისა და ყინვისაგან გათოშილი და ცოცხალმკვდარი 136 სახლის ბეღურა (Passer domensliaus). ლაბორატორიაში ისინი გაათბეს და ჩაუტარეს ბიომეტრიული ანალიზი. გადარჩნენ ის ბეღურები (მხოლოდ 72), რომელთა ნიშნები პოპულაციის საშუალო მაჩვენებლებს უახლოვდებოდა. ნებისმიერი ნიშნის მიხედვით (ფრთის, ნისკარტის და სხეულის სიგრძე, სხეულის მასა და სხვ.) ნორმიდან გადახრილი ფრინველები დაიღუპნენ.

ენტემოფილურ მცენარეებში ყვავილის ფორმა და ზომა შედარებით უფრო სტაბილურია, ვიდრე ანემოფილურებში. ყვავილისა და მათი დამტვერავი მწერების ზომები ერთმანეთს მიესადაგება. ყვავილის აგებულების მდგრადობა მასტაბილიზებელი გადარჩევით შენარჩუნდება. მდგრადობა მრავალი მილიონი წლის

მანძილზე მიმდინარე ენტემოფილური მცენარეებისა და მათი დამტვერავი მწერების ერთობლივი (შეუღლებული) ევოლუციითაა განპირობებული. ხდებოდა შეცვლილი ყვავილის მქონე მცენარეების ,,წუნდება". ვინაიდან მწერები მათ ვერ მტვერავდნენ, თესლს მხოლოდ ,,სტანდარტული" ყვავილის მქონე მცენარეები იკეთებენ.

ცოცხალი სისტემის ორგანიზაციის ნებისმიერ დონეზე ნიშნების შენარჩუნება მასტაბილიზებელი გადარჩევის შედეგია. ორგანიზაციის მოლეკულურ დონეზე მისი მოქმედებით იქმნება სიცოცხლის ბიოქიმიური ერთიანობა და უნივერსალობა, კერძოდ გენეტიკური კოდის უნივერსალობა (ვირუსებში, პროკარიოტებსა და ეუკარიოტებში ერთნაირი გენეტიკური კოდი ფუნქცირებს), ცილის მსგავსი ამინომჟავური შედგენილობა (შენებაში 20 სახის ამინომჟავა მონაწილეობს), ხერხემლიან ცხოველებში ჰემის მოლეკულის ერთნაირი აგებულება და სხვა. ორგანიზაციის უჯრედულ დონეზე მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედებით შენარჩუნებულია ორგანოიდების ერთნაირი სტრუქტურა და ფუნქცია (ეუკარიოტებში), მიტოზური და მეიოზური გაყოფის ერთნაირი მექანიზმი და სხვ. სახეობის დონეზე კი პერსისტენტული ფორმების არსებობა. მასტაბილიზებელი გადარჩევის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად ზოგიერთი სახეობა (ე.წ. პერსისტენტული ფორმები) მრავალი ათასი და მილიონი თაობის განმავლობაში თითქმის უცვლელი დარჩა. ამგვარი ,,ცოცხალი ნამარხი" სახეობებია: მოლუსკი ნეოპილინა (დაახლოებით 600 მილიონი წელია, რაც არსებობს), მოლუსკი ნაუტილუსი (დაახლოებით 500 მილიონი წელი), მახვილკუდიანები (დაახლოებით 400 მილიონი წელი), ჰატერია (დაახლოებით 230 მილიონი წელი), გინგკო (დაახლოებით 240 მილიონი წელი), ციანობაქტერიის ზოგიერთი სახეობა (არანაკლებ 1,5-2 მილიარდი წელი) და სხვ. *(სურ. 11.10)*



სურ. 11.10. რელიქტური ფორმები: A — ჰატერია (Sphenodon punctatus); B.ლატიმერია — (Latimeria chalumnae); C. ოპოსუმი — (Didelphis marsupialis); D. გინკგო — (Ginkgo biloba).

მამოძრავებელი გადარჩევა ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმაა, რომელიც ნიშნის ან თვისების საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებას განსაზღვრული მიმართულებით წარმართავს. ზოგჯერ მას დარვინულ გადარჩევასაც უწოდებენ. იგი მასტაბილიზებელი გადარჩევის ალტერნატიული ფორმაა, რომელიც გარემოს შეცვლისას მოქმედებს და ახალი ადაპტაციური ნიშნების ჩამოყალიბებას იწვევს. მამოძრავებელი გადარჩევის მეშვეობით ახალ გარემოში გამოუსადეგარი ძველი ნორმა ახლით იცვლება და მისი განმტკიცება ხდება. ინდივიდები, რომელთაც აქვთ სასარგებლო ცვლილებები, ადვილად ეგუებიან ახალ საარსებო გარემოს და მეტ შთამომავლებს ტოვებენ. ინდივიდები, რომელთაც ახალ გარემოში უპირატესობა არა აქვთ, ელიმინირდება. პოპულაციაში თანდათანობით ვრცელდება სასარგებლო გადახრა და ყალიბდება ახალ-ახალი ადაპტაციები.

მამოძრავებელი გადარჩევის საილუსტრაციოდ რამდენიმე მაგალითს მოვიყვანთ. კლასიკურადაა აღიარებული ინგლისელი ზოოლოგის ვ. უელდონის (1877) მიერ ჯერ კიდევ ჩ. დარვინის სიცოცხლეში კიბორჩხალაზე ჩატარებული გამოკვლევები. ხუთი წლის განმავლობაში იგი აკვირდებოდა ცხოველებს. ქ. პლიმუტის (ინგლისი) ნაესადგურში ახალი ჯებირის აშენებამ ფართო სალაყუჩე ნაპრალის მქონე ცხოველების ელიმინაცია გამოიწვია. გადარჩნენ ვინრო სალაყუჩე ნაპრალის მქონე კიბორჩხალები. გამოირკვა, რომ ჯებირმა წყლის ცირკულაციის დარღვევა გამოიწვია. ორი მდინარის მიერ ჩამოტანილი მინარევები წყალი იმღვრეოდა. წყალში შეტივნარებული კირქვის მინარევები ილექებოდა ფართო ნაპრალიანი კიბორჩხალების ლაყუჩებში და ისინი ილუპებოდნენ. დასკვნა დადასტურდა ჩატარებული ექსპერიმენტით: აკვარიუმში მოათავსეს ორიეე ფორმის 248 კიბორჩხალა და განუწყვეტლივ ამღვრეედნენ წყალს. სწრაფად დაიღუპა 154 ცხოველი, ყველა მათგანს ფართო სალაყუჩე ნაპრალი აღმოაჩნდა.

1947 წელს ინგლისში ვირთაგვების წინააღმდეგ გამოიყენეს ანტიკოაგულანტი-ვარფარინი. სატყუარათი ნივთიერების მიღების შემდეგ ცხოველები ჩხუბში ან სხვა გზით წარმოქმნილი ნაკაწრებიდან სისხლდენის შედეგად იღუპებოდნენ. 1958 წელს შოტლანდიაში პირველად აღმოაჩინეს ფორმები, რომლებზედაც პრეპარატი აღარ მოქმედებდა - ვარფარინისადმი მედეგი (ე. წ. ,,სუპერვირთაგვები") ფორმები. 1960 წ. კი ინგლისის

მრავალ მხარეში ნარმოიშვნენ რეზისტენტული პოპულაციები, რომლებიც მთელი ალბიონის კუნძულზე განსახლდნენ. გამოირკვა, რომ რეზისტენტულობას იწვევდა ერთი მუტანტური დომინანტი გენი.

ფუნქციური უვარგისობის შემთხვევაში მამოძრავებელი გადარჩევა ნიშნის დაკარგვას იწვევს. ზოგიერთ მწერებსა (ოკეანიის კუნძულებზე) და ფრინველებში (მაგ., კივი, სირაქლემა, პინგვინი) ფრთების, გველებში -კიდურების, ჩლიქოსნებში - თითების, მღეიმის ცხოველებში - თვალების, პარაზიტ მცენარეებში - ფოთლებისა და ფესვების დაკარგვა მამოძრავებელი გადარჩევით გამონეული ორგანოთა რედუქციის ნათელი მაგალითებია.

ბუნებაში გადარჩევის ორივე (მასტაბილიზებელი და მამოძრავებელი) ფორმა მუდმივად მოქმედებს. შესაძლებელია დროის ერთ მონაკვეთში ერთი უფრო მეტად მოქმედებდეს, ვიდრე მეორე. მასტაბილიზებელი გადარჩევა კონსერვატორულ როლს ასრულებს, ხოლო მამოძრავებელი კი - პროგრესულს. ისინი კომპლემენტურ მოქმედებას ავლენენ. მასტაბილიზებელი ინახავს და ამაგრებს ეეოლუციურ გარდაქმნებს, რომელიც მამოძრავებელი გადარჩევის შედეგად მიიღება.

დიზრუპტული გადარჩევა. ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმაა, რომელიც იწვევს თვისობრივად განსხვავებული რამდენიმე ფორმის (ფენოტიპური კლასის) არსებობას და მოქმედებს შუალედური ნიშნის (საშუალო მნიშვნელობის) სანინააღმდეგოდ. მას ხშირად დამანაწევრებელ გადარჩევასაც უწოდებენ. გადარჩევის ეს ფორმა გაცილებით იშვიათად გვხვდება, მაგრამ ეეოლუციურ გარდაქმნაში მნიშვნელოვანი როლის შესრულება შეუძლია. იგი მოქმედებს მაშინ, როცა ერთ ტერიტორიაზე გარეეულ საარსებო პირობებში არსებობისათვის ბრძოლაში გენოტიპთა არცერთი ჯგუფი ეერ აღნევს აბსოლუტურ უპირატესობას. გარემო პირობების მერყეობა (მაგ., სეზონური ცვლილებები, კლიმატური ფაქტორები) ხელს უწყობს პოპულაციაში რამდენიმე განსხვავებული ფენოტიპის არსებობას. ამ დროს ერთ პირობებში მიმდინარეობს ერთგვარი ნიშნების, სხვა პირობებში - სხვაგვარი ნიშნების გადარჩევა. პოპულაციაში გადარჩევის ზენოლამ შეიძლება გამოიწვიოს მისთვის დამახასიათებელი საშუალო მაჩვენებლიდან ფენოტიპების გადახრა სხვადასხვა მიმართულებით. შუალედი ფორმების ელიმინაციის შედეგად პოპულაცია რამდენიმე ჯგუფად - სუბპოპულაციად ნანევრდება. თუ სუბპოპულაციებს შორის გენთა ნაკადი გარკვეული მიზეზით შენყდება, თითოეულმა მათგანმა შეიძლება დასაბამი მისცეს ახალ სახეობას. რიგ შემთხვევაში გადარჩეის ეს ფორმა იწვევს ერთ პოპულაციაში რამდენიმე განსხვავებული ფენოტიპის ნარმოქმნას (ე. ი. პოლიმორფიზმის წარმოშობას). პოლიმორფიზმის ყველა შემთხვევა დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედების შედეგია. მისი საბოლოო შედეგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც მამოძრავებელი და მასტაბილიზებელი გადარჩევის ერთდროული და მონაცვლეობითი მოქმედება. დიზრუპტული გადარჩევა მამოძრავებელი გადარჩეის მსგავსად პროგრესულ ფუნქციას ასრულებს.

საილუსტრაციოდ მხოლოდ ერთ კლასიკურ მაგალითს მოვიყვანთ. ბაღის ლოკოკინაში (Cepeae nemoralis) ინდივიდები განსხვავდებიან ნიჟარის შეფერილობით. მათ აქვთ ყვითელი (როდესაც ცხოველი ცოცხალია, მწვანედ გამოიყურება), ვარდისფერი და ყავისფერი (ნარგვარი ელფერით) ნიჟარები. იგი უზოლო ან ზოლიანია (ზოლების რაოდენობა 1-5-ია). განსხვავდებიან ნიჟარის ბაგის შეფერილობით, რომელიც თეთრი, ვარდისფერი ან მუქი ყავისფერია. ყველა ჩამოთვლილი ნიშანი გენეტიკურადაა დეტერმინებული.



სურ. 11.11. ნიჟარის შეფერილობა და ზოლიანობა ბაღის ლოკოკინაში.

ლოკოკინებით ფრინველები (ძირითადად შაშვი) იკვებებიან. ისინი ქვაზე ამტერევენ ნიჟარას და გამოაქვთ შიგთავსი. დამსხვრეული ნიჟარების შესწავლით გამოირკვა, რომ მოქმედებს სელექციური ფაქტორები. მეტწილად ნადგურდებიან ფონისაგან განსხვავებული ინდივიდები. სადაც გარემო ფონი ერთგვაროვანია (მაგ., ბალახი, ტყის საფარი) სელექციური უპირატესობა ყვითელ და ყავისფერ უზოლო ფორმებს აქვთ. ჭრელ ფონზე (მაგ., საძოვრები, სხლტეები) მუქზოლიანი ფორმები იძენენ სელექციურ უპირატესობას. პოპულაციის საარსებო გარემოს ფონი იცვლება წლიური სეზონების მიხედვით. პოლიმორფულ პოპულაციებს ფონით განსხვავებული ადგილები უჭირავთ. მართალია, ფრინველების მიერ ფონისაგან განსხვავებული ინდივიდები განუწყვეტლივ ნადგურდება ვინაიდან არც ერთ მათგანს არ გააჩნია სელექციური უპირატესობა, წლიდან წლამდე განსხვავებულ ფორმათა თანაფარდობა უცვლელია *(სურ. 11.11).*

სქესობრივი გადარჩევა. ბუნებრივ გადარჩევას, რომელიც ცალსქესიან ინდივიდებში მხოლოდ ერთი სქესის ინდივიდებს ეხება, სქესობრივი გადარჩევა ეწოდება. სქესობრივ გადარჩევას ყურადღება მიაქცია ჩ. დარვინმა ,,სახეობათა წარმოშობაში". იგი აღნიშნავს: ,,გადარჩევის ეს ფორმა განისაზღვრება არსებო-

ბისათვის ბრძოლით არა სხვა ორგანიზმების ან გარემო პირობების წინააღმდეგ, არამედ ერთი და იმავე სქესის ინდივიდთა, უპირატესად მამრებს შორის მეორე სქესის ინდივიდთა დაუფლებისათვის. ამის შედეგად ნარუმატებელი მამრი კი არ კვდება, არამედ ხდება მისი შთამომავლობის შეზღუდვა ან სრული შეწყვეტა".

სქესობრივი გადარჩევა ბუნებრივი გადარჩევის კერძო შემთხვევაა, რომელიც მიმდინარეობს პოპულაციის ერთი სქესის ინდივიდებს შორის გამრავლებისა და შთამომაელობის დატოვებისათვის. ჩ.დარვინი გამოყოფდა სქესობრივი გადარჩევის ორ ფორმას. ერთ შემთხვევაში მდედრი პასიური რჩება და ბრძოლა მიმდინარეობს მამრებს შორის მდედრის დასაუფლებლად. ბრძოლაში გამარჯვებული ძლიერი, ჯანსაღი, კარგად განვითარებული მამრი ამ თვისებებს გადასცემს შთამომაელობას. მეორე შემთხვევაში მამრები ერთმანეთს კონკურენციას უნევენ მდედრის მოხიბვლაში. ამ დროს მდედრი აქტიურია და ირჩევს მამრს. ამ შემთხვევაში ძლიერდება მეორეული სასქესო ნიშნები (მამრის მოკაზმულობა, კაშკაშა შეფერილობა და მისთ.).



სურ. 11.12. სქესობრივი დიმორფიზმი კოლხურ ხოხობსა და ლომში.

ზოგჯერ მკვეთრი შეფერილობა, გალობა, სპეციფიკური სუნი და სხვა ისეთი გენოტიპის გადარჩევას ინვევს, რომლებიც გამრაელებას უზრუნველყოფს. მეორე მხრივ, ეს ნიშნები არღვევენ შენიღბვას და აქვეითებს გადარჩენადობას. ამ უარყოფით თვისებებს ზოგჯერ დადებითი მნიშვნელობა აქვს მთელი სახეობისათვის, ვინაიდან სასარგებლო ნიშნების მქონე მამრები ტოვებენ შთამომაელობას და ამით თავისი წელილი შეაქვთ პოპულაციის გენოფონდის ფორმირებაში. სქესობრივი გადარჩევის შედეგია სქესობრივი დიმორფიზმი *(სურ. 11.12)*.

ბუნებრივი გადარჩევის მნიშვნელობა. პოპულაციის განვითარებას მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევა წარმართავს. იგი ბიოლოგიური ევოლუციის ერთადერთი მაორგანიზებელი და წარმმართველი ფაქტორია. ამ პროცესში ბუნებრივი გადარჩევა იყენებს ელემენტარულ ევოლუციურ მასალას მუტაციებს. იგი მოქმედების პროცესში იქვემდებარებს ევოლუციის დანარჩენ ელემენტარულ ფაქტორებს, კერძოდ, მუტაციურ პროცესს, გენთა ნაკადს და გენთა დრეიფს. ამასთანავე, ბუნებრივი გადარჩევა აერთიანებს და ერთიმეორესთან ათანხმებს ყველა ელემენტარული ფაქტორის მოქმედებას. ამდენად იგი მიკროევოლუციის მაკონტროლებელი და მაორგანიზებელი ფაქტორია.

11.9. ადაპტაცია — ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი

ადაპტაცია არის ორგანიზმთა მორფო-ფიზიოლოგიურ, ქცევით, პოპულაციურ და სხვა ნებისმიერ თავისებურებათა ერთობლიობა, რომელიც ხელს უწყობს კონკრეტულ საარსებო გარემოში სახეობის არსებობას. ადაპტაცია ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ყალიბდება. იგი ნიშანდობლივია სიცოცხლის ორგანიზაციის ყველა დონისათვის. ადაპტაცია ყველაზე მკაფიოდ პასიური თავდაცვის საშუალებათა გამომუშავებისას ელინდება. საილუსტრაციოდ რამ-



სურ. 11.13. შეფერილობის სეზონური ცვლილება სიასამურში.



სურ. 11.14. დიზრუპტული შეფერილობა ზებრაში.

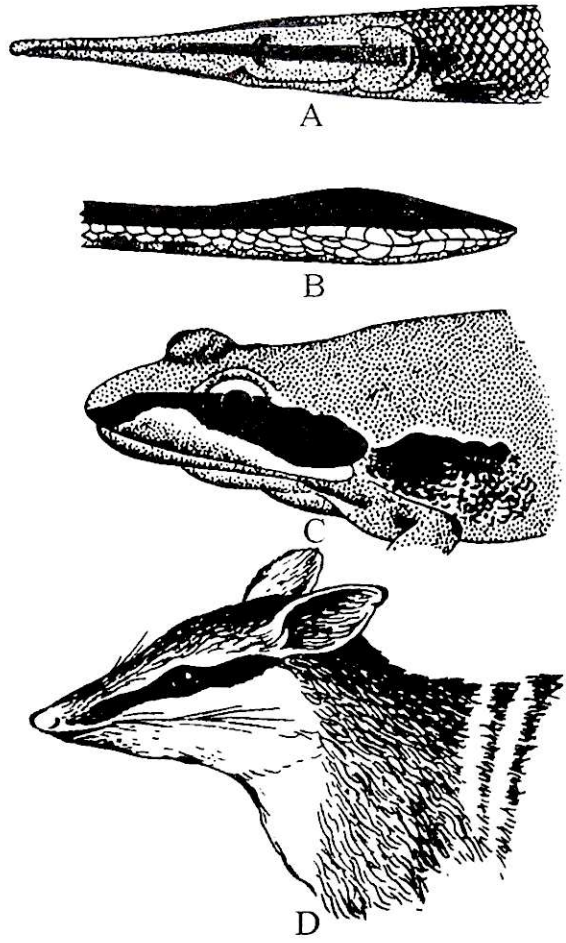
დენიმე სანიმუშო მაგალითს მოვიყვანთ.

მფარველობითი (კრიპტული) შეფერილობა. მფარველობით შეფერილობაში იგულისხმება გარემო ფონთან ორგანიზმის შეფერილობის მსგავსება, რის გამოც ცხოველი ძნელად შესამჩნევი ხდება. იგი პასიური თავდაცვის საშუალებაა. მფარველობითი შეფერილობა ფართოდ არის გავრცელებული ცხოველთა სამყაროში. იგი გამოიყენება მტაცებელთაგან თავდასაცავად. მაგრამ ამგვარი თავდაცვითი ფორმა ხშირად გვხვდება მტაცებლებშიც, რაც ხელს უწყობს შეუმჩნევლად ჩაუსაფრდეს ან მიეპაროს მსხვერპლს. მფარველობითი შეფერილობა ონტოგენეზის ნებისმიერ სტადიას ახასიათებს. ზღვის პლანქტონის მრავალი ცხოველის კვერცხები, ლარვები და ზრდასრული ფორმები გამჭვირვალე და მტრებისათვის შეუმჩნეველია. კვერცხები, რომლებსაც მწერები ფოთლებზე და ყლორტებზე დებენ, მწვანეა, იქედან გასული ლარვებიც მეტწილად მწვანე ფერისაა. ფრინველები, რომლებიც ბუდეს ფარულ ადგილას (სორო, ხის ფუღურო და მისთ.) იშენებენ, კვერცხებს თეთრს დებენ, ხოლო რომლებიც ღია ადგილებში იშენებენ ბუდეს, კვერცხები ნაირგვარი შეფერილობისაა და ეხამება გარემო ფონს. როგორც ბუდე, ისე კვერცხები მტაცებლებისათვის ნაკლებ შესამჩნევია.

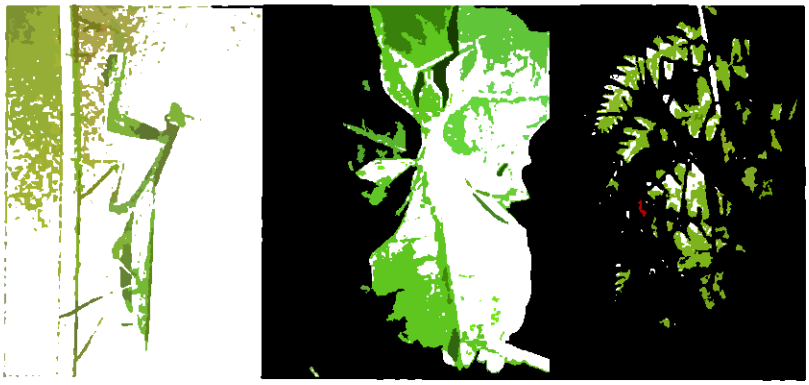
ზრდასრული ცხოველების უმეტესობა ეხამება გარემო ფონს. მწვანე გარემოში მობინადრე ცხოველი უმეტესად მწვანე ფერისაა. მაგალითისათვის შეიძლება დავასახელოთ კუტკალია, მწვანე ჩოქელა, მწვანე ბაყაყი, ვასაკა, მწვანე ხვლიკი, ხის გველი და სხვ. ღამის ცხოველებს აქვთ ოდნავ შესამჩნევი რუხი შეფერილობა (ბუ, ღამურა, ვირთაგვა, თაგვი). უდაბნოს ცხოველები მოყვითალო ან მურა - ყვითელია (მაგ., უდაბნოს კალია, ვარანი, კობრა და სხვ.). პოლარულ მხარეში ცხოველები თეთრად არიან შეფერილნი (თეთრი დათვი, ყარსაღი, თეთრი ბუ და სხვ.). ზოგ ცხოველს (კამბალა, სკაროსი, ქამელეონი....) შეფერილობა მალე ეცვლება გარემო ფონის მიხედვით. ჩრდილოეთის ცხოველებს ახასიათებთ შეფერილობის სეზონური ცვლილება (სიასამური, ყარსაღი, თეთრი კურდღელი, თეთრი გნოლი და სხვ.). მათ ზამთარში თეთრი შეფერილობა აქვთ, სხვა სეზონებში კი არა *(სურ. 11.13)*.

ცხოველთა საერთო შეფერილობას თან ერთვის მოხატულობა (წინწკლები, ზოლები, ხაზები), რის გამოც იგი ფონს მეტად ემსგავსება. მაგ. ღამის პეპლები ხის ქერქზე გარინდულად ყოფნისას მოხატულობით მღიერებს ან დაბზარულ ქერქს ემსგავსებიან და ფრინველებისათვის შეუმჩნეველია.

დანაწევრებითი (დიზრუპტული) შეფერილობა მფარველობითი შეფერილობის ნაირსახეობაა. ცხოველს აქვს კონტრასტული ზოლები ან ხალები (კერძოდ, სხეულზე მუქი და ნათელი უბნები ერთმანეთს ენაცვლება). მკვეთრი ხაზებით თითქოს შემოსაზღვრულია სრულიად განსხვავებული სხეული, რომელიც არაცოცხალ საგნებს ან მცენარეებს ჩამოჰგავს. სხეულის ერთიანი ფორმა გარემო ფონზე იკარგება. ამდაგვარი შეფერილობა ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. იგი ახასიათებს ზოგიერთ მწერს, თევზებს, ამფიბიებს, ქვეწარმავლებს, ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს. მაგალითად ზებრა, ვეფხვი გაშლილ ველზეც კი 50-70 მ-ის მანძილიდან ძნელი შესამჩნევია სხეულზე არსებული ზოლებისა და გარემოს შუქ-ჩრდილების თანხვედრის გამო წარმოადგენს *(სურ. 11.14)*. რიგ



სურ. 11.15. თვალის მუქი ზოლით შენიღბვა. A — თევზი, B — გველი, C — ბაყაყი, D — ჩანთოსანი ჭიანჭველაჭამია.



სურ. 11.16. მიმიზია ბნერებში. A– ჩიქელა ფორმით ემსგავსება მარცვლოვანთა ფოთოლს. B –ფილუმი ემსგავსება ფოთოლს. C –ჩხირულა ემსგავსება ხმელ ტოტს.

შემთხვევაში მარტო ცხოველის კონტურები კი არ ერწყმის გარემოს, არამედ გაძნელებულია ცხოველის სასიცოცხლო მნიშვნელობის ორგანოების გარჩევა. მაგალითად, მრავალ არამონათესავე ცხოველს მსგავსი აქვთ მუქი ზოლებით ან ლაქებით შენიღბული თვალი *(სურ. 11.15)*. დიზრუპტული შეფერილობა ეფექტურია თავდასაცავად გარემოში ადეკვატური ფონის არსებობისას.

გამაფრთხილებელი (აპოსომატური) შეფერილობა. ცხოველს აქვს მკვეთრი, თვალშისაცემი შეფერილობა. იგი ახასიათებს ზოგ ცხოველს, რაც მის საჭმელად უვარგისობაზე ნინასწარ მიანიშნებს. გამაფრთხილებელი შეფერილობა ახასიათებს იმ ცხოველებს, რომლებსაც აქვს მსუსხავი უჯრედები (მრავალი აქტინია), შხამიანი ჯირკლები და ეკლები (ზოგი თევზი და მწერი), შხამიანი სხეული ან ლორნო (სალამანდრა, გომბეშო, ვასაკა, ზოგიერთი შხამიანი გველი, ხვლიკი), არასასიამოვნო სუნის ან მწველი სითხის გამოყოფის უნარი (ზოგიერთი ხოჭოები, ბაღლინჯოები, პეპლები და სხვ.). მაგალითად, ქრაზანას და ბაზს კაშკაშა ყვითელი ზოლები აქვთ, ცნობილია კამკაშად შეფერილი მხამიანი გველებიც.

მიმიკრია. მფარველობითი შეფერილობის ერთ-ერთი ნაირსახეობაა. მიმიკრია არის ერთი სახეობის ცხოველის მიმსგავსება კარგად დაცულ და საჭმელად გამოუსადეგარ არამონათესავე სახეობებთან (მიმეტიზმი) ან არაცოცხალ გარემო საგნებთან და მცენარეებთან (მიმესია). მაგალითად, პეპელა მზომელას მატლი საშიშროების შემთხვევაში ხის ტოტზე იჭიმება და ირინდება და ხის როკს ემსგავსება. ჩიქელა სხეულის ფერითა და ფორმით მარცვლოვანთა ფოთოლს ემსგავსება, ჩიქელა ფილუმი ფოთოლს, ხოლო ჩხირულები ხის ტოტებს ემსგავსებიან *(სურ. 11.16)*.

მიმიკრიის მეორე კერძო შემთხვევაა მიმეტიზმი. თავდაცვის საშუალებებს მოკლებული, უწყინარი ცხოველები საჭმელად გამოუსადეგარ ან კარგად დაცული (აპოსომატური შეფერილობის) გენეტიკურად არამონათესავე სახეობებს ემსგავსებიან. ამ შემთხვევაში, ცხოველი იმიტატორი (საჭმელად ვარგისი ფორმა) გარეგნობით ემსგავსება მეორეს მოდელს (აპოსომატური შეფერილობის ფორმას), რომელსაც შეცდომაში შეჰყავს მესამე პოტენციური მტერი (ოპერატორი).



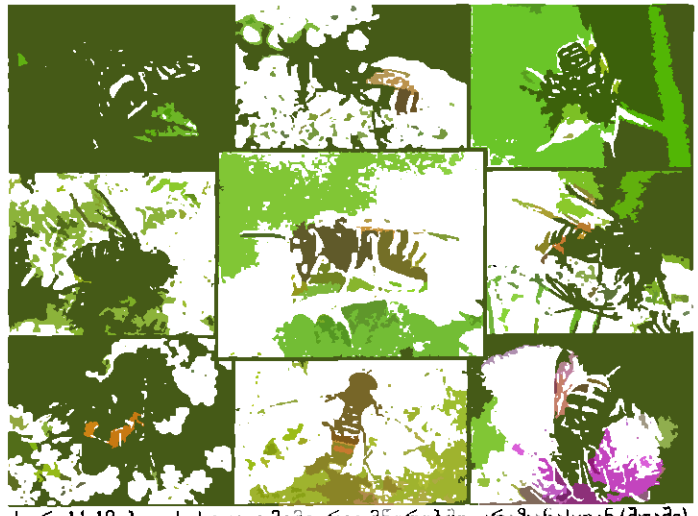
სურ. 11.17. ობობა (Myrmarachne formosa) იმიტირებს ჭიანჭველას.

ცხოველებში გამოყოფენ ორ ძირითად ფორმას: ბეითსისეულ და მიულერისეულ მიმიკრიას. ბეითსის მიმიკრიის დროს (პირველად აღწერა გამოჩენილმა ბუნებისმეტყველმა და მოგზაურმა გ. ბეითსმა). საარსებო გარემოში იმიტატორი (საჭმელად ვარგისი, თავდაცვის საშუალებებს მოკლებული ფორმა) და მოდელი (შხამიანი ან საკვებად გამოუსადეგარი ფორმა) ერთდროულად არიან. მაგალითად, პეპლების ოჯახის პეპლიკონიდების წარმომადგენლებს, რომელთაც აპოსომატური შეფერილობა და არასასიამოვნო სუნი აქვთ, ემსგავსებიან ფრინველებისათვის საჭმელად ვარგისი ამაზონის ველის პეპლები თეთრეულასებრთა ოჯახიდან. კუნძულ შრილანკაზე გავრცელებული ობობა Myrmarachne formosa ბაძავს იმ ჭიანჭველებს, რომლებიც ბუდეს ხის ფოთლებზე იკეთებენ *(იხ. სურ. 11.17)*. ბეითსის მიმიკრია აღწერილია ხერხემლიან ცხოველებშიც. მაგალითად, გუგულის მიმსგავსება მიმინოსთან. უწყინარი ანკარა სიმოფისის (Simophis



სურ. 11.18. ბეითსისეული მიმიკრია: აპოსომატური შეფერილობის მარჯნისფერ ასპიტთან უშხამო ანკარა სიმოფისის (ქვემოთ) მიმსგავსება.

rhinostoma) იმიტირება მარჯნისფერ ასპიტთან (Micrurus frontalis, აღენიშნება მორიგეობით განლაგებული დიდი ზომის ნითელი და პატარა ზომის შავი და ყვითელი ირგვლივი ზოლები) *(სურ. 11.18)*. მაგალითად, უწყინარი უშხამო აფრიკული კვერცხისმჭამელი გველი (Dasypellis scaber), როგორც შეფერვით და ფორმით, ისე მუქარის დემონსტრაციით იმიტირებს მეტად შხამიან გველს ქვიშნარის ეფას (Echis carinata). როდესაც გველი შეშინებულია სხეულის ერთმანეთთან მჭიდროდ მიჯრილ ნახევარრგოლებად კეცავს, გვერდზე განლაგებული ქერცლების ხახუნით გამოსცემს სპეციპიკურ ბგერებს. პეპელა მინაფრთიანა, არა მარტო გარეგნულად ნაგავს კრაზანას, არამედ მუქარის ნიშნად ბზუის კიდეც. ბუზი ჩუხჩუხელა, რომელიც მოხატულობით კრაზანას ასლია, ნინა ფეხებს კრაზანას ულვაშების მსგავსად ამოძრავებს და მასავით ბზუის *(სურ. 11.19)*. მოხატულობით ხმელი ფოთლის მსგავსი მრავალი პეპელა საშიშროებისას მცვივანი ფოთლების მსგავსად ნრიულად მოძრაობს და მინაზე დაყრილ ფოთლებზე ეშვება.



სურ. 11.19. ბეითსისეული მიმიკრია მწერებში. კრაზანასთან (შუაში) ბუზების მიმსგავსება.

ზოგჯერ იმუნური ფორმები ერთმანეთს ბაძავს. ეს მოვლენა პირველად გამოჩენილმა ენტომოლოგმა ფ. მიულერმა აღწერა. მიმიკრიის ამ ფორმას მიულერის მიმიკრიას უწოდებენ. სამხრეთ ამერიკაში გავრცელებული პეპლების სხვადასხვა ოჯახის წარმომადგენლები (Danaidae, Neotropidae, Heliconidae) ერთმანეთს ემსგავსებიან და ისინი ერთად ბინადრობენ. ამ იმუნური პეპლების ურთიერთმიბაძვით მიმიკრიის რგოლები წარმოიქმნება. ფრინველები იმუნურ ფორმებს საკუთარი გამოცდილების საფუძველზე ცნობენ. პეპლების გარკვეული ნაწილი ახალგაზრდა ან გამოუცდელი ფრინველების მსხვერპლი ხდება. პეპლების ეს რაოდენობა სხვადასხვა სახეობის პოპულაციათა შორის ნაწილდება, რის გამოც ამა თუ იმ სახეობის ინდივიდთა ელიმინაცია მცირდება *(სურ. 11.20)*.



სურ. 11.20. მიულერისეული მიმიკრია. სამხრეთ ამერიკაში გავრცელებული პეპლების სხვადასხვა ოჯახის (Danaidae, Neotropidae, Heliconidae) არასასიამოვნო სუნისა და გემოს მქონე სახეობები ერთმანეთს ბაძავენ.

მცენარეებში მიმიკრია ძირითადად საარგებლო ცხოველთა მიზიდვასა და მავნე ცხოველთა დაშინებას ემსახურება. მაგალითად, ჭინჭარს (მოდელი) ძლიერ ემსგავსება სრულიად სხვა ოჯახში გაერთიანებული ჭინჭრის დედა (იმიტატორი). ზოგიერთი მცენარე (იმიტატორი) მხოლოდ გარკვეული ორგანოთი ემსგავსება სხვა მცენარეებს (მოდელს) და ამით ატყუებს ცხოველებს. მაგალითად, უნექტრო ყვავილები ემსგავსება ნექტრიანებს და მწერებს დასამტვერად იზიდავს. ჯადვარის ყვაეილი ემსგავსება მდედრ ფუტკარსა და კრაზანას და მამრ ინდივიდს იზიდავს. ზოგიერთი მწერიჭამია მცენარის ფოთოლი ყვაეილს ბაძავს ფორმით და გამოყოფს სურნელოვან მწებვარე ნივთიერებას (მაგ., დროზერა, ვენერას ბუზიჭერია).

ადაპტაციის წარმოქმნის მექანიზმი. ორგანიზმის, პოპულაციის, სახეობისა და ეკოსისტემის მიერ ევოლუციის პროცესში შეძენილი ყველა თავისებურება ამა თუ იმ სახის ადაპტაციას წარმოადგენს. ადაპტაცია გულისხმობს საარსებო გარემოსადმი ორგანიზმების (მათ შორის პოპულაციების, სახეობების) სრულ ჰარმონიას; ასევე სპეციალურ თვისებების ჩამოყალიბებას, რითაც კონკრეტულ გარემოში მიიღწევა ორგანიზმის სიცოცხლის შენარჩუნება და წარმატებული გამრავლება. სხვადასხვა საარსებო გარემოში ორგანიზმის ნიშან-თვისების გამოვლენის ხარისხი გარკვეულ (რეაქციის ნორმის) ფარგლებში იცვლება. ასე მაგალითად, ფოთლის ფირფიტის ფორმის ცვლილება წყლის მცენარეებში (ისარა, წყლის ბაია და მისთ.); სეზონური დიმორფიზმი ცხოველებში და სხე. ეს უნარი ორგანიზმებმა ისტორიული განვითარების პროცესში შეიძინეს და

მათ მემკვიდრული აპარატი (გენოტიპი) აკონტროლებს. ადაპტაციის წარმოშობის აუცილებელი წინა პირობაა მემკვიდრული ცვალებადობის არსებობა. იგი უნდა დაექვემდებაროს ევოლუციის ფაქტორების, უპირველეს ყოვლისა, ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებას. იგი იწვევს პოპულაციაში სასარგებლო გენების შემცველი გენოტიპების ფორმირებას და სპეციალიზებული ნიშანის ჩამოყალიბებას. როდესაც ნიშანი მამოძრავებელი გადარჩევის მოქმედებით მიესადაგება საარსებო გარემოს, მასზე მოქმედებას იწყებს მასტაბილიზებელი გადარჩევა და პოპულაციაში მისი შენარჩუნება ხდება. როდესაც ნიშანი სელექციურ მნიშვნელობას კარგავს, ე. ი. არ ექვემდებარება მამოძრავებელი, მასტაბილიზებელი ან დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედებას, იგი რედუცირდება და ქრება. ამრიგად, ადაპტაციის ჩამოყალიბება და მისი სრულყოფა ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ხორციელდება.

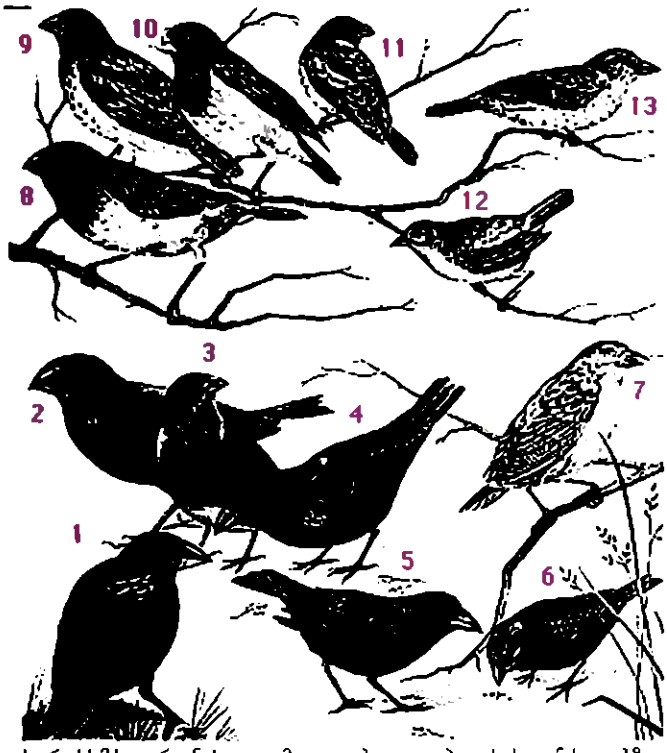
ადაპტაციის ფარდობითი ხასიათი. ნებისმიერი ადაპტაცია კონკრეტული საარსებო პირობებისათვის ყალიბდება. იგი უზრუნველყოფს ინდივიდის გადარჩენას და შთამომავლობის დატოვებას მხოლოდ იმ კონკრეტულ პირობებში, რომლებშიც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორების ზემოქმედებით ყალიბდება. ამდენად ნებისმიერი ადაპტაცია ფარდობით ხასიათს იძენს. გარკვეული კონკრეტული პირობებისადმი ჩამოყალიბებული ადაპტაცია, სხვა პირობებში არა მარტო უსარგებლოა, არამედ საზიანოც შეიძლება აღმოჩნდეს. ასე მაგალითად, სწრაფად მცურავი თევზების თითისტარისებრი ფორმა და ლაყუჩებით სუნთქვა სრულყოფილად აგუებს ცხოველს ნყლიან გარემოს, იგიეე სამარჯვეები სრულიად გამოუსადეგარია ხმელეთზე არსებობისათვის. ნამგალასა და მერცხალს გააჩნიათ გრძელი ფრთები და კარგად არიან ადაპტირებული ჰაერში ფრენასა და სარჩოს მოპოვებასთან. მაგრამ მიწაზე ისინი სავსებით უსუსურნი არიან. სეზონური დიმორფიზმის მფლობელი ცხოველი (თეთრი კურდღელი, თეთრი გნოლი, ყარსაღი და სხვ.) თოვლზე შეუმჩნეველია, თუ თოვლი ადრე არ მოვიდა, მაშინ თეთრი შეფერილობა მათ ააშკარავებს. ადაპტაცია იმ კონკრეტული საარსებო პირობებისთვისაც კი, რომელშიაც ის არის ჩამოყალიბებული შეფარდებითი ხასიათისაა. ასე მაგალითად, კუს ჯავშანი ეფექტურად იცავს ზოგიერთი თავდამსხმელისაგან, მაგრამ არაეფექტურია მტაცებელი ფრინველების წინააღმდეგ. მტაცებელი ფრინველი ბრჭყალებით იტაცებს ცხოველს, ააქვს ჰაერში და ჩამოაგდებს. ბაკანი სკდება, სხეული შიშველდება და ფრინველისთვის საჭმელად ხელმისაწვდომი ხდება. მრავალი ფრინველი მფარველობითი შეფერილობით საიმედოდ ეხმარება ფონს, მაგრამ სუნი ააშკარავებს და მტაცებლის მსხვერპლი ხდება. ჭინჭარს მსუსხაიე ბუსუსები საიმედოდ იცავს ზოგიერთი ცხოველისაგან (ლოკოკინა, ლოქორა და მისთ), მაგრამ საკვებად იყენებს პეპელა მეჭინჭრიას მუხლუხი. მრავალი ცხოველი არ ეტანება ეკლიან მცენარეს, მაგრამ ზოგიერთი ცხოველი მათ საკვებად იყენებს (მაგალითად, აქლემი იკვებება ცერცეეკალათი). ფარდობითია თავდაცვითი შეფერილობა, მიმიკრიის მოვლენა. მრავალი ფრინველი არ ეტანება მოხატულობით ფუტკრისა და კრაზანას მსგავს მწერებს, მაგრამ ზოგი ფრინველი (მაგ., კეირიონი) კენკავს ფუტკარსა და კრაზანას, ასევე მის მსგავს მწერებსაც. ადაპტაციოგენეზში ზოგჯერ ორგანიზმებს რეციპროკული ადაპტაციები უყალიბდებათ. ზოგიერთ ფორმაში თავდაცვითი თავისებურებების გამომუშავება, პოტენციურ მომხმარებლებში საპირისპირო სამარჯვეების ჩამოყალიბებას იწვევს, რითაც თავდაცვითი შეგუების ეფექტი ნეიტრალდება ან უკიდურესად ქვეითდება. ზოგიერთი რძიანა მცენარე შეიცავს ტოქსინს, რის გამოც მრავალი ცხოველი არ ეტანება, მაგრამ ზოგიერთი პეპლის მუხლუხის (დანაიდა, სფინქსი...) ძირითადი საკვებია. შხამიანი გველით იკვებება ზოგიერთი ცხოველი (მანგუსტი, გველიჭამია არწივი, ფრინველმდივანი და მისთ.). უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი გველისმჭამელი ცხოველი შხამისადმი იმუნურია. ადაპტაცია ფარდობითია, რადგან ჩნდება სახეობის არსებობის განსაზღვრულ საფეხურზე და შემდგომ ევოლუირებს და მისი გასრულყოფილება ხდება. ადაპტაციას გარკვეული საზღვრები გააჩნია. ორგანულ სამყაროში ერთ ერთი ადაპტაცია აბსოლუტურ სრულყოფილებას ვერ აღწევს. ამრიგად, იგი ყოველთვის ფარდობით ხასიათს ატარებს.

11.10. სახეობათა წარმოქმნა

საწყისი სახეობიდან ერთი ან რამდენიმე ახალი სახეობის წარმოქმნის პროცესს სახეობათა წარმოქმნა ეწოდება. სახეობათა წარმოქმნა მიკროევოლუციის საბოლოო შედეგია. იგი სახეობის შიგნით პოპულაციების დიფერენცირებით იწყება, რომელებიც დივერგენციის შედეგად ახალ სახეობებად გარდაიქმნებიან. ამჟამად გამოყოფენ სახეობათა წარმოშობის ორ ძირითად გზას: ალოპატრიულს და სიმპატრიულს.

სახეობათა ალოპატრიული წარმოქმნა. სახეობათა ალოპატრიული (allos — სხვა, patris — სამშობლო) წარმოქმნა ეწოდება სივრცობრივად იზოლირებულ პოპულაციების სახეობად დიფერენციაციას. სახეობათა წარმოქმნა სხვადასხვა ტერიტორიაზე არის ყველაზე ბუნებრივი და გავრცელებული გზა. ალოპატრიული გზით სახეობათა წარმოშობის მნიშვნელოვანი არგუმენტია გალაპაგოსის არქიპელაგზე გავრცელებული დარვინისეული მთიულების სახეობები. კონტინენტიდან შემთხვევით მოხვედრილი ფრინველთა მცირე ჯგუფი გამრავლდა და სხვადასხვა კუნძულზე განსახლდა. სივრცობრივად იზოლირებულ ჯგუფების კონკრეტულ საარსებო გარემოსთან (კერძოდ, საკვებისადმი) შეგუებამ ახალ სახეობათა ჩამოყალიბება გამოიწვია ***(სურ. 11.21)***.

ახალი სახეობის ჩამოყალიბების ერთ-ერთი ხერხი დაკავშირებულია არეალის იზოლირებულ ნანილებად დაყოფასთან. საწყისი, ფართო გავრცელების სახეობის ფრაგმენტაციის შედეგად შეიძლება ორი ან მეტი ახალი სახეობა ჩამოყალიბდეს. ამ გზით წარმოიშვა შროშანას გვარში (Convallaria) გაერთიანებული სახეობები. საწყისი სახეობა გავრცელებული იყო ევრაზიის ფოთლოვან ტყეში და დიდი არეალი ეჭირა. მეოთხეულ

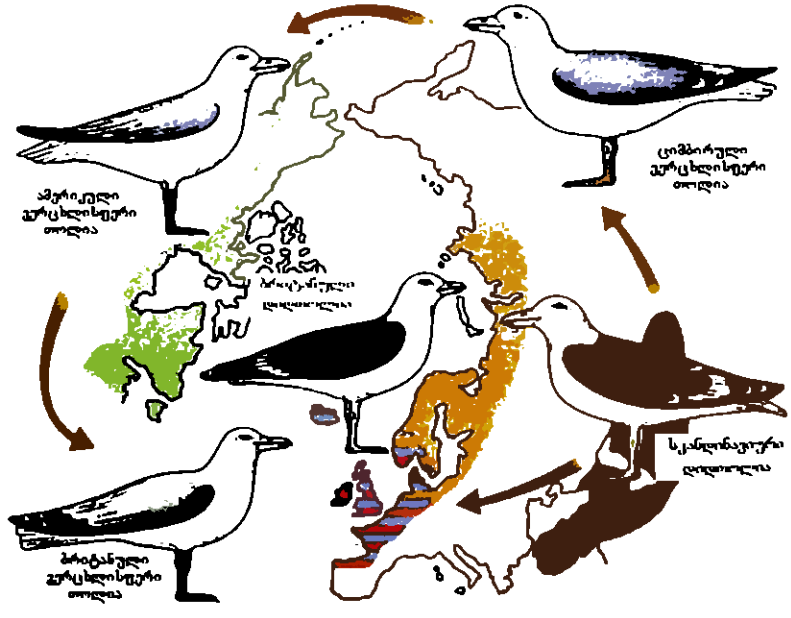


სურ. 11.21. დარვინისეული მთიულები. გალაპაგოსის კუნძულებზე გავრცელებული ენდემური 13 სახეობის მთიულა, რომელიც სამ გვარშია გაერთიანებული: 1. მინის მთიულები (1-6). 2. მგალობელი მთიულა (7). 3. მეხუთური მთიულები (8-13).სახეობები განსხვავდებიან ნისკატის ფორმითა და ზომით რაც კვებითმა სპეციალიზაციამ გამოიწვია.

პერიოდში გამყინვარების შედეგად არეალი ნაწილებად დაიყო. მცენარე შემორჩა ამიერკავკასიის, სამხრეთ ევროპისა და შორეული აღმოსავლეთის ტყიან ზოლში. ცალკეულ ტერიტორიაზე გადარჩენილი ფორმებიდან სამი დამოკიდებული სახეობა ჩამოყალიბდა, ევროპაში C. majalis, ამიერკავკასიაში C. trauscavcasica, შორეულ აღმოსავლეთში კი C. keiskii.

სახეობის ჩამოყალიბების მეორე ხერხი დაკავშირებულია საწყისი სახეობის არეალის გაფართოებასთან. არეალის გაფართოების დროს სახეობის პოპულაციები ახალ საარსებო გარემოში აღმოჩნდებიან. შემდგომ მიკროევოლუციურმა პროცესმა შეიძლება ახალი სახეობის ნარმოქმნა გამოიწვიოს. ბალტიისა და ჩრდილოეთის ზღვების სანაპიროზე გავრცელებულია თოლიას ორი სახეობა: ვერცხლისფერი თოლია (Larus argentatus) და დიდთოლია (L.fuscus) *(სურ. 11.22)*. ეს ორი სახეობა ერთმანეთს უკავშირდება ქვესახეობებით ნარმოქმნილი უწყვეტი რგოლებით. ისინი, ერთი მხრივ, გეხედება ჩრდილო ევრაზიაში, მეორე მხრივ გრენლანდიასა და ჩრდილოეთ ამერიკაში. ზემოთ დასახელებული სახეობების ნარმოშობის ისტორია შემდეგია. ამ თოლიების წინაპარი რამდენიმე ათასი წლის წინათ ბერინგის სრუტესთან ბინადრობდა. იგი განსახლდა აღმოსაელეთით და დასაელეთით. ჩამოყალიბდა ქვესახეობებისაგან შემდგარი ორი უწყვეტი ჯაჭვი. ყველა მეზობელ ქვესახეობაში გაერთიანებული ინდივიდები ერთმანეთს ეჯვარებიან და ფერტილურ შთამომაელობას იძლევიან. ბალტიისა და ჩრდილოეთი ზღვის რაიონში აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ჯაჭვის კიდურა ქვესახეობის რგოლები ერთმანეთს შეხვდნენ. მიკროევოლუციის პროცესში ცალკეულ ქვესახეობებში ბიოლოგიურ განსხვავებათა დაგროვება საკმარისი აღმოჩნდა ორი დამოუკიდებელი სახეობის ჩამოსაყალიბებლად. თუ ორი სახეობის დამაკავშირებელი რომელიმე რგოლი განყდა, მაშინ ორი, სრულიად დამოუკიდებელი სახეობა ჩამოყალიბდება.

სახეობათა ალოპატრულ წარმოქმნას სიერცობრივი იზოლაციის ესა თუ ის ფორმა უძევს საფუძვლად. იგი შედარებით ნელა, ასეულ ათას თაობათა განმავლობაში მიმდინარეობს. დროის ასეთ დიდ შუალედში იზოლირებულ პოპულაციათა შორის ისეთი ბიოლოგიური ცვლილე-



სურ. 11.22. დიდი თოლიების ქვესახეობების უწყვეტი რგოლები. ვერცხლისფერი თოლია (Larus argentatus) და დიდთოლია (L.fuscus). გამოყოფილია ცალკეულ ქვესახეობათა არეალი. ჩრდილო-დასაელეთ ევროპაში ჯაჭვის კიდურა ნევრები ერთმანეთს ხვდება, მაგრამ არ ეჯვარებიან. ისრებით ნაჩვენებია განსახლების ისტორიული გზა.

ბები ყალიბდება, რაც მათ რეპროდუქციულ იზოლაციას იწვევს. სახეობათა ალოპატრული წარმოქმნა ყოველთვის სახეობრიული არეალის ფორმირებასთან არის დაკავშირებული.

სახეობათა სიმპატრიული წარმოქმნა. სახეობათა სიმპატრიული (syn — ერთად, patris — სამშობლო) წარმოქმნის დროს ახალი სახეობის ჩამოყალიბების პროცესი ძველი სახეობის არეალში მიმდინარეობს. იგი რამდენიმე გზით შეიძლება განხორციელდეს. პირველი მათგანი დაკავშირებულია უეცარ გარდაქმნასთან (ე.წ.სახეობათა მყისიერი წარმოქმნა). იგი აეტოპოლიპლოიდიის დროს ხდება. სახეობათა ამგვარი წარმოქმნა ძირითადად მცენარეებისთვისაა დამახასიათებელი. მცენარეთა ზოგიერთ გვარში გაერთიანებული სახეობები ქრომოსომათა ჯერადი რიცხვით განსხვავდებიან. იგი საწყის სახეობაში მომხდარი ქრომოსომათა რიცხვის პროპორციულად გადიდების შედეგია. ასეთ გვარებში გაერთიანებული სახეობები პოლიპლოიდურ რიგს ქმნიან. ძაღლყურძენას (Solanum) გვარში ქრომოსომათა ჰაპლოიდური კომპლექტი არის n=6. პოლიპლოიდური რიგი ნარმოდგენილია 12, 24, 36, 48, 60.....146 ქრომოსომიანი სახეობებით. ბუნებრივი პოლიპლოიდური რიგები გვხედება ვარდის, მარწყვის, ჭანგას, შერიის და სხვ. გვარში *(სურ. 11.23)*.

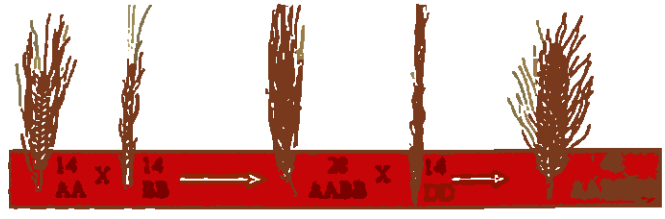


სურ. 11.23. გვარ ვარდში (Rosa) გაერთიანებული ასკილის დიპლოიდური (2n=14) და ტეტრაპლოიდური (2n=28) სახეობა.

პოლიპლოიდური ინდივიდები მეტწილად დიდი ზომისაა. რეპროდუქციულად იზოლირებული არიან საწყისი დიპლოიდი სახეობისაგან. ადვილად ეგუებიან მკაცრ საარსებო პირობებს. არქტიკისა და მაღალმთიანი რაიონების ფლორა მდიდარია პოლიპლოიდი ფორმებით. ცხოველთა სახეობათა წარმოქმნაში პოლიპლოიდების როლი უმნიშვნელოა.

მეორე არის სახეობათა ჰიბრიდოგენური წარმოქმნა. იგი მცენარეებისთვისაა დამახასიათებელი, რომელიც განსხვავებული სახეობების შეჯვარების გზით წარმოქმნილ ჰიბრიდებში, ქრომოსომათა რიცხვის გაორმაგებით (ე. წ. ალოპოლიპლოიდია) ხორციელდება (იხ. თავი 7, მუტაციური ცვალებადობა). ზოგიერთი მეცნიერის მოსაზრებით მცენარეთა სახეობების 50%-ზე მეტი ჰიბრიდოგენული (ალოპლოიდები) გზითაა ჩამოყალიბებული. გვარ ხორბალში (Triticum) გაერთიანებული პოლიპლოიდური რიგი წარმოდგენილია 14, 28 და 42 ქრომოსომიანი სახეობებით. ტეტრაპლოიდ და ჰექსაპლოიდ სახეობებში ცალმარცვალა ხორბლისა და ეგილოფსის გენომებია გაორმაგებული *(სურ. 11.24)*. ასევე კულტურული ქლიავი (Prunus domenstica, 2n=48) წარმოიშვა კვრინჩხის (P.spinosa, 2n=32) და ალუჩის (P.divericata, 2n=16) ჰიბრიდიზაციისა და შემდგომ ქრომოსომათა გაორმაგების შედეგად.

სეზონური იზოლაციის შედეგად ახალ სახეობათა წარმოქმნა არის სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნის მესამე გზა. მცენარეებში ცნობილია მკვეთრად გამოხატული გენეტიკურად დეტერმინირებული ფენოლოგიური რასები. ეს მოვლენა კარგად არის შესწავლილი მცენარე ხრიალაზე (Alectorolophus major) დაკვირვების გზით *(სურ. 11.5)*. იგი ყამირ მდელოზე მთელი ზაფხულის განმავლობაში ყვავილობს. პოპულაციაში გვხვდება ადრე და გვიანმოყვავილე ფორმები. ეს ნიშანი გენეტიკურად არის დეტერმინირებული. ისინი საწყის ფორმებადაა მიჩნეული. სათიბ მდელოზე ადამიანის უნებური მოქმედებით (გათიბვა) შენარჩუნებულ იქნა ადრემოყვავილე ინდივიდები, საიდანაც ჩამოყალიბდა ადრემოყვავილე ფორმა (Al.m.aestivalis), მას შემდეგ, რაც წელინადში მდელოს ორჯერ გათიბვა დაიწყეს, ეს უკანასკნელი თავის მხრივ ორ ფორმად გაიყო: საადრეო საზაფხულო ფორმად (Al.m.vernalis) და საგვიანო საზაფხულო ფორმად (Al.m.polycladus). ისინი ერთმანეთისაგან რეპროდუქციულად იზოლირებულნი არიან. ამრიგად, ხრიალაში ერთი ფორმიდან გადარჩევის შედეგად რამდენიმე ფორმა ჩამოყალიბდა. თუ გადარჩევის პირობები შენარჩუნებული იქნება, მაშინ შესაძლებელია



სურ. 11.24. ხორბალში (გვარი Triticum) სახეობათა ჩამოყალიბება ალოპლოიდიის გზით. დიპლოიდი (2n=14) ცალმარცვალა ხორბალი (T. monococcum; გენომი AA) ბუნებრივ პირობებში შეეჯვარა ველურ მარცვლოვანს — ეგილოპსს (Aegilops speltoides; გენომი BB) და ინდუცირდა ხორბლის ტეტრაპლოიდი (2n=28) სახეობები. ტეტრაპლოიდ ხორბალს ბუნებრივ პირობებში კვლავ შეეჯვარა ეგილოპსის სრულიად სხვა სახეობა (A.squarosa; 2n=14; გენომი DD) და ჩამოყალიბდა ჰექსაპლოიდი (2n=42) ხორბლები. ჰექსაპლოიდი ხორბლის სახეობები მხოლოდ წინააზიურ ცენტრში ნარმოიშვა.

თითოეული მათგანისგან ახალი სახეობები ჩამოყალიბდეს.

საგაზაფხულო და საშემოდგომო ფორმები გეხვდება ცხოველებშიც (ზოგიერთი მწერი, სალამურა, თევზი და სხვ.). ეს ფორმები მორფოლოგიურად მსგავსია, გენეტიკურად კი განსხვავდებიან. სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნისათვის დამახასიათებელია ძველი სახეობიდან მორფოფიზიოლოგიურად მსგავსი ახალი სახეობების წარმოქმნა.

მაკროევოლუციის კანონზომიერებანი

მიკროევოლუციის კანონზომიერებების განხილვის შემდეგ მოკლედ გავეცნოთ იმ ძირითად პროცესებსა და მოვლენებს, რომლებიც ზესახეობრივ კატეგორიებში მიმდინარეობს. ზესახეობრივი დონის ევოლუციური პროცესებისა და მოელენების ერთობლიობას **მაკროევოლუცია** ეწოდება. მიკროევოლუციის პროცესი ინვევს პოპულაციების დივერგენციას, რომელიც ახალ სახეობათა წარმოქმნით მთავრდება. ახლად ფორმირებულ სახეობებში ეს პროცესი როდი წყდება, არამედ შეუჩერებლად აგრძელებს მოქმედებას მაკროევოლუციის დონეზე. ახლად წარმოქმნილ სახეობათა შორის ირღვევა შეჯვარების პროცესი, რაც გამორიცხავს განსხვავებათა ნიველირებას. მაკროევოლუცია განაპირობებს სახეობაზე მაღალი რანგის ორგანიზმთა ახალი დიდი ჯგუფების ჩამოყალიბებას და მათ ფილოგენეზურ გარდაქმნას.

მაკროევოლუცია ელინდება როგორც მთელი ორგანიზმების, ისე მათი ცალკეული ნაწილების აგებულების გარდაქმნაში. იგი მიმდინარეობს გრანდიოზულ პერიოდში. მაგ., ახალი ოჯახებისა და რიგების წარმოქმნა მოიცავს ათეულობით მილიონ წელს, რაც გამორიცხავს ექსპერიმენტული შესწავლის შესაძლებლობას. მაკროევოლუციის შესასწავლად ძირითადად პალეონტოლოგიაში, ბიოგეოგრაფიასა და მორფოფიზიოლოგიაში დამუშავებულ აღწერილობით მეთოდებს იყენებენ. ბოლო პერიოდში მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდებიც დაინერგა (დნმ-ისა და ზოგიერთი ცილის სტრუქტურის შედარება). მაკროევოლუციას საფუძვლად უდევს იგივე ფაქტორები და პროცესები, რაც მიკროევოლუციას. ამდენად, არ შეიძლება მათი მკვეთრი გამიჯვნა და დაპირისპირება.

11.11. მაკროევოლუციის დამამტკიცებელი არგუმენტები

ბიოლოგიის დარგებში (ბოტანიკა, ზოოლოგია, ემბრიოლოგია, პალეონტოლოგია, გენეტიკა, უჯრედული და მოლეკულური ბიოლოგია და სხვ.). მრავალი ფაქტობრივი მასალა დაგროვდა, რომლითაც ორგანული სამყაროს განვითარება და მაკროევოლუციის მიმდინარეობა საბუთდება.

მოლეკულური ბიოლოგიის არგუმენტები. ყველა ორგანიზმი, ბაქტერია იქნება ის თუ სოკო, მცენარე ან ცხოველი, ქიმიური შედგენილობით მსგავსია. ეს ორგანული სამყაროს ევოლუციური განვითარების ერთიანობას მოწმობს. სიცოცხლის ორგანიზაციის მოლეკულური დონის ორგანიზაციასა და შენარჩუნებაში გადამწყვეტ როლს ნუკლეინის მჟავები და ცილები ასრულებენ. მცენარეებსა და ცხოველებში ქიმიური შედგენილობის ერთიანობა მტკიცდება ქლოროფილის (მცენარეები), ჰემოგლობინის (ხერხემლიანები), ჰემოციანინის (უხერხემლოები) აგებულების მსგავსებით. როგორც არაუჯრედულ, ისე უჯრედულ ფორმებში მემკვიდრულ ინფორმაციას ნუკლეინის მჟავები (ძირითადად დნმ, ზოგიერთ ვირუსში რნმ) ფლობს. ყველა ცოცხალ სისტემაში მემკვიდრეობის ერთეული არის გენი და ერთიანი გენეტიკური კოდი ფუნქციონირებს. გენში კოდირებული ინფორმაციის მიხედვით ხორციელდება ცილის სინთეზი. ცოცხალ სისტემებში ასევე მსგავსია ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლის ძირითადი პროცესები (გლიკოლიზი, ჟანგბადიანი ცვლა და მისთ.). გენები და მათ მიერ კოდირებული ცილები ჰომოლოგიურია ე. ი. საერთო წინაპრისგან არიან წარმოშობილი.

უჯრედულ ბიოლოგიაში (ციტოლოგიაში) მოპოვებულია მრავალი არგუმენტი, რომელიც ორგანული სამყაროს ევოლუციასა და მის ერთიან წარმოშობას ასაბუთებს. დიდი მრავალფეროვნების მიუხედავად ყველა უჯრედი მსგავსი აგებულებისაა. განვითარების ნებისმიერ დონეზე მყოფ ორგანიზმთა უჯრედის პლაზმურ მემბრანაში ნივთიერებათა ტრანსპორტი მსგავსად მიმდინარეობს. პროკარიოტული უჯრედიდან ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბდა ეუკარიოტული უჯრედი. ნებისმიერ ეუკარიოტში მიტოზი და მეიოზი მსგავსი ზოგადი პრინციპით მიმდინარეობს. (ამ საკითხებს მე-4 და მე-6 თავში თქვენ უკვე გაეცანით და მასზე აღარ შევჩერდებით).

არგუმენტები შედარებითი ემბრიოლოგიიდან. XIX ს. მეორე ნახევარში ჯერ კიდევ კ. ბერმა შენიშნა, რომ ხერხემლიანების ჩანასახები განვითარების ადრეულ ეტაპებზე ერთმანეთის მსგავსია. უმდაბლეს ფორმათა ნიშნების გამოვლენა მაღალი ორგანიზაციის ორგანიზმთა ონტოგენეზში ჯერ კიდევ ჩ. დარვინამდე იყო ცნობილი. მხოლოდ ჩ.დარვინმა შეძლო განემარტა ეს მოვლენა და განიხილა იგი, როგორც წინაპრული ნიშნების განმეორება. რეკაპიტულაცია განაპირობებს ერთი და იმავე ტიპის ფარგლებში სხვადასხვა ცხოველის ემბრიონთა მსგავსებას (ჩ .დარვინი, ფ. მიულერი). ჩანასახების მსგავსების საფუძველზე ჩ დარვინმა და ე.ჰეკელმა გამოიტანეს დასკვნა: ონტოგენეზის პროცესში მიმდინარეობს წინაპრული ნიშნების გამეორება (რეკაპიტულაცია). ეს მოვლენა ბიოგენეზური ანუ რეკაპიტულაციის კანონის სახით ჩამოაყალიბა ე. ჰეკელმა (1866). ამ კანონის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ცალკეული ინდივიდის განვითარება (ონტოგენეზი) არის სახეობის ისტორიული განვითარების (ფილოგენეზის) უმთავრესი ეტაპების მოკლე და სწრაფი განმეორება – რეკაპიტულაცია.

განვითარების ადრეულ ეტაპზე ვლინდება ძლიერ შორეული წინაპრული ნიშნები, ხოლო განვითარების უფრო გვიან სტადიაზე კი შედარებით ახლო მონათესავე წინაპრის ნიშნები. ყველა მრავალუჯრედიანი ორგანიზმი გადის ერთი უჯრედის სტადიას (ზიგოტა ან სპორა). იგი მრავალუჯრედიანების ერთუჯრედიანე-

ბიდან წარმოშობის მიმანიშნებელია. მრავალუჯრედიანი ცხოველები გადიან ადრეთვე ერთშრიანი უჯრედებისაგან წარმოქმნილ სფერულ (ბლასტულის) სტადიას. იგი აგებულებით ზოგიერთ თანამედროვე კოლონიურ ორგანიზმს (მაგ., ეოლეოქსს) ჩამოჰგავს. ცხოველებში განვითარების შემდგომი სტადია (გასტრულა) ორშრიან ტოპრაკს ან სფეროს ჩამოჰგავს. აგებულებით თანამედროვე ნაწლავღრუიანებს (მაგ., .ჰიდრა) შეესაბამებიან. ყველა ხერხემლიან ცხოველს განვითარების ადრეულ სტადიაზე გააჩნიათ ქორდა. მიაჩნიათ, რომ მათ წინაპარ ცხოველებს ქორდა მთელი ონტოგენეზის მანძილზე აღენიშნებოდათ.

ანალოგიური კანონზომიერებები შეიმჩნევა ადამიანის ემბრიონულ განვითარებაშიც. ადამიანის ჩანასახი განვითარების ადრეულ სტადიებზე ჰგავს თევზის, ამფიბიის, ქვეწარმავლის ჩანასახებს. შედარებით გვიან სტადიებზე კი — ძუძუმწოვრებს. ყველაზე გვიან სტადიაზე ადამიანის მსგავს მაიმუნების ნაყოფს *(სურ. 11.25)*.



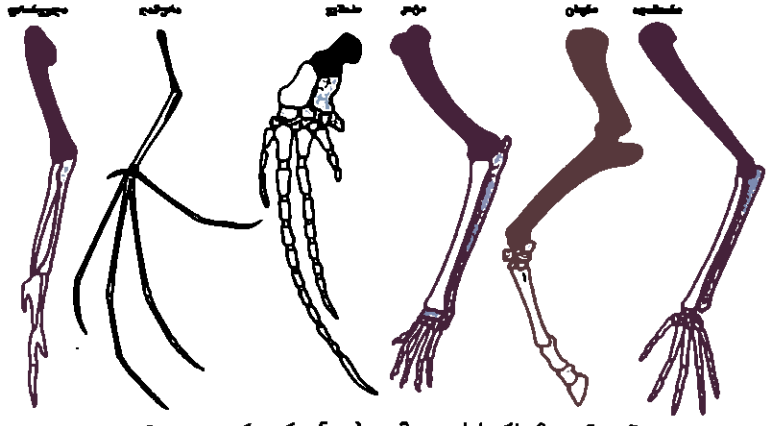
სურ. 11.25. ხერხემლიან ცხოველთა ჩანასახის განვითარება. 1. თევზი. 2. ამფიბია. 3. ქვეწარმავალი. 4. ძუძუმწოვარი (ვირთაგვა). 5. ადამიანი.

შედარებითი ანატომიის არგუმენტები. ხერხემლიან ცხოველებს (თევზები, ამფიბიები, ქვეწარმავლები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები) აგებულების ერთიანი გეგმა აქვთ. იგი ყველა ხერხემლიანის მონოფილეტურ ევოლუციურ წარმოშობაზე მიუთითებს (დამატებით იხ. ბიომრავალფეროვნება).

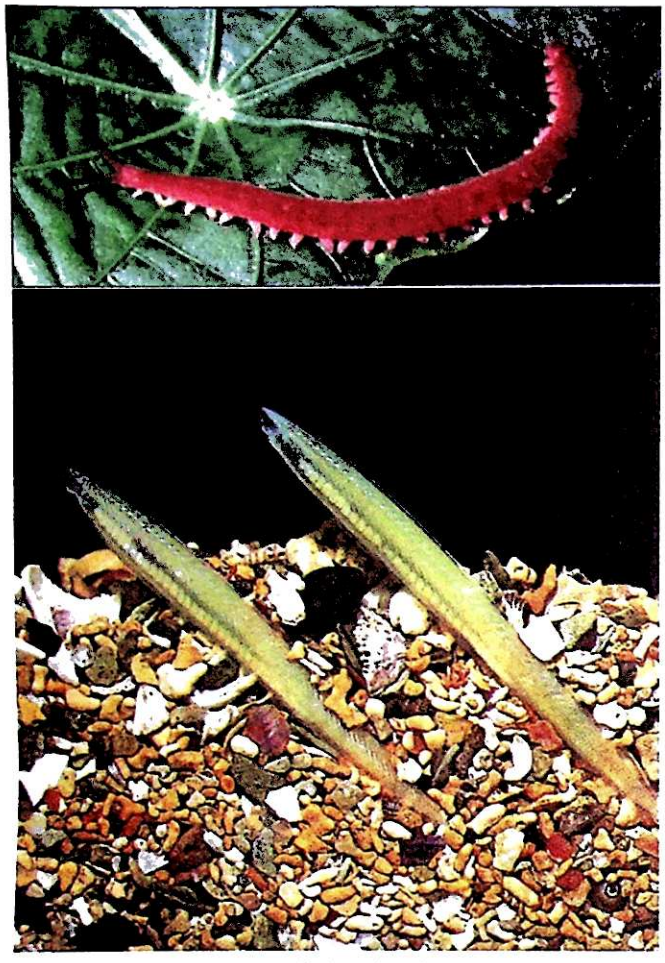
მცენარეთა და ცხოველთა სხვადასხვა ტაქსონებში გაერთიანებული სახეობების შედარებითი ანატომიური შესწავლით გამოელენილია ჰომოლოგიური, ანალოგიური და რუდიმენტული ორგანოები. მათი შესწავლით არა მარტო ევოლუციის ეერსიფიკაცია ხდება, არამედ მიმდინარეობს კანონზომიერებების შესწავლაც. ორგანოებს, რომელთაც აგებულების ერთიანი გეგმა აქვს, ერთნაირი წარმოშობა ახასიათებთ და ანალოგიურ (მაგ., თევზების, ამფიბიების, ქვეწარმავლების, ძუძუმწოვრების გული) ან განსხვაებულ (მაგ., ფრინველის ფრთა და ადამიანის ხელი) ფუნქციას ასრულებენ ***ჰომოლოგიური ორგანოები*** ეწოდება *(სურ. 11.26)*. ჰომოლოგიის შესწავლით შესაძლებელია ორგანოს წარმოშობა დადგინდეს, მაგ., გველების შხამიანი ჯირკვლები სახეცელილი სანერწყვე ჯირკვლებია, ხოლო მუშა ფუტკრის ნესტარი სახეცელილი კვერცხსადები. მცენარეებშიც ჰომოლოგიური ორგანოები ზოგჯერ ფუნქციას იცვლის. ასე მაგალითად, ბარდაში ულვაში, ხოლო კონახურში ეკლები სახეცვლილ ფოთლებს წარმოადგენენ. ბოლქვი, ფესურა და გორგლი სახეცვლილი ღეროა.

ორგანოებს, რომლებიც გარეგნობით ერთმანეთს წააგავს და მსგავს ფუნქციას ასრულებენ, მაგრამ განსხვავებული აგებულების გეგმა და წარმოშობა აქვთ, ***ანალოგიური ორგანოები*** ეწოდება. მაგ. ფრინველებისა და მწერების ფრთები, ხერხემლიანი ცხოველებისა და მწერების კიდურები, თევზისა და კიბოს ლაყუჩები, თხუნელასა და მახრას მთხრელი კიდურები და სხვ. მცენარეებში ანალოგიურ ორგანოებია ეაზისა (სახეცელილი ღერო) და ბარდას (სახეცელილი ფოთოლი) ულვაში, ასევე ასკილისა და მაყვლის ქაცვი (ეპიდერმისის გამონაზარდი), კაკტუსის ეკალი (სახეცვლილი ფოთოლი) და კუნელის ეკალი (სახეცვლილი ღერო) და მისთ.

ევოლუციის პროცესში ფუნქციადაკარგულ, დაკნინებულ და ნაშთის სახით შემორჩენილ ორგანოებს ***რუდიმენტული ორგანოები*** ეწოდება. რუდიმენტები თითქმის ყველა ორგანიზმს აქვს. ევოლუციის პროცესში ის ორგანოები, რომელთა ფუნქციაც ახალ პირობებში უსარგებლო ხდება, რეგრესს განიცდიან, რასაც თან



სურ. 11.26. ჰომოლოგიური ორგანოები. უმაღლეს ხერხემლიანთა წინა კიდურები.

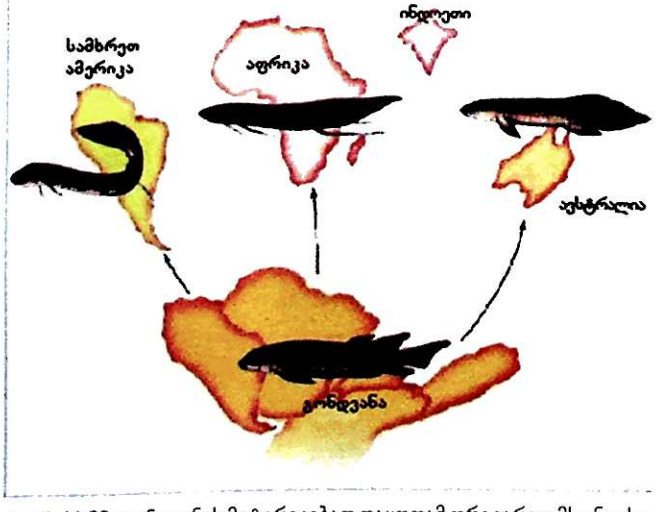


სურ. 11.27. გარდამავალი ფორმები: ა. პერიპატუსი, ბ. ლანცეტა.

სდევს მათი გაქრობა. ზოგჯერ მათგან რჩება უმნიშვნელო გამარტივებული ნაშთები, რომელთაც თავისი პირვანდელი ფუნქცია დაკარგული აქვთ (მაგ., ადამიანის კუდუსუნი, ყურის ნიჟარის კუნთები, ,,სიბრძნის კბილი''; ვეშაპებში მენჯის სარტყლის ნაშთი და სხვ.). ზოგჯერ ორგანიზმს შორეული წინაპართათვის დამახასიათებელი ნიშანი უყალიბდება, რასაც ***ატავიზმი*** ეწოდება. ადამიანში ატავიზმის ნიშანია კუდისებრი დანამატი, ძლიერი თმიანი საფარველი, მრავალძვრილიანობა; ცხენში სამთითიანობა, კვიცში ზებრისებურად შეფერილობა და სხვ. რუდიმენტული ორგანოებისგან განსხვავებით ატავისტური ნიშანი იშვიათია და ცალკეულ ინდივიდს უყალიბდება.

გამოვლენილია გარდამავალი ფორმები, რომლებიც ევოლუციის ერთ-ერთი საბუთია და ცალკეული დიდი ტაქსონის წარმოშობაზე გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა. შუალედური ფორმა თავის აგებულებაში აერთიანებს უმაღლეს და უმდაბლეს ტაქსონთა ნიშნებს. ასე, მაგალითად, იხვნისკარტა და ექიდნა ქვეწარმავლების მსგავსად კვერცხს დებს და გააჩნია კლოაკა, ხოლო გამოჩეკილ ნაშიერებს ძუძუმწოვრების მსგავსად რძით კვებავს. გარდამავალ ფორმას აკუთვნებენ ევგლენას (აკავშირებს მცენარეებსა და ცხოველებს), ლანცეტას (აკავშირებს უხერხემლოებსა და ხერხემლიანებს), პერიპატუსს (აკავშირებს რგოლოვან ჭიებსა და ფეხსახსრიანებს), ლატიმერიას (აკავშირებს თევზებსა და ხმელეთის ხერხემლიანებს) და სხვ. ***(სურ. 11.27)***

ბიოგეოგრაფიის არგუმენტები. ბიოგეოგრაფია შეისწავლის დედამიწის ზედაპირზე მცენარეებისა და ცხოველების გავრცელებისა და განსახლების კანონზომიერებებს. დედამიწის განვითარების ისტორიაში კონტინენტების ზედაპირი არაერთგზის შეიცვალა. პალეოზოურ ერაში არსებობდა ერთიანი სუპერკონტინერტი პანგეა, რომელიც მეზოზოურ ერაში თანდათანობით ორ დიდ ხმელეთად: ლავრაზიად და გონდვანად დაიყო. ამავე ერის განმავლობაში თითოეული მათგანი კვლავ დანაწილდა. გონდვანაზე ფართოდ იყო გავრცელებული ორგვარად მსუნთქავი (სუნთქავდნენ ლაყუჩებითა და ფილტვებით) თევზები. ისინი ამჟამად რელიქტური სახეობებია. ორგვარად მსუნთქავი თევზების განსხვავებული სახეობები უმნიშვნელო რაოდენობით შემორჩენილია სამხრეთ ამერიკის, აფრიკისა და ავსტრალიის ზოგიერთ წყალსატევებში ***(სურ. 11.28).*** ამდაგვარი გავრცელება ერთიანი ხმელეთის გონდვანას კონტინენტებად დაყოფამ გამოიწვია. ამ შეხედულების ადასტურებს პიპასებრთა ოჯახში გაერთიანებული აფრიკაში გავრცელებული დეზებიანი ბაყაყისა (Xenopus) და სამხრეთ ამერიკაში გავრცელებული მისი ახლომონათესავე სახეობა სურინამული პიპას არსებობა და სხვ.



სურ. 11.28. გონდვანას მატერიკებათ დაყოფამ ორგვარად მსუნთქავი თევზების კონტინენტშორისი დიზუნქციური არაელის ჩამოყალიბება გამოიწვია.

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს ავსტრალიის ფლორისა და ფაუნის უკიდურესად თვითმყოფადობა. აქ გავრცელებულ რელი-

ქტებს — კვერცხისმდებელ და ჩანთოსან ძუძუმწოვრებს (შეიცავს 45 გვარს), შეიძლება ხატოვნად ცოცხალი ნამარხები ეწოდოს. ავსტრალია გოდნდვანას უფრო ადრე გამოეყო (იურული პერიოდი) და ამ დროს ჯერ კიდევ არ არსებობდნენ პლაცენტიანი ძუძუმწოვრები.

სამხრეთ ამერიკისა და ჩრდილო ევრაზიის შედარებისას მკაფიოდ იკვეთება მათი ფაუნის დიდი მსგავსება, საერთო გვარებისა და მრავალი ვიკარული (ურთიერთშემნაცვლებელი) სახეობების არსებობა. ეს ტერიტორიები ერთმანეთთან იყო დაკავშირებული (მათი გამყოფი ბერინგის სრუტე მესამეულ და მეოთხეულ პერიოდში მრავალჯერ „დაშრა"). წარმოქმნილი „ბერინგის ხიდით" აზიიდან ამერიკაში გადაიდნენ მამონტები, ბიზონები, ირმები და ადამიანი. ხდებოდა უკუპროცესიც, ჩრდილო ამერიკაში ფართოდ გავრცელებული აქლემისა და ლამას წინაპარი (ოჯახი Camelidae) განსახლდა (ე. წ. პლეისტოცენური მიგრაცია) აზიასა და აფრიკაში, რომელმაც გვარ Camelus-ს დაუდო სათავე. ამავე გზით ძველ სამყაროში გადმოვიდა ცხენი.

მაკროევოლუციის დამამტკიცებელი არგუმენტები მოპოვებულია კონტინენტური და ოკეანური კუნძულების ფლორისა და ფაუნის შესწავლით. პირველნი კონტინენტის გარკვეული უბანს გამოეყვნენ. ენდემიზმი მით უფრო მაღალია, რაც უფრო დიდი ხნის წინათ არის გამიჯნული. ბრიტანეთის კუნძულები ევროპიდან გამოთიშულან მეოთხეული გამყინვარების შემდეგ, ამიტომაც მისი ფლორა და ფაუნა უმნიშვნელოდ განსხვავდება კონტინეტურისგან. კუნძული მადაგასკარი აფრიკის კონტინენტს მიოცენში (160-165 მლნ. ნლის წინ) გამოეყო, ე. ი. გაცილებით ადრე, ვიდრე ბრიტანეთის კუნძულები. მადაგასკარზე საკმაოდ დიდია ენდემური ოჯახების, გვარებისა და სახეობების რაოდენობა და მას დამოუკიდებელ ზოოგეოგრაფიულ ოლქად განიხილავენ.

ოკეანური კუნძულები კონტინენტურისგან განსხვავებით სახეობრივი შემადგენლობით ღარიბია, მაგრამ გამოირჩევიან ენდემური სახეობების დიდი შემცველობით. ოკეანური კუნძულები ორგვარია ვულკანური და მარჯნისა. უკაცრიელ ოკეანურ კუნძულებზე სახლდებიან ზღვით გამორიყული, ქარით შემთხვევით მოხვედრილი ინდივიდები (ძირითადად თესლები და სპორები), აგრეთვე ისინი, რომლებსაც ადვილად შეუძლიათ დაბრკოლებების გადალახვა (ღამურები, ფრინველები, მწერები). დიდი ენდემურობით ხასიათდება გალაპაგოსის კუნძულები. არქიპელაგი ვულკანური წარმოშობისა (ასაკი 5-10 მლნ. წელია) და კონტინენტიდან 1000 კმ-თაა დაშორებული. მასზე ბინადრობს ხმელეთის ფრინველთა 37 სახეობა, რომელთაგან 31 (დაახლოებით 84%) ენდემურია. აქვეა ენდემური ხვლიკების ორი გვარი, ხმელეთის კუთა 14 სახეობა და სხვ.

პალეონტოლოგიური არგუმენტები. პალეონტოლოგია შეისწავლის ორგანიზმთა (მცენარე, ცხოველი, სოკო, მიკროორგანიზმი) განამარხებულ ნაშთებს, აელენს მათ მსგავსება-განსხვავებას თამამედროვე (ნეონტოლოგიურ) ორგანიზმებთან. განამარხებული ნაშთების მიხედვით ახდენენ შორეულ წარსულში ბინადარი ცხოველისა და მცენარის გარეგანი და შინაგანი აგებულების რეკონსტრუქციას, იკვლევენ ცალკეული სახეობის ეოლუციურ განვითარებას (ფილოგენეზს), ასევე ადგენენ გარკვეული გეოლოგიური ეპოქისათვის ნიშანდობლივ ფლორასა და ფაუნას.

დედამინის სხვადასხვა ასაკის დანალექ ქანში შემორჩენილი განამარხებული ნაშთების ურთიერთშედარებით დადასტურდა, რომ ცხოველთა ყველა ტიპისა და მცენარეთა ყველა განყოფილების სახეობები ერთდროულად არ წარმოშობილა. დროთა განმავლობაში ორგანული სამყარო იცვლებოდა და პროგრესულად ეითარდებოდა. უმდაბლეს ფორმებს ცვლიდნენ განვითარების შედარებით მაღალ საფეხურზე მდგომი ფორმები, ამ უკანასკნელთა ადგილს კი ახლად წარმოშობილი უფრო მაღალი ორგანიზაციის მქონე ფორმები იკავებდნენ. უძველესმა ქანებმა შემოგვინახა უმდაბლეს მცენარეთა და ცხოველთა ნაშთები, უფრო გვიანდელმა ქანებმა ქორდიანებისა და ხმელეთის სპოროვანი მცენარეების ნაშთები. უფრო ახალგაზრდა დანალექ ქანებში ვხვდებით უმაღლეს ხერხემლიანთა და ყვავილოვან მცენარეთა ნაშთებს *(იხ. ცხრ. 11.2)*.

ცხრილი 11. 2

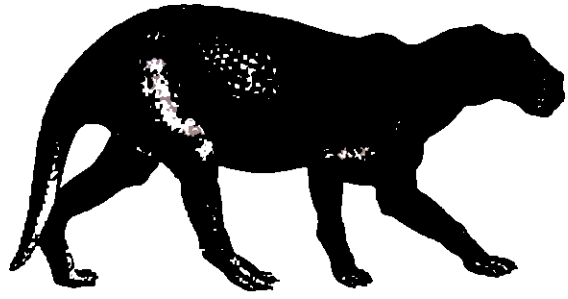
გეოქრონოლოგიური შკალა და ცოცხალ ორგანიზმთა განვითარების ისტორია

ერა	პერიოდი	ასაკი მლნ. წელი	ცხოველთა სამეფო	მცენარეთა სამეფო
კაინოზოური (65-0 მნლ.წლის წინ)	ანთროპოგენი (მეოთხეული)	2.558-0 მლნ. წლის წინ)	თანამედროვე ცხოველთა სამეფო, ადამიანის ეოლუცია და გაბატონება	თანამედროვე მცენარეთა სამეფო
	ნეოგენი	23.03-2.55 მლნ. წლის წინ	გაბატონდნენ ძუძუმწოვრები, ფრინველები და მწერები	ფართოდ ვრცელდება ყვავილოვანი მცენარეები, განსაკუთრებით ბალახოვნები. მცირდება შიშველთესლოვნების ფლორა
	პალეოგენი	65.5- 23.03 მლნ. წლის წინ	გაჩნდნენ პრიმიტიული პრიმატები (ლემურები, გრძელტერფიანები), მოგვიანებით პარაპითეკები, დრიოპითეკები. გრძელდება ქვენარმაელების გადაშენება. ისპობა თავფეხიანი მოლუსკების მრავალი ჯგუფი.	

მეზოზოური (251 — 65 მლნ. წლის წინ)	ცარცული	145 — 65.5 მლნ. წლის წინ	ჭარბობენ ძველოვანი თევზები, უძველესი ფრინველები, მცირე ზომის ძუძუმწოვრები. გაჩნდნენ უმაღლესი ძუძუმწოვრები და თანამედროვე ფრინველები. გადაშენდნენ გიგანტური ქვეწარმავლები.	გაბატონდნენ თანამედროვე ფარულთესლოვნები; შემცირდა გვიმრანაირები და შიშველთესლოვნები.
	იურული	199.6 — 145.5 მლნ. წლის წინ	გაბატონდნენ დინოზაურები, ძველოვანი თევზები, მწერები, თაფლიანი მოლუსკები, გა ჩნდა არქეოპტერიქსი; გადაშენდნენ უძველესი ხრტილოვანი თევზები.	გაბატონდნენ თანამედროვე შიშველთესლოვნები; გაჩნდნენ ფარულთესლოვნები; გადაშენდნენ უძველესი შიშველთესლოვნები.
	ტრიასული	251 — 199.6 მლნ. წლის წინ	ჭარბობენ ამფიბიები, თავფეხიანი მოლუსკები, მცენარის მჭამელი და მტაცებელი ქვეწარმავლები. გაჩნდნენ ძველოვანი თევზები, კვერცხისმდებელი და ჩანთოსანი ძუძუმწოვრები.	ჭარბობენ უძველესი შიშველთესლოვნები; გაჩნდნენ თანამედროვე შიშველთესლოვნები; გადაშენდნენ თესლოვანი გვიმრები.
პალეოზოური (542 — 251 მლნ. წლის წინ)	პერმული	299 — 251 მლნ. წლის წინ	გაბატონდა ზღვის უხერხემლოები, აგრეთვე ზვიგენები; სწრაფად განვითარდნენ მწერები და ქვეწარმავლები. წარმოიშვნენ მხეცკბილა და მცენარის მჭამელი ქვეწარმავლები. გადაშენდნენ სტეგოცეფალები და ტრილობიტები.	შიშველთესლოვნების და ბალახოვანი გვიმრანაირების სიჭარბე; წარმოიშვნენ ხენაირი შიშველთესლოვნები; გადაშენდნენ ხენაირი გვიმრანაირები (გვიმრები, ლიკოპოდიუმები და შვიტები)
	კარბონული (ქვანახშირის)	359.2 — 299 მლნ. წლის წინ	გაბატონდა ამფიბიები, მოლუსკები, ზვიგენები, ორგვარადმსუნთქავი თევზები, გაჩნდნენ პირველი ქვეწარმავლები, მწერების მფრენი ფორმები. ობობები.	ხენაირი გვიმრანაირების სიჭარბე; წარმოიშვნენ თესლოვანი გვიმრები. გადაშენდნენ ფსილოფიტები.
	დევონური	416 — 359.2 მლნ. წლის წინ	მძლავრად განვითარდნენ ფარიანები, ტრილობიტები, მოლუსკები, ციბონაირები, მარჯნები. გაჩნდნენ მტევანფარფლიანი და ორგვარადმსუნთქავი თევზები, სტეგოცეფალი.	მრავალფეროვანია ფსილოფიტების ფაუნა. გაჩნდნენ ხავსები, გვიმრანაირები, სოკოები.
	სილურული	443 — 416 მლნ. წლის წინ	მრავალფეროვანია ტრილობიტების, მოლუსკების, ციბონაი რების მარჯნების ფაუნა. გაჩნდნენ ჯავშნიანი თევზები. ხმელეთზე გავრცელდნენ მრავალფეხიანები, მორიელები, უფრთო მწერები.	აღინიშნება წყალმცენარეთა ყველა განყოფილების დიდი ნაირგვარობა და სიუხვე. მცენარეები გადაიდნენ ხმელეთზე. გაჩნდნენ ფსილოფიტები.
	ორდოვიკული კემბრიული	488.3 — 443.7 მლნ. წლის წინ 542 — 488.3 მლნ. წლის წინ	აღინიშნება უხერხემლო ცხოველთა ყველა ტიპის სწრაფი ევოლუცია. ფართოდაა გავრცელებული ღრუ ბელები, ნანლაველრუიანები, ჭიები, ეკალკანიანები, ტრილობიტები. გაჩნდნენ უყბო ხერხემლიანები (ფარიანები) და მოლუსკები	მძლავრად განვითარდნენ წყალმცენარეთა ყველა განყოფილების წარმომადგენლები.
პროტეროზოური		2500 — 542 მლნ. წლის წინ	ფართოდ გავრცელდნენ უმარტივეები; გაჩნდა უხერხემლოთა ყველა ტიპი. წარმოიშვნენ უმდაბლესი ქორდიანები: ქვეტიპი- უქალოები.	ფართოდ გავრცელდნენ ლურჯმწვანე და მწვანე წყალმცენარეები, ბაქტერიები. გაჩნდნენ წითელი წყალმცენარეები.
არქეული		3800 — 2500 მლნ. წლის წინ 4600	სიცოცხლის წარმოშობა. პროკარიოტები (ბაქტერიები, ციანობაქტერიები), ეუკარიოტები (უმარტივესები), პრიმიტიული მრავალუჯრედიანები. დედამიწის წარმოშობა	

მაკროევოლუციის მიმდინარეობას ადასტურებს გარდამავალი ნამარხი ფორმების არსებობა, რომლებმაც სხვადასხვა ტიპი და კლასი ერთმანეთთან დააკავშირა. ასე მაგალითად, ფსილოფიტები უმდაბლეს მცენარეთა და გვიმრანაირების დამაკავშირებელი რგოლია, რომლიც სილურულ პერიოდში წარმოიშვა. ისინი ხმე-

ლეთის პირველი ჭურჭლოვანი მცენარეებია. ნამდვილი ფესვები არ ქონდათ. გააჩნდათ ფესურები და ღეროები, რომლებიც სპორანგიუმებით ბოლოვდებოდა. მნიშვნელოვანი გარდამავალი ფორმაა ქვანახშირის პერიოდში ფართოდ გაერცელებული თესლოვანი გვიმრები. მათგან წარმოიშვა შიშველთესლოვნები. ძუძუმწოვრებისა და ქვეწარმავლების დამაკავშირებელი რგოლია მხეცკბილიანი რეპტილიები *(სურ. 11.29)*. მათ ძუძუმწოვრების მსგავსი ქალა, ხერხემლის მალები და კიდურები ჰქონდათ. კბილები მჭრელებად, ეშვებათ და ძირითადებად ჰქონდათ დიფერენცირებული. მნიშვნელოვანი გარდამავალი ფორმაა არქეოპტერიქსი *(სურ. 11.30)*. იგი მტრედისოდენა იყო. ფრინველის ნიშნებთან ერთად (ბუმბულით დაფარული სხეული, მსხვილი მოსაქნევი ბუმბული, კიდურების ძელები ნანილობრივ პნევმატიზირებული) შემორჩენილი ჰქონდათ ქვეწარმავლის ნიშნები (კბილები, მუცლის ნეკნები, რეპტილიური ქალა და მალები, უტროპო მკერდის ძვალი, გრძელი მალებისგან შემდგარი კუდი და სხვ.).



სურ. 11.29. მხეცკბილა ქვეწარმავალი — ქვეწარმაელებსა და ძუძუმწოერებს შორის დამაკავშირებელი რგოლი.

მაკროეოლუციის ვერსიფიკაციის სანიმუშო მაგალითია ფილოგენეზური რიგების არსებობა. მხოლოდ ერთ კლასიკურ ნიმუშს — ცხენის ფილოგენეზურ რიგს განვიხილავთ *(სურ. 11.31)*. ფილოგენეზური რიგი 12 გეარსა და ათეულობით სახეობას აერთიანებს. ამ გვარის (Equus) ჩამოყალიბების პროცესი 54 მლნ. წელს გრძელდებოდა. ცხენის უძველესი, მელიის ტოლი წინაპარი პირაკოთერიუმი (Hyracotherium) ეოცენში მაღალ ბალახიან და ბუჩქნარიან გარემოში ბინადრობდა. იგი სიმაღლით 35 სმ-ს არ აღემატებოდა და ხტუნვით გადაადგილდებოდა. წინა კიდურებზე ოთხ-ოთხი თითი, უკანა კიდურებზე კი სამ-სამი თითი ჰქონდა. იკვებებოდა ნაზი ფოთლებით და ბალახით, რაზედაც კბილების სადა ბორცვიანი ზედაპირი მიუთითებს. ოლიგოცენში პავა მშრალი გახდა მცენარეულობას უხეში ფოთლები გაუხდა. მტრებისგან თავდაცვა სწრაფ სირბილს მოითხოვდა. ამ პირობებს შეეგუა ცხენის მომდევნო წინაპარი მეზოპიპუსი (Mesohippus), მას მხოლოდ სამ-სამი თითი გააჩნდა, რომელთაგანაც მესამე თითი ჰქონდათ დაგრძელებული. სტეპების მეტად მშრალ გარემოსთან მოუწიათ შეგუება მერიპიპუსსა (Merychippus) და პლიოპიპუსს (Pliohippus). ისინი მშრალი და უხეში ბალახით იკვებებოდნენ. გაშლილ ველებზე მტრისგან თავდაცვის ეფექტური საშუალება სწრაფი სირბილი იყო. რბენისადმი შეგუების გამო მეტად დაუგრძელდათ და გაუმსხვილდათ მესამე თითი, ხოლო მეორე და მეოთხე თითი მნიშვნელოვნად ჰქონდათ დამოკლებული. კეებითი შეგუების გამო ყბა დაუგრძელდათ, კბილების ზედაპირი ძლიერ დაუნაოჭდა, ხოლო რაოდენობა გაეზარდათ. ცხოველი სიმაღლეში და წონაში მეტად გაიზარდა, წელი გაუსწორდა, ხერხემალი მოქნილი და მტკიცე გაუხდა. პლიოჰიპუსიდან წარმოიშვა თანამედროვე ცხენი (Equus).



სურ. 11.30. არქეოპტერიქსი. ანაბეჭდი ქვაზე და ცხოველის საერაუდო ფორმა (რეკონსტრუქცია).

11.12. პროგრესული ევოლუციის ძირითადი მიმართულებები

გამოყოფენ ფილოგენეტიკური ჯგუფების ევოლუციის სამ მთავარ მიმართულებას: **არომორფოზს, ალოგენეზსა და კატაგენეზს.**

ალოგენეზი ევოლუციის ისეთი მიმართულებაა, როდესაც ჯგუფის განვითარება ერთსა და იმავე ადაპტურ ზონაში მიმდინარეობს. ჯგუფის წევრები ადაპტური ზონიდან არ გამოდიან და მასში ხდება ადაპტოგენეზი. ევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბებული ჯგუფები განსხვავდება ერთი და იმავე მასშტაბის ადაპტაციებით. ადაპტური ზონა კი წარმოადგენს ეკოლოგიურ ნიშათა ერთობლიობას, რომელიც ორგანიზმებზე ძირითადი ფაქტორების მოქმედების მიმართულებით მსგავსია. ისინი განსხვავდება მხოლოდ დეტალებით. ალოგენეზის დროს ორგანიზმებს უნარჩუნდებათ აგებულებისა და ფუნქციირების საერთო თავისებურებები, რის გამოც მათი ორგანიზაციის დონე უცვლელი რჩება. აღმოცენდება ორგანოთა აგებულებისა და ფუნქციების კერძო მნიშვნელობის ცვლილებები. ამდაგვარ ადაპტაციებს იდიოადაპტაციები ანუ ალომორფოზები



სურ. 11.31. ცხენის ფილოგენეზური რიგი. 1. პირაკოთერიუმი (Hyracotherium). 2. მეზოჰიპუსი (Mesohippus), 3. მერიჩიპუსი (Merychippus). 4. პლიოჰიპუსი (Pliohippus). 5. თანამედროვე ცხენი (Equus). ქვემოთ, კიდურის ევოლუციური ცვლილება.

ენოდება. ალოგენეზის შედეგია ორგანიზმთა ფართო გავრცელება და დაყოფა მრავალ ნათესაურ შტოდ (ე. წ. ადაპტური რადიაცია). ალოგენეზი მიმდინარეობს ნებისმიერ ტაქსონომიურ ჯგუფში (გვარი, ოჯახი, რიგი). მაგ., მწერიჭამიების რიგში გაერთიანებული ფორმები: ზღარბი, თხუნელა, მთიხეი, ბიგა და სხვ. ალოგენეზის შედეგადაა ჩამოყალიბებული.

არომორფოზი ევოლუციის ისეთი მიმართულებაა, როდესაც შედარებით დიდ ტაქსონში ზოგიერთ ჯგუფს უყალიბდება ისეთი მორფო-ფიზიოლოგიური ნიშნები, რომლებითაც ორგანიზაციის დონე მაღლდება. ამ ახალ პროგრესულ (ადაპტურ) ნიშნებს არომორფოზს უწოდებენ. არომორფოზის დროს ხდება ადაპტური ზონის გაფართოება. ორგანიზმები გადადიან ერთი ადაპტური ზონიდან მეორეში. ე. ი. ხდება ევოლუციური „გარღვევა" ახალ ადაპტურ ზონაში. დიდი მორფო-ფიზიოლოგიური ცვლილებების მეოხებით ახალ ადაპტურ ზონაში მოხვედრილი ორგანიზმები ეგუებიან საარსებო პირობებს. ახალ ადაპტურ ზონაში, როგორც წესი, ხვდება მხოლოდ ცალეული მცირერიცხოვანი ჯგუფები. ამ გადასვლის პროცესს არომორფოზი ეწოდება. ახალ ადაპტურ ზონაში შეღწეულ ჯგუფში ხდება ალოგენური ცვლილებები, რის გამოც ჯგუფი ფართოდ ვრცელდება და იტოტება ნაირგვარ ჯგუფებად *(სურ. 11.32)*. არომორფოზის შედეგად წარმოიქმნება დიდი ტაქსონომიური ჯგუფები (ტიპი, კლასი). არომორფოზის შემდეგ ევოლუცია ძირითადად ალოგენეზის გზით მიმდინარეობს.

არომორფოზის კარგი მაგალითია ფრინველთა კლასის წარმოშობა და გაფურჩქვნა. ტრიასულ პერიოდში დინოზავრების მცირე ჯგუფში არომორფოზულმა ცვლილებებმა (ჩამოუყალიბდათ ფრენის ორგანო-ფრთები, ოთხსაკნიანი გული, ჰაერში ფრენის კოორდინაციის უნარი, თბილსისხლიანობა, რთული აგებულების თაიის ტვინი და ქერქი) განაპირობა მათი ახალ ადაპტურ ზონაში გადასვლა, ხოლო ალოგენეზის შედეგად ფრინველებს ჩამოუყალიბდათ ადაპტაციები, რომლებითაც ისინი შეეგუნენ ველზე, უდაბნოში, ტყეში, წყალსატევებში და ა.შ. ცხოვრებას.

კატაგენეზი (ზოგადი დეგენერაცია). ევოლუცია ყოველთვის გართულების გზით არ მიმდინარეობს. ზოგჯერ ახალი ადაპტური ზონის დაკავება შეიძლება ორგანიზაციის დონის გამარტივებით, მორფო-ფიზიოლოგიური დეგენერაციით-რეგრესით განხორციელდეს. კატაგენეზი არის ისეთი ევოლუციური ცვლილება, რომელიც ორგანიზაციის დონის გამარტივებას იწვევს. იგი გამოწვეულია განსაკუთრებული პირობებისადმი შეგუებით: ასეთია პარაზიტული ან მჯდომარე ცხოვრების ნირი. მას იწვევს, აგრეთვე, აქტიური კეებიდან პასიურზე გადასვლა. დეგენერაციის დროს ხდება ცხოველთა და მცენარეთა ორგანოების აგებულების გამარტივება. მაგ., ზოგიერთ მრავალუჯრედიან ენდოპარაზიტ ცხოველს რიგი ორგანოთა სისტემა და ორგანოები გაუმარტივდა, ზოგი კი საერთოდ გაუქრა (მაგ., თასმისებრი ჭიები, ნემატოდები და სხვ.). აბრეშუმას არ გააჩნია ქლოროპლასტები და ფოთლები. იგი ყვავილოვან მცენარეებზე პარაზიტობს. აბრეშუმა წვრილი ღეროებით შემოეხვევა პატრონ მცენარეს და მასზე წარმოქმნილი მისაწოვრებით (სახეცვლილი დამატებითი ფესვები — ჰაუსტორიები) საკვებს წოვს. მჯდომარე და პარაზიტ ორგანიზმებს აქვთ კარგად განვითარებული გამრავლების სისტემა და მაღალი ნაყოფიერებით გამოირჩევიან. იგი უზრუნველყოფს სახეობის შენარჩუნებას, რიცხოვნობის ზრდასა და განსახლებას.

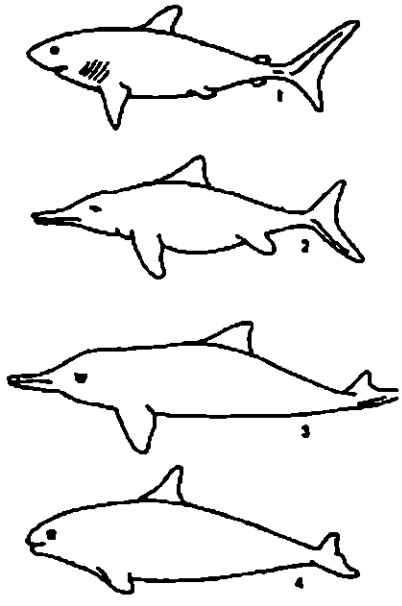


სურ. 11.32. ევოლუციის მიმართულებები: არომორფოზი, ალოგენეზი დაკატაგენეზი (ზოგადი დეგენერაცია).

11.13. ბიოლოგიური ევოლუციის ძირითადი კანონზომიერებები

დივერგენცია - ტაქსონის ევოლუციის პირველადი, ელემენტარული ფორმაა. დივერგენტული ევოლუცია იწვევს საარსებო პირობებთან შეგუების პროცესში ტაქსონის დაყოფას რამდენიმე ჯგუფად. დივერგენტული ევოლუცია სხვადასხვა დონეზე ხორციელდება. მიკროევოლუციის დონეზე მისი მოქმედებით ყალიბდება განსხვავებული პოპულაციები. იზოლაციის შემთხვევაში მათგან რამდენიმე ახალი სახეობის ფორმირებაა შესაძლებელი. ამ დონეზე დივერგენცია შექცევადი პროცესია. ერთი სახეობის ორ განსხვავებულ პოპულაციას შორის საიზოლაციო მექანიზმების მოხსნა გენთა ნაკადის გამო მათ გაერთიანებას (განსხვავების ნიველირებას) იწვევს.

მაკროევოლუციის დონეზე დივერგენციის პროცესი შეუქცევადია, ვინაიდან მოქმედებს რეპროდუქტული იზოლაცია. ნებისმიერი ზესახეობრივი მასშტაბის დონეზე დივერგენცია ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორების (ძირითადად ბუნებრივი გადარჩევა და იზოლაცია) მოქმედების შედეგია. ძველი სახეობის დივერგენციის შედეგად ყალიბდება ახალი სახეობები. ფუძემდებელი ძველი სახეობა დასაბამს აძლევს ახალ გვარს. ასევე, ძველი გვარი, რომელიც ახალ გვარებს აძლევს დასაბამს, ახალი ოჯახის ჩამოყალიბების საფუძველია. ძველი ფუძემდებელი ოჯახი რამდენიმე ახალ რიგად გარდაიქმნება და ა.შ. ამრიგად მიმდინარეობს ტაქსონების იერარქიულად დიფერენცირების პროცესი.



სურ. 11.33. კონვერგენტული ევოლუცია ხერხემლიან ცხოველებში. 1.ზვიგენი. 2. იქტიოზავრი. 3. დელფინი, 4. ვეშაპი.

დიეერგენციის ერთ-ერთი კლასიკური მაგალითია ჩ. დარვინის მიერ შესწავლილი გალაპაგოსის კუნძულებზე გავრცელებული მთიულები. კონტინენტიდან არქიპელაგზე შემთხვევით მოხვედრილმა მცირე პიონერულმა ჯგუფმა სათავე დაუდო ცამეტ განსხვავებულ სახეობას, რომლებიც სამ სხვადასხვა გვარშია გაერთიანებული.

კონვერგენცია არის ორ ან მეტ არამონათესავე ჯგუფში ფენოტიპური მსგავსების ჩამოყალიბების პროცესი. არამონათესავე ტაქსონომიური ჯგუფები ზოგიერთ შემთხვევაში მსგავს გარემო პირობებში ერთნაირ ადაპტურ ნიშნებს იძენენ. იგი ერთნაირად მიმართული ბუნებრივი გადარჩევის შედეგია. ევოლუციის ეს ფორმა ნებისმიერი ტაქსონომიური დონისთვისაა (გვარი, ოჯახი, რიგი და მისთ.) დამახასიათებელი. მაგ., წყალში ცხოვრების ნირმა ზოგიერთ ხერხემლიან ცხოველში (ზვიგენი, იხტიოზავრი, პინგვინი, დელფინი, სელაპი) გამოიწვია სხეულისა და მოძრაობის ორგანოების დიდი მსგავსება *(სურ. 11.33)*. ჩანთოსან და პლაცენტიან ძუძუმწოვრებში სავსებით დამოუკიდებლად წარმოიშვნენ მსგავსი ადაპტაციები. ჩანთოსანი მინის კურდღელი ჩვეულებრივ კურდღელს ემსგავსება, ჩანთოსანი თხუნელა — ჩვეულებრივ თხუნელას, ჩანთოსანი მგელი — ჩვეულებრივ მგელს და სხვ.

კონვერგენტული მსგავსება არასოდეს არაა ღრმა, ცვლილებები ყოველთვის ზერელეა.

პარალელიზმი არის ევოლუციის პროცესში საერთო წინაპრიდან წარმოშობილი ტაქსონომიურ ჯგუფთა განვითარება ერთი მიმართულებით. პარალელიზმი ჩვეულებრივ ახასიათებთ დიეერგენციის შედეგად ჩამოყალიბებულ განსხვავებულ ჯგუფებს, რომლებსაც ერთნაირ გარემო პირობებში მოუხდათ არსებობა. ბუნებრივი გადარჩევის ერთი მიმართულებით მიმდინარეობის გამო მათ შთამომავლობაში ყალიბდება მსგავსი ადაპტაცია *(სურ. 11.34)*. მაგ., ღრმა წყლის თევზების განსხვავებულ გვარში გაერთიანებულ სახეობებს განუვითარდათ მსგავსი მანათებელი ორგანოები. ასევე, იქტიოზავრებს (ამომწყდარი ქვეწარმავლები) და დელფინებს გააჩნიათ მსგავსი ღერძული ჩონჩხი და კბილები.

11.14 ევოლუციის ძირითადი ნესები

ევოლუციის შეუქცევადობის წესი. ევოლუციის შეუქცევადობის იდეა ნამოაყენა და დაასაბუთა ჩ. დარვინმა (1859) ხოლო კანონად ჩამოაყალიბა ლ. დოლომ (1893). იგი ეევოლუციური მოძღვრების ერთ-ერთი ძირითადი დებულებაა, რომლის თანახმად ევოლუცია — შეუქცევადი პროცესია და ორგანიზმი ვერ დაუბრუნდება თავისი წინაპრების მდგომარეობას, თუნდაც იგი ზუსტად ისეთსავე პირობებს შეეგუოს, რომელშიც მათი წინაპრები ცხოვრობდნენ. წყლის გარემოსთან მეორეულად შეგუებისას ხმელეთის ხერხემლიანები ინარჩუნებენ იმ ჯგუფის თვისებებს, რომლებსაც ისინი ეკუთვნიან. მაგ., იქტიოზავრები — ქვეწარმავლებისას, ვეშაპი, დელფინი — ძუძუმწოვრებისას და ისევ თევზებად არ გარდაიქმნებიან. ევოლუციის პროცესში ერთი და იგივე ფორმა მხოლოდ ერთხელ შეიძლება გაჩნდეს. შესაბამისად, ამომწყდარი ფორმების ხელმეორედ გაჩენა შეუძლებელია.

არასპეციალიზებული წინაპრიდან წარმოშობის წესი (ე. კოპი, 1896). ახალი დიდი ტაქსონომიური ჯგუფები საწყისს იღებენ შედარებით არასპეციალიზებული წინაპრიდან. მაგ. ძუძუმწოვრები წარმოიშვნენ



სურ. 11.34. პარალელური ევოლუცია აფრიკასა და სამხრეთ ამერიკაში გავრცელებულ ძუძუმწოვრებში.

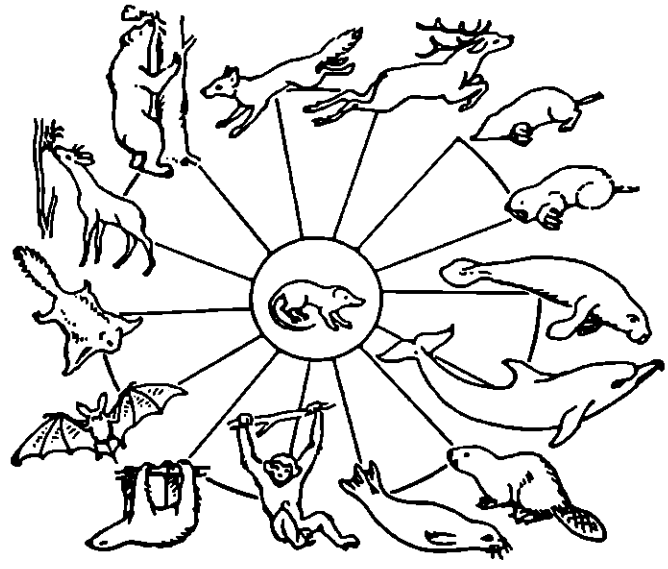
მოსიარულე (ძაღლები, კატები), მორბენალი (ცხენები), მხტუნაი (კურდღლები), მინის მთხრელი (თხუნელები), მეხეური (ციყვები, პრიმატები), მფრინაი (ღამურები), მცურავი (ვეშაპები, სელაპები) და სხვა ფორმები *(სურ. 11.35)*.

11.15 ბიოლოგიური პროგრესი და რეგრესი

ბიოლოგიური პროგრესი. ორგანიზმთა სრულყოფისა და გართულების ისტორიულ პროცესს ევოლუციური პროგრესი ეწოდება. ბიოლოგიური პროგრესი იწვევს ორგანიზაციის დონის ამაღლებას და სრულყოფას. ზოგად პროგრესულ ცვლილებას განეკუთვნება სქესობრივი პროცესის წარმოშობა, ნერვული სისტემის დიფერენცირება, მცენარეებში თალუსის დიფერენცირება, ფოტოსინთეზისა და აერობული სუნთქვის ჩამოყალიბება და ა.შ.

ბიოლოგიურ პროგრესს შემდეგი ნიშნები ახასიათებს: 1. ჯგუფების (პოპულაცია, ქვენარმავლების გარკვეულ არასპეციალიზებული ჯგუფიდან. მათ ამფიბიების დამახასიათებელი ნიშნებიც გააჩნდათ. შიშველთესლიანებს დასაბამი მისცა პალეოზოურ ერაში გაერცელებულმა არასპეციალიზებულმა თესლიანმა გვიმრებმა. ადამიანის მაგვარ მაიმუნებს სათავე დაუდო აფრიკაში გაერცელებულმა პრიმატებმა, ისინი ნაწილობრივ მინაზე ცხოვრებასაც ეწეოდნენ. არასპეციალიზებულ წინაპარში ყალიბდება პრინციპულად განსხვავებული ადაპტაციები.

ადაპტური რადიაციის წესი (ჯ. ოსბორნი, 1902). ნებისმიერ საწყის ჯგუფში (გვარი, ოჯახი, რიგი) ალოგენეზი იწვევს მის დაყოფას მრავალ ნათესაურ შტოდ. თითოეულ მათგანს განსხვავებული ადაპტური ნიშნები უყალიბდებათ და ეგუებიან სხვადასხვა საარსებო პირობას. ადაპტური რადიაცია ორგანიზმების სხვადასხვა მიმართულებით დიეერგენციის შედეგია. ადაპტური რადიაციის იდეა ეკუთვნის ჩ. დარვინს, ხოლო კანონზომიერება ჩამოაყალიბა ამერიკელმა პალეონტოლოგმა ჰ. ოსბორნმა. ორგანიზმები იძენენ სპეციალურ ადაპტაციას და იკავებენ ერთი და იმავე ადაპტური ზონის სხვადასხვა ნიშს. მაგ., ძუძუმწოვრებში ადაპტური რადიაციის შედეგად ჩამოყალიბდა



სურ. 11.35. ადაპტური რადიაცია პლაცენტიან ძუძუმწოვრებში. საერთო წინაპარის (ცენტრში) განსახლებამ და განსხვავებულ საარსებო გარემოსთან შეგუებამ ნაირგვარი ფორმების წარმოქმნა გამოიწვია.

სახეობა, გვარი და მისთ.) რიცხობრივი მატება; 2. არეალის განერცობა; 3. ახალ ჯგუფთა დანაყოფების (სახეობა, გვარი, ოჯახი და მისთ.) წარმოქმნა.

ბიოლოგიური პროგრესი ძირითადად მიიღწევა აროგენეზით, რომლის დროსაც ხდება აღნაგობისა და ფუნქციების სრულყოფა, ახალ ადაპტურ ზონაში ფართო მნიშვნელობის სასარგებლო და უპირატესობის მომცემი ადაპტაციების ჩამოყალიბება. ხშირად მორფო-ფიზიოლოგიური პროგრესი ალოგენეზის (იდიოადაპტაციების ჩამოყალიბების) გზით ხორციელდება. ძალზე იშვიათად მას მორფო-ფიზიოლოგიური გამარტივება კატაგენეზი (ზოგადი დეგენერაცია) იწვევს. ამრიგად, ბიოლოგიური პროგრესი მიიღწევა როგორც ორგანიზაციის დონის გართულებით, ისე გამარტივებით.

ბიოლოგიური რეგრესი არის დაღმავალი განვითარება (უკუგანვითარება), რომლის დამახასიათებელი ნიშნები ბიოლოგიური პროგრესის საპირისპიროა და ვლინდება: 1. ევოლუციის პროცესში ამა თუ იმ ჯგუფის (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) ინდივიდების რაოდენობის შემცირებით; 2. არეალის შეზღუდვით; 3. ჯგუფთა დანაყოფების (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) მრავალგვაროვნების დაქვეითებით. ბიოლოგიური რეგრესის საბოლოო შედეგია ჯგუფის (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) სრული ამონყდომა. ზოგჯერ მისი წარმომადგენლები იშვიათ ფორმებად — რელიქტებად (მაგ., ლატიმერია, ტუატარა ანუ ჰატერია, გინგკო, ბიჭვინთის ფიჭვი და სხვ.) გეხედებიან. ბიოლოგიური რეგრესის უკიდურესი გამოხატულება დეგენერაციაა.

11.16. ანთროპოგენეზი

ადამიანის ადგილი ცხოველთა სამეფოში. დედამიწაზე არსებულ ცოცხალ ორგანიზმთა შორის ადამიანი ერთადერთი ქვესახეა, რომელმაც საკუთარი გონების ზემოქმედებით შექმნა კულტურა და ცივილიზაცია. ცხოველისაგან განსხვავებით იგი აღარ არის ბიოსფეროს პასიური ბინადარი. ადამიანი სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის მეშვეობით ბიოსფეროზე აქტიურ ზემოქმედებას ახდენს.

ადამიანი ბუნებით ბიოსოციალური არსებაა. იგი თვითონ აყალიბებს საკუთარი არსებობის თეორიულ და პრაქტიკულ პრინციპებს, გონების კარნახით ღებულობს გადაწყვეტილებებს ამა თუ იმ ქმედების შესახებ. იგი ვალდებულია შექმნას როგორც ინდივიდუალური, ასევე საზოგადოებრივი ადამიანური სამყარო. ადამიანი აწესებს სოციალურ და ეკონომიკურ კანონებს, რომლებშიც გათვალისწინებულია ადამიანისა და საზოგადოების ურთიერთობები.

ადამიანი თავის მოღვაწეობაში თავისუფალია. თავისუფლება ყალიბდება ევოლუციურად. სამყაროს კანონების შემეცნების გარეშე და ზნეობრივ-მორალურ პრინციპთა გაუთვალისწინებლად არ არსებობს თავისუფლება. ამიტომ ჩვენ ვალდებული ვართ გავაცნობიეროთ, თუ რა არ ვიცით და რა უნდა ვიცოდეთ, რათა სწორად ვიმოქმედოთ, თუ გვინდა, ვიყოთ თავისუფალნი. თავისუფლება კი ადამიანის შემოქმედების ყველაზე დიდი მონაპოვარია. ამაში ხელს ისევ საკუთარი ბუნება გვიწყობს. ყველა ადამიანი ისწრაფვის ცოდნისაკენ. ცოდნა აყალიბებს ცნობიერებას. ცნობიერება კი მოქმედების განმსაზღვრელია. ცნობიერება განიცდის ევოლუციას, რასაც ინდივიდი და საზოგადოება მორალური ნესრიგისკენ მიჰყავს.

გავიხსენოთ ინდოელი მოაზროვნის, პოეტისა და ესეისტის ჯიდუ კრიშნამურტის ნათქვამი. ჭეშმარიტი ადამიანური ღირსება თავისუფლების გარეშე არ არსებობს, ხოლო თავისუფლების მიღწევა ძალიან ძნელია. თავისუფალი რომ იყოთ – საკუთარი თავისა უნდა გესმოდეთ, უნდა შეიცნოთ საკუთარი აზრებისა და გრძნობების მოძრაობა – და ამ გზით საკუთარი გონების მოძრაობა. მონობაში მყოფმა რაც უნდა იღონოს, ვერასოდეს იპოვის ჭეშმარიტებას, ვერასოდეს შეიგრძნობს ცხოვრების სილამაზეს სრულად.

ცოდნის ნყურვილმა ადამიანს დიდი პრობლემა დაუსახა — გაერკვეს, თუ სად, როდის და როგორ ჩამოყალიბდა იგი ბიოსფეროში გაბატონებულ არსებად. ამ პრობლემის შემეცნების გარეშე შეუძლებელია შეიქმნას ისეთი საზოგადოებრივი სივრცე, რომელშიც შესაძლებელი გახდება თავისუფალი ინდივიდუალობის განვითარება. ინდივიდუალობის განვითარება კი განპირობებულია თავის ტვინში მიმდინარე კოგნიტური პროცესებით. ამიტომაც დავისახეთ მიზნად ადამიანის ევოლუციის ნეირობიოლოგიური თვალთახედვით განხილვა.

მარად მაძიებელმა და ცნობისმოყვარე ადამიანის გონმა დაადგინა მისი მოქმედების განსაცვიფრებელი ფაქტები, თუმცა ცოდნის დღევანდელ დონეზე მაინც აუხსნელი რჩება ტვინის ფუნქციონირების მრავალი საკითხი. გარდაუვალი ხდება კვლევის ახალი მეთოდების დანერგვა და, ალბათ, არსებულ ცნებათა სისტემის გადახედვა. ამ მხრივ აღსანიშნავია ნობელის პრემიის ლაურეატის, დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავას სტრუქტურის ერთ-ერთი დამდგენის, ცნობილი ბიოქიმიკოსის ფ. კრიკის აზრი ტვინის მოქმედების შესახებ. აი რას წერს იგი: „ჩვენ ვგრძნობთ, რომ არსებობს რაღაც რთული ასახსნელი, მაგრამ ვერ ვახერხებთ ნათლად და ზუსტად ჩამოვაყალიბოთ ამ არსის სირთულე. ეს კი გვიბიძგებს იქითკენ, რომ მთელი ჩვენი აზროვნების წესი ამგვარი პრობლემის ირგელივ შესაძლებელია მცდარი იყოს".

მიუხედავად არსებითი სიძნელეებისა, კაცობრიობამ ერთხელ და სამუდამოდ გადააბიჯა ზღვარს, რო-

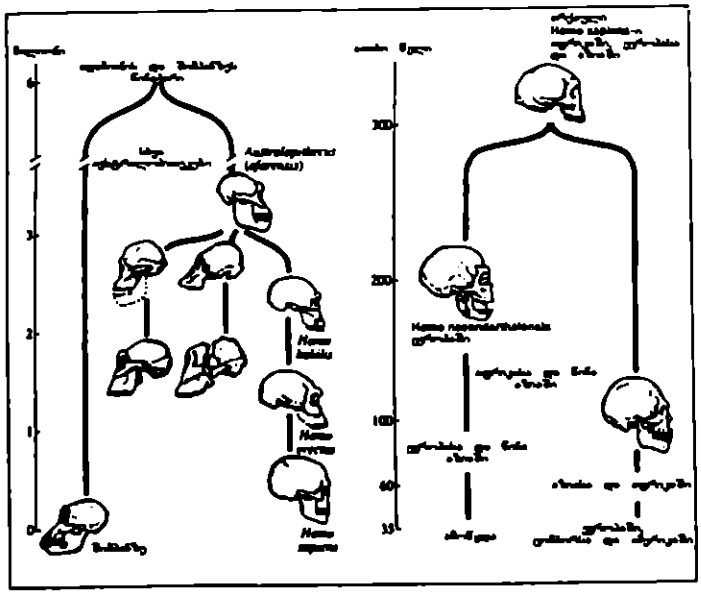
მელიც მას ცხოველთა სამყაროსაგან ყოფს. სხეულის აგებულების ძირითადი ნიშნები, რომლებიც ადამიანს მემკვიდრულად მიღებული აქვს სხვა ცხოველებისგან, ნაჩვენებია ცხრილში 11.3.

ადამიანის პრობლემას იკვლევს სხვადასხვა მეცნიერული მიმართულება. ადამიანი ცოცხალი ორგანიზმებიდან ერთადერთია, რომელიც ცდილობს შეიცნოს საკუთარი თავი და გაარკვიოს საკითხი -- რა ადგილი უჭირავს მას სამყაროში. თვითშეცნობის პროცესში მარტო ის კი არაა დასადგენი, რას წარმოადგენს ადამიანის ბუნება, არამედ ისიც, თუ რას ნიშნავს, იყო ადამიანი. პუმბოლდტის აზრით „ადამიანისათვის ადამიანზე საინტერესო ქვეყნად არაფერია".

ცხრილი 11.3.
ადამიანის სხეულის აგებულების ძირითადი ნიშნები, რომლებიც მემკვიდრულად მიღებული აქვს სხვა ცხოველებისაგან.

ძირითადი ნიშნები	ცხოველები, რომელთაგანაც გადმოცემულია ნიშნები
გენეტიკური კოდი	პირველი ერთუჯრედიანები
გრძელი ორმხრივ სიმეტრიული სხეული, სხვადასხვა ნაწილებით	ჭიაზთა ნინაპრები
ძელოვანი ჩონჩხი	თევზები
ხუთთითა კიდურები	თევზები და ამფიბიები
ფილტვებით სუნთქვა	ამფიბიები და რეპტილიები
სმენის აპარატი	თევზები
ამნიონი გარსი	რეპტილიები
ნაგრძელებული კიდურები, დიფერენცირებული კბილები, სარძევე ჯირკვლები, თვალის მდებარეობა და თბილსისხლიანობა	უმარტივესი ძუძუმწოვრები
პლაცენტა, ცოცხლად მშობიარობა	სხვადასხვა პლაცენტიანი ძუძუმწოვრები

კ. ლინემ ცხოველთა სამეფოს კლასიფიკაციაში ადამიანი მოათავსა პრიმატთა რიგში. ამავე რიგშია გაერთიანებული ადამიანისმაგვარი მაიმუნები, უმდაბლესი მაიმუნები და ნახევრად მაიმუნები. ჰომინოიდთა კლასიფიკაცია ნაჩვენებია ცხრილში 11.4. მიუხედავად მრავალწლიანი ინტენსიური შრომისა, ჰომინოიდთა ტაქსონომია არ შეიძლება ჩაითვალოს სრულყოფილად. იგი განიცდის დახვეწას, განსაკუთრებით ახალი ბიოქიმიური საკლასიფიკაციო მეთოდების გამოყენებით. ამიტომ საჭირო გახდა დაზუსტდეს ორი ტერმინის, ჰომინოიდისა და ადამიანის ცნება. ძველად ორივე ტერმინი სინონიმად იხმარებოდა. დღეს კი შეიძლება შეცდომის წყაროდ იქცეს და მკვლევართა შორის გაუგებრობა გამოიწვიოს.



სურ.11.36. შიმპანზეთა და ჰომინიდთა განვითარების გზები გაიყო დაახლოებით ექვსი მილიონი წლის წინ. სავარაუდოდ, მათ შორის იყო რამდენიმე ჩიხი.

ჩვენ არ ვიცით, რა განსხვავებაა ამომწყდარ და შემორჩენილ ჰომინოიდთა შორის. ამიტომ ჰომინოიდი უნდა ვიხმაროთ ყველა იმ პოპულაციათა და სახეობათა მიმართ, რომლებშიც ჩვენ გვაერთიანებს ზოგადად ევოლუციური ისტორია. „ძველ ჰომინოიდად ითვლებიან ის ჰომინოიდები, რომლებმაც მოაღწიეს Homo sapiens-ის გაჩენამდე (ტერმინი „ადამიანი" უნდა ვიხმაროთ მხოლოდ დღეს არსებულ ჰომინოიდთა ერთი ქვესახეობა Homo sapiens sapiens-ის მიმართ *(სურ. 11.36)*.

დადგენილია, რომ ჰომინოიდთა ბიოლოგიური ევოლუცია 14 მილიონი წელი გრძელდება, რის შედეგადაც ადამიანმა მიიღო დაახლოებით იმდაგვარი ანატომიური აგებულება, როგორიც დღეს აქვს. ბიოლოგიური ევოლუციის შემდეგ იწყება კულტურული ევოლუცია, რომელიც 2 მილიონ წელს მოიცავს. ეს პროცესი არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს კულტურული ევოლუციის დაწყებით წყდება ბიოლოგიური ევოლუცია. ეს უკანასკნელი მიმდინარეობს კულტურულ

ცხრილი 11.4.
პომინოიდთა ტაქსონომია

ტაქსონი	დასახელება	ტაქსონში გაერთიანებული ცხოველები
კლასი	Mammalia	ყველა თბილსისხლიანი, სხეული დაფარული აქვთ ბალნით
რიგი	Primates	ნახევრად მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ქვერიგი	Haplorbini	გრძელტერფიანი მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ინფრარიგი	Catarrhini	„ძველი სამყაროს" მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ზეოჯახი	Hominoidea	ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ოჯახი	Hominidae	ადამიანი და მისი ნინაპარი ადამიანი
გვარი	Homo	ადამიანი
სახე	Homo sapiens	ნეოანთროპი
ქვესახე	Homo sapiens sapiens	ანატომიურად თანამედროვე ადამიანი

ევოლუციის პარალელურად და იგი დღესაც გრძელდება. ე. ი. მიმდინარეობს ბიოკულტურული ევოლუცია, რის შედეგადაც ადამიანი ბიოსოციალურ ინდივიდად ჩამოყალიბდა.

პ. ფოული სავსებით სამართლიანად აღნიშნავს, რომ გაადამიანების პროცესის მიმართ კულტურული ევოლუციის ნაცვლად უნდა ეიხმაროთ ადეკვატური ტერმინი — ქცევის ევოლუცია, ვინაიდან კულტურა ქცევის ევოლუციის შედეგია და არა ფაქტორი. ევოლუციის შედეგად თავის ტვინის მოცულობის გაზრდამ და ნეირონთა დიფერენცირებამ ადამიანის ნინაპრებს გაუფართოვა ქცევითი რეპერტუარი, რამაც გადამწყვეტი როლი ითამაშა გაადამიანების პროცესში. ცნობისმოყვარეობის საფუძველზე ადამიანს გაუჩნდა შრომის მოთხოვნილება. შრომას არ შეუქმნია ადამიანი, შრომა იყო თავის ტვინის მოთხოვნილების შესაბამისი პროცესი.

მოსაზრება, რომ ადამიანი ჩამოყალიბდა ეოლუციურ და ეკოლოგიურ პრინციპთა საფუძველზე, ემყარება ერთ ძირითად თვალსაზრისს. ადამიანის ქვესახეობა განიხილება, როგორც ბიოლოგიური ორგანიზმი, ხოლო ჩვენ, ცალ-ცალკე აღებული, ვართ სხვადასხვა ეკოლოგიურ პირობებში ჩამოყალიბებული ევოლუციის შედეგი. პითაგორამ აღნიშნა, რომ „ადამიანი ცხოველის ნათესავია". ადამიანის ცხოველურ ნარმოშობაზე საინტერესო შეხედულებები აქვს გამოთქმული ლამარკს „ზოოლოგიის ფილოსოფიაში" 1809 წ. ლამარკზე ადრე 1760 წელს ლინემ გამოაქვეყნა ნაშრომი „ადამიანთა ნათესავები", რომელშიც განიხილავს შინაგან და გარეგან ნიშანთა მსგავსებას ადამიანსა და მაიმუნებს შორის.

ამ მოსაზრებათა სარწმუნოობა მტკიცდება შემთხვევით მოპოვებული 50 ადამიანის ბიოგრაფიით. საუბარი ეხება ჩვილ ბავშვებს, რომლებიც უბედური შემთხვევის გამო ჩამოშორდნენ ადამიანთა გარემოს და იზრდებოდნენ ცხოველებში, ძირითადად მგლებს შორის. რამდენიმე წლის შემდეგ ამ ბავშვთა ქცევები შეისნავლეს ფსიქოლოგებმა. აღმოჩნდა, რომ ბავშვები ვერ ლაპარაკობდნენ, მოძრაობის დროს იყენებდნენ ხელებს და გაუჭირდათ ლაპარაკის სწავლა. დამტკიცდა, რომ საზოგადოებისაგან იზოლირებული ადამიანი პირველსაყე თაობაში კარგავს ადამიანისათვის დამახასიათებელ თვისებებს. მათი ქცევები მაიმუნების ქცევებს უახლოვდება.

ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლეს 3,5 მილიარდ წელზე მეტი ხნის ისტორია აქვს. Homo sapiens sapiens-ი არის ძუძუმწოვართა შორის ყველაზე გვიან წარმოშობილი ქვესახეობა. იგი წარმოიშვა დაახლოებით 60.000-100.000 წლებს შორის, ხოლო მისი გადაშენებული შორეული წინაპრები 5-6 მილიონი წლის წინათ ცხოვრობდნენ.

ანთროპოგენეზის ეტაპები. ანთროპოლოგთა უმრავლესობის აზრით „კლასიკური ხაზობრივი მოდელი ადამიანისმაგვარი მაიმუნიდან დღევანდელ ადამიანამდე შემდეგნაირია:

1. Ramapithecus (Rama-ინდურად ღმერთია, Pitecus-ბერძნულად მაიმუნია) არსებობდა 8-14 მილიონი წლის წინათ. მოპოვებულია მისი ქვედა ყბის ნაწილები. ვარაუდობენ, რომ მას სახის ძვლები ბრტყელი, ხოლო ქვედა ყბა ოდნავ გამონეული ჰქონდა.

2. Australopitecus (Austral-ლათინურია, ნიშნავს სამხრეთელს) არსებობდა 1,5-5 მილიონი წლის წინათ. მისი სახე ბრტყელი იყო, სხეულის პოზა - ეერტიკალური. პირველი პრიმატებია, რომლებმაც დაიწყეს გამართული სიარული. ჰქონდათ მასიური თავის ქალა დიდი კბილებით, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ იკვებებოდნენ მცენარეებით. მათში გამოყოფილია სამი ჯგუფი A. afarensis, A. afriecanus და A. Gachreighazaci.

3. Homo Habilis (ადამიანი ხელმარჯვე) არსებობდა 1,5-2 მილიონი წლის წინათ. იყო ვერტიკალური პოზით მოსიარულე და ჰქონდა ავსტრალოპითეკებზე დიდი ტვინი. იყენებდა სხვადასხვა იარაღს. გავრცელებული იყო აღმოსავლეთ და სამხრეთ აფრიკაში.

4. Homo erectus (ამართულად მოსიარულე ადამიანი) არსებობდა ერთი მილიონი წლის წინათ. იყენებდა ცეცხლს, უმთავრესად ქვის იარაღებს. აშკარად შეიმჩნევა ნადირობის კვალი. მრავალფეროვანი გახდა საკვები.

5. Homo neanderthalensis (ნეანდერტალი იმ ველის სახელწოდებაა, სადაც პირველად იპოვეს) არსებობდა 0,5 მილიონი წლის წინათ. მორფოლოგიური და კულტურული ჩვენებით ძალიან ჰგავს ადამიანს. ამიტომ Homo sapiens-ის ქვესახედ თვლიან.

6. Homo sapiens sapiens—თანამედროვე ადამიანი.

მოლეკულური ბიოლოგიის კვლევის მეთოდების გამოყენებამ პალეოანთროპოლოგიაში მოახდინა ჩვენი წარმოდგენების ტრანსფორმაცია ადამიანის ევოლუციის ადრეულ პერიოდზე. ადამიანის სავარაუდო წინაპრების ჩონჩხის ნაშთების შესწავლით, ასევე შედარებითი ანატომიისა და შედარებითი გენეტიკის მეშვეობით, მხოლოდ პრიმატთა ფილოგენეზური ხის აგება ხერხდება. ამ გზით ადამიანის ევოლუციის მექანიზმების ანალიზი შეუძლებელია.

მოლეკულურმა ქრონომეტრმა ცვლილებები შეიტანა ანთროპოგენეზის ეტაპების დათარიღებაში, რაც ეფუძნებოდა ანთროპოლოგთა კლასიკურ მონაცემებს. პირველი ჰომინოიდი გამოეყო უმაღლეს პრიმატებს არა 15 მილიონი (როგორც ადრე ითვლებოდა), არამედ 5 მილიონი წლის წინათ.

ლუკოტმა ადამიანისა და შიმპანზეს ქრომოსომების ერთმანეთთან შედარებისას მათ შორის დიდი მსგავსება აღმოაჩინა: მათი გენების 99% იდენტური აღმოჩნდა. გუდმენის გამოკვლევებით კი დადგინდა, რომ შიმპანზესა და ადამიანის ანტიგენებიც პრაქტიკულად ერთგვაროვანია. ისინი წარმოშობილია ერთი წინაპრიდან 5 მილიონი წლის წინათ. საკითხავია, რომელთან უფრო ახლოს იდგა ეს საერთო წინაპარი: ადამიანთან თუ შიმპანზესთან? გაურკვეველმა ვითარებამ ზოგიერთ ანთროპოლოგს მისცა საბაბი ნამოეყენებინა შეხედულება, რომ შიმპანზე ადამიანისაგან წარმოიშვა.

აღიარებული ფაქტია, რომ აფრიკული შიმპანზე და გორილა ითვლება ადამიანის ახლო ნათესავად, ხოლო აზიური გიბონი და ორანგუტანგი კი არა, რაც შემდეგი მოსაზრებით აიხსნება: აფრიკული და აზიური მაიმუნები დაშორდნენ ერთმანეთს გაცილებით ადრე, ვიდრე მოხდებოდა შიმპანზეს, გორილასა და ადამიანის საერთო წინაპრიდან ერთდროული დივერგენცია. ამ შეხედულების საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ ზემოთ აღნიშნულ სახეობებს შორის ბირთვული დნმ-ის პროცენტული განსხვავება:

ადამიანი — გორილა 1,4%	ადამიანი — ორანგუტანგი 2,4%
ადამიანი — შიმპანზე 1,2%	გორილა —ორანგუტანგი 2,4%
გორილა — შიმპანზე 1,2%	შიმპანზე — ორანგუტანგი 1,8%

საინტერესო ცნობა გამოაქვეყნეს პრინსტონის უნივერსიტეტის თანამშრომლებმა იმის შესახებ, რომ ნეანდერტალელი ადამიანი არ შეიძლება ჩაითვალოს თანამედროვე ადამიანის წინაპრად, ვინაიდან მისი დნმ არ შეესაბამება ადამიანის დნმ-ს. ნეანდერტალელს და ადამიანს ჰყავდა საერთო წინაპარი. ნეანდერტალელის ევოლუცია მიმდინარეობდა ევროპაში და სახეობა ამოწყდა. ადამიანის ევოლუცია კი მიმდინარეობდა აფრიკაში და მის შთამომავლებად ითვლებიან თანამედროვე ადამიანები. ადამიანი და ნეანდერტალელი ერთდროულად ცხოვრობდნენ.



სურ.11.37. ინგლისელი ანთროპოლოგის რიჩარდ ნივის მიერ რეკონსტრუირებული „აფრიკელი ევას" სკულპტურა. სკულპტურა შექმნილია ლონდონის საბუნებისმეტყველო ისტორიის მუზეუმში არსებული 100 ათასი წლის წინ აფრიკაში მცხოვრები ქალების თავის ქალათა ანალიზის საფუძველზე. „აფრიკელი ევას" შემდეგ სავარაუდოდ 7-10 ათას თაობას უნდა ეცხოვრა. დღეს ჩვენს პლანეტაზე მცხოვრები ყველა ადამიანის გენომი შეიცავს იმ მცირე გენეტიკურ ინფორმაციას, რომელიც მას საერთო წინაპარი დედისაგან აქვს მიღებული

ანთროპოლოგიური კვლევების მოლეკულურ დონეზე გაფართოების მიზნით მრავალი ლაბორატორიისაგან შეიქმნა საერთაშორისო კონსორციუმი. დაინყო ინტენსიური კვლევა „პრიმიტიულ ხალხთა დნმ-ის განსხვავება-მსგავსების დასადგენად. ჩატარებული სამუშაოებიდან გამოსაყოფია ერთი ფაქტი, რომელიც ჯერ კიდევ არ შეიძლება ჩაითვალოს დადასტურებულად. ეს ფაქტი ერცელდება პიგმეების ერთ ტომზე — აკაზე, რომელიც დნმ-ის მოლეკულის სტრუქტურის დონეზე ითვლება ადამიანის სავარაუდო წინაპრად.

1987 წელს მოლეკულური ანთროპოლოგიის წარმომადგენლებმა დღეს მცხოვრებ სხვადასხვა რასის ადამიანთა დნმ-ის მოლეკულაში მომხდარი გენთა მუტაციების ინტერპოლაციის მეთოდის გამოყენებით გამოაქვეყნეს სენსაციური ცნობა. დადგენილია იმ ჰიპოთეტური პირველი ქალის არსებობის თარიღი, რომელიც ითვლება ყველა ადამიანის დედად. მას უნდა ეცხოვრა 200-300 ათასი წლის წინათ. მოგვიანებით თარიღი შეცვალეს ახალი ვერსიით. იგი მოიცავს 140-290 ათას წელს.

ამ თარიღის დადგენით მეცნიერებს შორის ისევ განახლდა კამათი იმის თაობაზე, თუ როდის და როგორ გაჩნდა ადამიანი. ამავე დროს, თითქოს დადასტურდა ადამისა და ევას გაჩენის ლეგენდა, რომელიც არსებობდა მსოფლიოს ხალხთა კულტურებში სხვადასხვა ვარიაციით ჯერ კიდევ ბიბლიის შექმნამდე. ეს ცნობები შემოგვინახა ხმელთაშუა ზღვის, აფრიკის, ამერიკისა და სამხრეთ ნახევარსფეროს კუნძულებზე მცხოვრებ აბორიგენთა მითოლოგიამ.

დედამინაზე არსებული პირველი მდედრის არსებობის თარიღის დადგენა არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს ანთროპოლოგები ამტკიცებენ, რომ აღმოჩენილია კონკრეტულად ის პირველი ქალი, რომელმაც დასაბამი მისცა შემდგომ თაობებს. დათარიღება მოხდა მიტოქონდრიული დნმ-ის მუტაციების მეშვეობით. ცნობილია, რომ ქალისა და მამაკაცის მიტოქონდრიებში დნმ ყოველთვის ქალის მხრიდან მემკვიდრეობს. ამიტომ ამ ქალს პირობითად ევა დაარქვეს. ევა არის თეორიული ექსპერიმენტის შედეგად დათარიღებული ქალი, რომლის გენებიც არსებობს დღევანდელი სხვადასხვა რასის წარმომადგენელ ყველა ადამიანში. კლასიკური ანთროპოლოგიისაგან განსხვავებით, მოლეკულურ-ბიოლოგიურმა საათმა გვიჩვენა შედარებით ზუსტი დრო,

თუ საიდან იღებს სათავეს დღევანდელ ადამიანთა უშუალო წინაპარი. ამასთანავე, ამ მეთოდმა უფრო დაგვაახლოვა ჩვენს წინაპრებთან, განსხვავებით კლასიკური ანთროპოლოგიისაგან, რომელიც აჩვენებდა გაცილებით შორეულ დროს.

გამოთქმულია ვარაუდი, რომ ევა კარგად განვითარებული კუნთების წყალობით მოძრაობდა სწრაფად. ხმარობდა ქვის იარაღებს და ცხოვრობდა აფრიკაში *(სურ.11.37)*. კლასიკური ანთროპოლოგიის მიმდევართა მიახლოებითი გამოთვლებით დადგენილია, რომ ევადან დღემდე უნდა ეცხოვრა 7-10 ათას თაობას. მოლეკულური ანთროპოლოგიის წარმომადგენლები ამ რიცხვს არ ეთანხმებიან.

საინტერესოა, თუ როგორ ხდებოდა ევას ძებნა. ბერკლის უნივერსიტეტში რებეკა კანმა, ელან უილსონმა და მარკ სტოუნკინგმა შეისწავლეს შტატების 147 ფეხმძიმე ქალის პლაცენტა. ქალები დააჯგუფეს გარკვეული პრინციპით. პლაცენტა გამოიყენეს იმიტომ, რომ იგი ორგანიზმის დიდი წარმონაქმნია და მისი მიღება შედარებით ადვილია. მეცნიერებმა ცალ-ცალკე შეისწავლეს აგრეთვე აფრიკის, ევროპისა და აზიის ქვეყნებში მცხოვრები ქალების პლაცენტა. პლაცენტას იღებდნენ ავსტრალიისა და ახალი გვინეის აბორიგენებისაგანაც, ყინავდნენ ადგილზე და ჩამოჰქონდათ ბერკლის უნივერსიტეტში გამოსაკვლევად. სპეციალური მეთოდით პლაცენტიდან მიიღებოდა მიტოქონდრიული დნმ და ტარდებოდა გენეტიკური ანალიზი მოლეკულურ დონეზე. თითოეული პლაცენტიდან მიღებული დნმ დაშლილი იყო ფრაგმენტებად და ხდებოდა მუტაციების განაწილების სტატისტიკური ანალიზი. დადგინდა საინტერესო ფაქტი. მიუხედავად კარგად გამოხატული რასული მორფოლოგიური ნიშნებისა, განსხვავება მიტოქონდრიული დნმ-ის დონეზე არ აღმოჩნდა, ან თუ აღმოჩნდა, უმნიშვნელო იყო. ეს კი იმას მიგვანიშნებს, რომ სხვადასხვა რასა საერთო წინაპრიდან ყოფილა წარმოშობილი.

ბუნებრივად ისმის კითხვა, სად უნდა გაჩენილიყო ევა? ბერკლის უნივერსიტეტის მკვლევრებმა დნმ გაყვეს ორ ჯგუფად: პირველი წარმოადგენს აფრიკულ ხაზს, ე. ი. იმ დნმ-ს, რომელშიც აღმოჩნდა მეტი მუტაცია. ამ დნმ-ის მატარებელ ინდივიდებს უფრო დიდი ხნის განმავლობაში უნდა ეცხოვრათ აფრიკაში. რომელიღაც პერიოდში აფრიკიდან ინყება მიგრაცია და ადამიანების განსახლება სხვა კონტინენტებზე. ამას ადასტურებს დნმ-ის მოლეკულა, რომელშიც მუტაციები ნაკლები რაოდენობითაა ნაპოვნი.

ემორის უნივერსიტეტის მოლეკულური გენეტიკის წარმომადგენლებმა, რომელთაც ხელმძღვანელობდა დუგლას უილსონი, ჩაატარეს გამოკვლევა ოთხ კონტინენტზე მცხოვრებ ადამიანთა მიტოქონდრიულ დნმ-ზე. მათ შეისწავლეს 700 ადამიანის სისხლის უჯრედების მიტოქონდრიული დნმ. ამ ჯგუფმა დაადასტურა, რომ თანამედროვე ადამიანი სათავეს იღებს ქალიდან, რომელსაც უნდა ეცხოვრა 150-200 ათასი წლის წინათ. ბერკლის უნიეერსიტეტის მკვლევარებისაგან განსხვავებით, ემორის უნივერსიტეტის წარმომადგენლებმა ნახეს განსხვავება სხვადასხვა რასის დნმ-ებს შორის. მათვე აჩვენეს, რომ ადამიანისმაგვარ მაიმუნებთან დნმ-ის მსგავსება უფრო ხშირად გვხვდება აზიაში. ამიტომ დაუშვეს, რომ ადამიანის საერთო ძირის პოვნა შეიძლება აზიაშიც. შესაძლოა, ევას ეცხოვრა ჩინეთში და მიუთითებენ მის სავარაუდო არეალსაც, სამხრეთ-აღმოსავლეთ ჩინეთს. დ. უილსონი გვაფრთხილებს, რომ ეს არის მათ მიერ მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების ერთ-ერთი სავარაუდო ინტერპრეტაცია.

დღეს მიტოქონდრიული დნმ-ის ანალიზს დაემატა ბირთვული დნმ-ის ანალიზის შედეგებიც და მკვლევართა უმრავლესობა უპირატესობას ანიჭებს ევას აფრიკულ წარმოშობას. ამ მოსაზრებას აძლიერებს ის ფაქტიც, რომ თანამედროვე ადამიანის წინაპართა ფორმები ნაპოვნია აფრიკაში. მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემების საფუძველზე, ანთროპოლოგთა კლასიკური მონაცემების გათვალისწინებით, შეიქმნა ისეთი წარმოდგენა, რომ პირველ ადამიანს უნდა ეცხოვრა 200 ათასი წლის წინათ დღევანდელი ცენტრალური აფრიკის რესპუბლიკის ტერიტორიაზე.

1999 წ. 24 ივლისს ქართველმა და გერმანელმა არქეოლოგებმა დმანისის ნაქალაქარში ადამიანის წინაპრის თავის ქალა აღმოაჩინეს. ექსპერტ-მეცნიერთა მიერ ჩატარებული გამოკვლევებით ქალას ასაკი დაახლოებით 1,8 მილიონი წლით თარიღდება. დმანისში აღმოჩენილი მასალით მტკიცდება, რომ ადამიანის წინაპარი წარმოშობის კერიდან — აფრიკიდან განსახლდა და ახალი საცხოვრებელი ტერიტორია – კავკასია დაიკავა. ამ აღმოჩენით ორჯერ გაიზარდა ევროპაში ადამიანის არსებობის ისტორიის ხანგრძლივობა.

ადამიანის თავის ტვინის ევოლუცია. ბუნებრივად იბადება კითხვა, რატომ მოხდა, რომ ეოლუციური პროცესის შედეგად მარტო პრიმატთა ერთმა ჯგუფმა შეძლო ჩამოყალიბებულიყო მაღალორგანიზებულ გონიერ ადამიანად, რომელსაც გააჩნია მისთვის საჭირო პირობების კოლექტიური შრომით შექმნის უნარი. ამ მოვლენას ყურადღება ჯერ კიდევ არისტოტელემ მიაქცია; მისი აზრით, „ადამიანი თავისი ბუნებით საზოგადოებრივი ცხოველია“.

პალეონტოლოგებმა დაამტკიცეს, რომ ადამიანებამდე არსებობდნენ სტენონიხოზაერები და დელფინები, რომლებსაც განვითარებული ტვინი ჰქონდათ. 100 მილიონი წლის წინათ დედამიწაზე ცხოვრობდა ხელიკი, თბილსისხლიანი, 1,5 მ, რომელიც უკანა ორი ფეხით მოძრაობდა, წინა სამ თითიან კიდურებს ხელებად იყენებდა. გააჩნდა სამი თითი გამოხატულად განვითარებული დიდი თითით. კანადელი დეილ რასელის ინფორმაციით, ნაპოვნია ამ ცხოველის გადამარხებული გული, რომელიც ადამიანის მსგავსად ოთხსაკნიანი იყო. მის თავის ქალაში თავისუფლად თავსდება შიმპანზეს ტვინი. ცხოველები ცხოვრობდნენ ჯგუფურად, მონესრიგებული ყოფით. როდესაც ჯგუფურად სანადიროდ მიდიოდნენ, ნაწილი რჩებოდა და უვლიდა ბავშვებს. საკვებად საერთო მონაპოვრიდან ხორცს იყენებდნენ. ეს პატარა ხელიკები ამონყდნენ დიდ დაბალგანვითარებულ ხელიკებთან ერთად.

მეორე ცხოველი, რომელსაც ჰქონდა თეორიული საშუალება მომავალი ადამიანის კონკურენტი გამხდარიყო, იყო დელფინი, დელფინებში 47 მილიონი წლის წინ მოხდა გაურკვეველი წარმოშობის მუტაცია, რომლის

შედეგად ის ჩვენს პლანეტაზე ყველაზე ჭკვიანი ცხოველი გახდა. ძველი დელფინების ქალის ანალიზით დადგინდა, რომ ამ ჯგუფში 20 000 000 წლის შემდეგ დიდი მუტაცია მომხდარა, რომლის შემდეგ ძველი დელფინები გამხდარან ისეთები, როგორებსაც დღეს ვუყურებთ.

სრულიად ლოგიკურია, რომ მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემები გავავრცელოთ ჩვენი შორეული წინაპრების თავის ტვინის ევოლუციაზე. საკვებთან ერთად ორგანიზმში მოხვედრილმა სხვადასხვა ქიმიურმა ნივთიერებამ გამოიწვია მუტაციები, რის გამოც თავის ტვინის მოცულობა გაიზარდა. საკვარაუდოა, რომ მუტაციების წარმოქმნის შედეგად ჩვენმა შორეულმა წინაპრებმა სხეულის ვერტიკალური მდგომარეობა მიიღეს. წარმოიშვა ფიქსირებული ქცევების ახალი კომპლექსები. ვერტიკალურმა პოზამ უფრო გააადვილა ზრუნვა შთამომავლობაზე. ჩვილის ხელში აყვანა და გადაადგილება, რაც დამახასიათებელია ბევრი ძუძუმწოვარა ცხოველისათვის, იოლი გახდა საკვების მოპოვება. ზედა კიდურების გამოთავისუფლებამ შეცვალა ქცევების თანდაყოლილი სახეები. გაიზარდა ქცევითი რეპერტუარი, რამაც გადამწყვეტი როლი ითამაშა მომდევნო ევოლუციურ პროცესში. ამ ფაქტის საილუსტრაციოდ ცხრილში (ცხრილი 11.5) შედარებულია ჩვენი შორეული წინაპრების ზოგიერთი ქცევა ადამიანისმაგვარი მაიმუნების ქცევებთან.

ცხრილი 11.5.

ადამიანისმაგვარ მაიმუნთა და პომინოიდთა ქცევის ზოგიერთ ფაქტორთა შედარება

პომინოიდები	ადამიანისმაგვარი მაიმუნები
თავის ტვინის მოცულობა იზრდება. ახასიათებს მუდმივი სექსუალური ქცევები.	თავის ტვინის მოცულობა არ იზრდება. ახასიათებს სექსუალური ქცევები მენსტრუალური ციკლისას.
ტიპური მინის ბინადარია.	ცხოვრობს ხეზე, ზოგიერთები — ხეზე და მინაზე.
მოძრაობს ორი ფეხით.	არ მოძრაობს ორი ფეხით (პატარა მანძილზე შეუძლია ორი ფეხით გადაადგილება).
წყვილდებიან და ქმნიან „ნუკლეალურ" ოჯახს.	არ წყვილდებიან. გამონაკლისია გიბონი. არ ქმნიან „ნუკლეალურ" ოჯახს.
მდედრების მოძრაობა ნაშიერებთან ერთად შეზღუდულია, ქმნიან მუდმივ საარსებო გარემოს.	მდედრები მუდმივად მოძრაობენ ნაშიერებთან ერთად, მუდმივი საარსებო გარემო არ გააჩნიათ.
საკვებს იყოფენ.	საკვებს არ იყოფენ.
ზრუნავენ რამდენიმე შვილზე.	ზრუნავენ მხოლოდ ერთ შვილზე.
ამზადებენ და იყენებენ იარაღს.	არ ამზადებენ იარაღს. არასისტემატურად იყენებენ გარემოში არსებულ საგნებს.

ისმის კითხვა: აქვს თუ არა მნიშვნელობა თავის ტვინის აბსოლუტურ წონას ცხოველთა და ადამიანთა ქცევითი პროცესების რეგულირებაში? ირკვევა, რომ არა. ადამიანებში დიდი თავის ტვინი ჰქონდა ერთ იდიოტს (2 კგ-ზე მეტი). საქვეყნოდ აღიარებული გენიოსის, ლეიბნიცის ტვინი 1257 გრამზე ნაკლებს იწონიდა, ბისმარკისა — 1867 გრამს. იყო კი ბისმარკი ლეიბნიცზე ჭკვიანი? საინტერესოა გადავხედოთ გამოჩენილ ადამიანთა თავის ტვინის წონას, გამოხატულს გრამებში:

მათემატიკოსი პაუსი	2400	კომპოზიტორი	1750
ინგლისელი კრომველი	2300	ბეთჰოვენი	
პოეტი ბაირონი	2338	ფილოსოფოსი კანტი	1600
მწერალი ტურგენევი	2012	მწერალი შილერი	1560
პოეტი ესენინი	1920	ფიზიკოსი სახაროვი	1440
ზოოლოგი კიუვიე	1872	პოლიტიკოსი ლენინი	1325
პოეტი უიტმენი	1264	მწერალი ფრანსი	1017

ცხოველებში ყველაზე დიდი ტვინი აქვთ ვეშაპებს: 6000-7000 გრამამდე. სპილოებს - 4000 გ, დელფინებს - 3000 გ. ეფექტური კრიტერიუმი გამოდგა თავის ტვინის წონის შეფარდება სხეულის წონასთან. ასეთი მახასიათებლით ადამიანი სჯობნის ყველა დიდ ძუძუმწოვარს.

ზემოთ აღინიშნა, რომ ადამიანის გონიერებისათვის ტვინის წონას არა აქვს მნიშვნელობა. თუ კარგად დავაკვირდებით ცხრილში 11.6. მოყვანილ ციფრებს, ცხადი გახდება, რომ გაადამიანების პროცესში დიდი როლი შეუსრულებია ტვინის მასის მატებას. მაშ რაშია საქმე? ტვინის ცეფალიზაცია ევოლუციურად უდავოდ დიდი მოვლენა იყო. მაგრამ უფრო დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა მის სტრუქტურულ ცვლილებას. ადამიანის ტვინმა ცხოველებთან შედარებით დიდი ცვლილება განიცადა, ახალი ქერქი უფრო განვითარდა და დანაოჭებული გახდა, წარმოიშვა ახალი, კერძოდ, ვარსკვლავის ტიპის ნეირონები, რომლებიც ყველაზე დიდი რაოდენობით არსებობს ახალი ქერქის სენსორულ ცენტრებში. ვარსკვლავისმაგვარი ნეირონები სხვა ნეირონებისაგან იმით განსხვავდება, რომ მათი აქსონები ბოლოვდება საკუთარი სხეულებით. ამას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მეხ-

სიერებისათვის, რადგანაც შესაძლებელი ხდება ნერვულ იმპულსთა რევერბერაციის გახანგრძლივება. ეს კი ხანმოკლე მეხსიერების საფუძველია. ადამიანის გარდა, ამგვარი ნეირონები აღმოაჩნდათ დელფინებსა და მაიმუნებს. ასეთ ნეირონთა არსებობა სხვა ცხოველებში იშვიათობას წარმოადგენს.

დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ტვინის ლატერალიზაციას, რაც კარგად არის გამოხატული ადამიანებში, განსაკუთრებით ქალებში. ლატერალიზაციამ გაზარდა ტვინის მოქმედების საიმედოობა, დიდი მოცულობის ინფორმაციის მიღება და გადამუშავება.

1871 წელს თავის ნაშრომში „ადამიანის წარმოშობა" დარვინი ამტკიცებს, რომ ჭკუაში განსხვავება ადამიანსა და ცხოველებს შორის რაოდენობრივი ხასიათისაა და არა თვისობრივი. ბუნებრივია, დარვინისათვის უცნობი იყო ის კოგნიტური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობს თავის ტვინში. ამიტომ აუცილებელია გავაანალიზოთ ერთი ექსპერიმენტი, რომელსაც ბოლო ათი წლის განმავლობაში ნეირობიოლოგიის ყველაზე დიდ მიღწევად თვლიან. 1990 წელს პარმის უნივერსიტეტის თანამშრომელთა ჯგუფმა ჯაკომო რიზოლატიმ, ვიტორიო გალეზემ და ლეონარდო ფოგასიმ მაკაკას თავის ტვინში აღმოაჩინეს მიმეზისის უნარის მქონე ნეირონები. მიმეზისი ნიშნავს კოპირებას, მიბაძვას, იმიტაციას. ასეთი ნეირონების არსებობა მოულოდნელი და დაუჯერებელი იყო. ამიტომ ჯგუფმა შედეგები არ გამოაქვეყნა დიდი ხნის განმავლობაში. ისინი ატარებდნენ ექსპერიმენტებს დარწმუნების მიზნით.

ცხრილი 11.6

ადამიანის უშუალო წინაპართა სავარაუდო ფილოგენეზი

ადამიანის სავარაუდო წინაპრები	არსებობა მილიონი წლის წინ	თავის ტვინის მოცულობა სმ3	აღმოჩენის თარიღი და ადგილი	დახასიათება
Australopithecus afarensis	6	400-500	1974, ჰადარი, ეთიოპია	ვერტიკალურად მოსიარულე, ცხოვრობდა აღმ. აფრიკის მთელ ტერიტორიაზე. ლუსი.
Australopithecus africanus	5	400-500	1924, კონგო, აფრიკა	გრძელი ხელები, მოქნილი სხეული, ლუსის შთამომაეალი. ცხოვრობდა ჯგუფებად.
Australopithecus robustus	4	530	1938, აფრიკა	ითელება აფრიკანუსის ნათესავად, მემკვიდრეობა არ დაუტოვებია.
Homo habilis	3	600-800	1960, ოლდუვაი, ტანზანია	პირველი სახეობა, რომელიც მიეკუთვნება Homo -ს ოჯახს. პირველად იყენებს შრომის იარაღს.
Homo erectus	2	750-1250	1891, იავა	პირველი სახეობა, რომელიც გამოდის აფრიკიდან, ვრცელდება ნინა და შუა აზიაში ჩინეთამდე.
Homo sapiens sapiens	1	1200-1700	1868, კრომანიონი, საფრანგეთი	ფიქრობს ადამიანის წარმოშობაზე და მის ევოლუციაზე.

მაკაკას მიკროელექტროდი ჩანერგილი ჰქონდა მარცხენა ჰემისფეროს Ф5 ზონაში. ეს ზონა შეესაბამება ადამიანების ბროკას ცენტრს, რომელიც მეტყველების მოტორული ცენტრია. ამ ზონის ნეირონები აქტივდებოდა მაშინ, როდესაც მაკაკა მიზანმიმართულ მოტორულ აქტივობას იწყებდა. როდესაც ექსპერიმენტატორი მაკაკას აჩვენებდა, რა უნდა გაეკეთებინა, Ф5 ზონის ნეირონი ისე იყო გააქტიურებული, თითქოს თვითონ ასრულებდა იმ მოძრაობას, რომელსაც აჩვენებდნენ. თუ ის საგნები, რომლებიც უნდა გამოეყენებინა ელაგა იატაკზე — ნეირონი არ პასუხობდა. ცნობილია, რომ ამ ზონაში მიიღება გადაწყვეტილება, თუ როგორი ქცევა უნდა განხორციელდეს. აღწერილ ექსპერიმენტში მაკაკა რეაგირებდა ისე, როგორც სარკეში. ასეთ ნეირონს სარკისებრი ეწოდა.

ამავე ჯგუფმა ამავე ხასიათის ცდები გაიმეორა ორ შიმპანზეზე. იმავე ზონაში ჩანერგილ ელექტროდებიანი შიმპანზე ზის და ჭამს არაქისს — ნეირონი გააქტიურებულია. ცოტა ხნის შემდეგ, როდესაც ცხოველი იმავე პოზაშია, მაგრამ არ ჭამს, შემოდის ექსპერიმენტატორი, აკეთებს იმიტაციას, თითქოს არაქისის შეჭმას აპირებდეს. შიმპანზე არ მოძრაობს, მიშტერებულია შემოსულზე. ამ პირობებში ნეირონი კვლავ გააქტიურებულია.

მკვლევართა შედეგები გამოქვეყნდა 1996 წელს. პოპულარული გახდა და ძალიან სწრაფად დაინყო ექსპერიმენტები ადამიანზე. სარკისებრი ნეირონები აღმოაჩინეს ზოგიერთ მგალობელ ფრინველშიც. თავის ტვინში მეცნიერებმა დაადგინეს სარკისებრი სისტემის არსებობა. სისტემისა, რომელიც მონაწილეობს კოგნიტური პროცესების განხორციელებაში. ექსპერიმენტალურად დადგინდა, რომ სარკისებრი ნეირონები ძალიან სწრაფად აფიქსირებენ დაკვირვებულ სიტუაციებს, ერკვევიან ადამიანთა იმიტაციებსა და მათ ემოციურ მდგომარეობაში. როდესაც ადამიანი შეწუხებული, დაძაბულ, მტირალ პიროვნებას უყურებს თვითონაც წუხდება. ასეთი განცდის შექმნა იწყება სარკისებრი ნეირონების გააქტიურებით. ასეთივე სურათის დადებითი ემოციების გამოხატულებაშიც, როდესაც ადამიანი სასიამოვნო გარემოში ხვდება. სარკისებრი ნეირონები აქტიურ მონაწილეობას იღებენ სწავლაში და მეტყველების ჩამოყალიბებაში. სარკისებრი ნირონების მეშვეობით ადამიანმა შექმნა და დახვეწა კულტურა, შექმნა სოციალურ ურთიერთობათა კანონები.

თავი 12. ბიომეტრიის ელემენტები*

ბიოლოგიური, ან სხვანაირად ვარიაციული სტატისტიკა მათემატიკური სტატისტიკის ნანილს წარმოადგენს, რომლის მიზანია ბიოლოგიური ობიექტების რაოდენობრივი მონაცემების დამუშავება და შეფასება. ხშირად ამ თეორიას **ბიომეტრიას** უწოდებენ (ბერძნულიდან bios-სიცოცხლე და metrei-გაზომვა). განვიხილოთ ამ თეორიის ელემენტები:

12.1. რიცხვთა საშუალო არითმეტიკული, დისპერსია, სტანდარტული გადახრა, ნორმირებული გადახრა, ვარიაციის კოეფიციენტი.

მოცემული N რიცხვის : $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_N$ **საშუალო არითმეტიკული** ეწოდება რიცხვს

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_N}{N} = (1/N)\sum_{k=1}^{N} x_k$$

აქ Σ ჯამის ნიშანია, k კი იღებს მნიშვნელობებს: 1, 2, 3, ... , N.

იმის შესაფასებლად, თუ რამდენად შორს არიან x_k რიცხვები გაბნეული მათი $\bar{x}$ საშუალო მნიშვნელობიდან, გადახრების საშუალო არ გამოდგება. მართლაც:

თუ თითოეული x_k —ს გადახრას $\bar{x}$—დან აღვნიშნავთ Δ_k — თი, $\Delta_k = x_k - \bar{x}$, ადვილი საჩვენებელია, რომ საშუალოდან გადახრების ჯამი, და შესაბამისად საშუალოდან გადახრების საშუალო მნიშვნელობაც, ნულის ტოლია.

$$\sum_{k=1}^{N} \Delta_k = \sum_{k=1}^{N} (x_k - \bar{x}) = \sum_{k=1}^{N} x_k - \sum_{k=1}^{N} \bar{x} = N\bar{x} - N\bar{x} = 0$$

ამიტომ $\bar{x}$—დან გადახრების სიდიდის შესაფასებლად გამოიყენება სიდიდე — **დისპერსია** (dispersion —გაბნევა).

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{k=1}^{N} \Delta_k^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{k=1}^{N} (x_k - \bar{x})^2$$

დისპერსიის გამოსახულებაში გადახრების კვადრატების ჯამი იყოფა N—1 —ზე და არა N —ზე, როგორც ეს საშუალო არითმეტიკულის გამოსახულებაშია. საშუალო არითმეტიკულის შემთხვევაში x_k სიდიდეები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ნებისმიერი შეიძლება იყოს, მაშინ როცა ყველა Δ_k ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი არ არის, ისინი შეზღუდული არიან ერთი პირობით: $\Sigma\Delta_k = 0$. ამიტომ დამოუკიდებელი Δ_k ცვლადების რაოდენობაა N—1 . ნებისმიერი N—1 წევრი ცალსახად განსაზღვრავს დარჩენილ 1 წევრს. ორივე შემთხვევაში — როგორც x_k რიცხვების, ასევე Δ_k^2 რიცხვების საშუალოს დათვლისას, წევრთა ჯამი იყოფა დამოუკიდებელ ცვლადთა რაოდენობაზე.

კვადრატულ ფესვს დისპერსიიდან „საშუალო კვადრატული გადახრა" ან **სტანდარტული გადახრა** ეწოდება:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

სტანდარტული გადახრა σ იმავე ერთეულებში იზომება, რაშიც სანყისი x_k მონაცემები.

სიდიდეს $t_k = (x_k - \bar{x})/\sigma$ **ნორმირებული გადახრა** ეწოდება, ხოლო სიდიდეს

$V = \sigma/\bar{x}$ — ვარიაციის კოეფიციენტი.

სტანდარტული გადახრა ერთი სიმრავლის მონაცემთა ცვალებადობის დასახასიათებლად გამოიყენება, ვარიაციის კოეფიციენტი კი ორი სიმრავლის მონაცემთა გაფანტულობის ხარისხის შესადარებლად.

მაგალითი:

გარკვეული სიდიდის 5—ჯერ გაზომვის შედეგად, N =5, მიღებული რიცხვითი სიდიდეებია:

$x_1 = 4,\ x_2 = 6,\ x_3 = 5,\ x_4 = 2,\ x_5 = 8$

საშუალო არითმეტიკული:

$\bar{x} = (1/5)(4 + 6 + 5 + 2 + 8) = 25/5 = 5$

---

* თავი შედგენილია გამოცდების ეროვნული ცენტრის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ჯგუფის ნევრთა: გ. ჩეჩელაშვილის, ა.ბახტაძის, ნ. ჩხაიძის და გ. გელაშვილის მიერ.

საშუალოდან გადახრებია:
$\Delta_1 = 4 - 5 = -1$, $\Delta_2 = 6 - 5 = 1$, $\Delta_3 = 5 - 5 = 0$, $\Delta_4 = 2 - 5 = -3$, $\Delta_5 = 8 - 5 = 3$
როგორც ვხედავთ გადახრების ჯამი ნულის ტოლია.
გამოვთვალოთ დისპერსია:

$$\sigma^2 = (1/4)((-1)^2 + 1^2 + 0^2 + (-3)^2 + 3^2) = (1/4)(1 + 1 + 0 + 9 + 9) = 20/4 = 5$$

სტანდარტული გადახრა $\sigma = \sqrt{5} \approx 2{,}236$

ნორმირებული გადახრებია: $t_1 = -1/\sqrt{5} = -0{,}447$ $t_2 = 1/\sqrt{5} = 0{,}447$
$t_3 = 0/\sqrt{5} = 0$ $t_4 = -3/\sqrt{5} = -1{,}342$ $t_5 = 3/\sqrt{5} = 1{,}342$

ვარიაციის კოეფიციენტი: $V = \sigma/\bar{x} = \sqrt{5}/5 \approx 0{,}447$ ან $V = 47{,}7\%$

12.2. ᲔᲠᲗᲝᲑᲚᲘᲝᲑᲐ, ᲒᲔᲜᲔᲠᲐᲚᲣᲠᲘ ᲔᲠᲗᲝᲑᲚᲘᲝᲑᲐ ᲓᲐ ᲨᲔᲠᲩᲔᲕᲘᲗᲘ ᲔᲠᲗᲝᲑᲚᲘᲝᲑᲐ

ერთობლიობა ეწოდება ცალკეულ ელემენტთა სიმრავლეს, რომელიც გაერთიანებულია რომელიმე ნიშნის მიხედვით.

ერთობლიობის ყველაზე ზოგადი ფორმაა **გენერალური ერთობლიობა**. ეს არის მოცემული ნიშნის მატარებელი უკლებლივ ყველა ელემენტის ერთობლიობა.

ვინაიდან გენერალური ერთობლიობის მოცულობა უმეტეს წილად ძალზე დიდია, მისი თვისებების შესწავლის მიზნით, მისგან **შემთხვევითი შერჩევის საფუძველზე** გამოყოფენ გარკვეულ ნაწილს, რომელსაც **შერჩევითი ერთობლიობა** ეწოდება. ასე მაგალითად, ზოოლოგი, რომელიც ბუნებაში შეისწავლის ამა თუ იმ სახეობას – მაგ. ჩხიკვებს, დაიჭერს ამ სახეობის რამდენიმე ათეულ ეგზემპლარს და მათზე დაკვირვებით ცდილობს გააკეთოს დასკვნა ამ სახეობის ყველა წარმომადგენლის რაიმე თვისების შესახებ. საკითხი იმის შესახებ, თუ რამდენად შეიძლება შერჩევითი ერთობლიობის საფუძველზე მიღებული დასკვნების განზოგადება გენერალურ ერთობლიობაზე, წარმოადგენს მათემატიკური სტატისტიკის ერთ—ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას. ამ საკითხს ჩვენ შემდგომში დავუბრუნდებით.

ერთობლიობის ცალკეულ ელემენტებს მისი წევრები ეწოდება. ერთობლიობის წევრთა რიცხვს ამ ერთობლიობის მოცულობა ეწოდება. გენერალური ერთობლიობის მოცულობა აღვნიშნოთ N ასოთი, ხოლო შერჩევითი ერთობლიობის მოცულობა n ასოთი.

ერთობლიობის კვლევისას, მკვლევარს საქმე აქვს ნიშნებთან (არა იმ ნიშანთან, რომელიც საერთოა ერთობლიობის ყველა ელემენტისათვის), რომელიც ერთობლიობის ცალკეული ელემენტისათვის საზოგადოდ სხვადასხვაა. ამ ნიშნებს **არგუმენტები** ეწოდება. არგუმენტის სხვადასხვა შესაძლო მნიშვნელობებს კი **ვარიანტები** ეწოდება. ვარიანტების მიხედვით გენერალური ერთობლიობა **ჯგუფებად** იყოფა. ჯგუფში გაერთიანებულ წევრთა რიცხვს **ვარიანტის სიხშირე** ეწოდება.

არგუმენტი შეიძლება იყოს თვისებრივი და რაოდენობრივი. რაოდენობრივი არგუმენტი თავის მხრივ შეიძლება იყოს დისკრეტული და უწყვეტი.

ასე მაგალითად: თუ გენერალურ ერთობლიობად განვიხილავთ მსოფლიოში 8 წლის ასაკის ბავშვების ერთობლიობას, მაშინ თვისებრივ არგუმენტებად შეიძლება განვიხილოთ: სქესი, ეროვნება, თვალის ფერი, სისხლის ჯგუფი.
ნონა, სიმაღლე, ფილტვის ტევადობა .... — რაოდენობრივი უწყვეტი არგუმენტებია.
დებისა და ძმების რიცხვი, მოცელილი სარძევე კბილების რაოდენობა, ბავშვობაში გადატანილ ვირუსულ დაავადებათა რაოდენობა ... — რაოდენობრივი დისკრეტული არგუმენტებია.

შემდეგ მაგალითად განვიხილოთ დათვების გენერალური ერთობლიობა.
არგუმენტი ,,სახეობების" მიხედვით ერთობლიობა შეიძლება დაიყოს 4 ჯგუფად:
1. მურა, 2. თეთრი, 3. გრიზლი, 4. ყველა სხვა სახეობა.
არგუმენტი ,, ასაკის" მიხედვით შეიძლება დაიყოს ჯგუფებად:
1. 0 -დან 5 წლამდე, 2. 5—დან 10 წლამდე, 3. 10--დან 15 წლამდე, 4. 15— ზე მეტი.

განვიხილოთ უფრო კონკრეტული მაგალითი: ჯილღაო მელიის ნაყოფიერების შესასწავლად აიღეს 80 ძუ ჯილღაო მელიის შერჩევითი ერთობლიობა და დაითვალეს თითოეული ძუს მიერ ერთ ჯერზე ნაყარი ლეკვების რაოდენობა. ამ შემთხვევაში არგუმენტი სწორედ გაჩენილი ლეკვების რაოდენობაა. ვთქვათ, შერჩეული ნიშნის მიხედვით არგუმენტების მნიშვნელობები თითოეული მელიისათვის $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{80}$ გამოისახება ცხრილში მოყვანილი რიცხვებით:

4	5	3	4	6	7	8	3	1	4
6	4	4	3	2	5	3	4	5	4
5	3	4	5	4	4	4	6	5	7
6	4	5	4	4	4	4	2	3	4
5	5	4	5	4	4	6	4	4	4
4	8	7	5	4	9	4	3	4	4
5	4	6	4	4	3	4	4	4	2
4	4	5	4	6	4	3	3	4	2

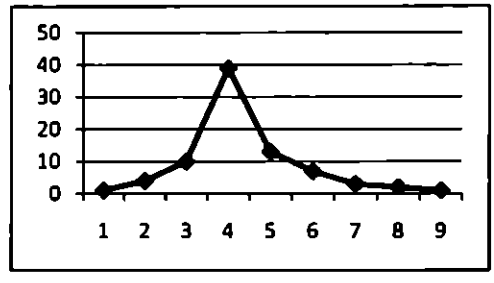
ლეკვების მინიმალური რაოდენობაა 1, ხოლო მაქსიმალური – 9.
თუ მიღებულ რიცხვებს ზრდადობის მიხედვით დაეალაგებთ, მივიღებთ:

1,
2,2,2,2,
3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,
4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,
5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,
6,6,6,6,6,6,6.
7,7,7,
8,8
9.

მიღებული რიცხვთა წყობა უფრო ნათლად ასახავს ნაყოფიერების სურათს მელიების ამ ერთობლიობაში. ერთობლიობა დაიყო 9 ჯგუფად. თითოეული ჯგუფი ხასიათდება ვარიანტით — გაჩენილი ლეკვების რაოდენობით:

თითოეული ვარიანტის სიხშირე მოყვანილია ცხრილში და გამოსახულია გრაფიკზე, რომელსაც **პოლიგონი** ეწოდება.

ვარიანტი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
სიხშირე	1	4	10	39	13	7	3	2	1



ეს ცხრილი ვარიაციულ რიგს წარმოადგენს, რომელიც აჩვენებს, თუ როგორაა დაკავშირებული ნიშნის მნიშვნელობა მის განმეორებადობასთან ერთობლიობაში.
ერთობლიობის სიხშირეთა ჯამი მისი მოცულობის ტოლია:

$1+4+10+39+13+7+3+2+1 = 80$

გამოვთვალოთ საშუალო ნაყოფიერება ერთობლიობაში:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_{80}}{80} = (1/80)\sum_{k=1}^{80} x_k$$

აქ x_k აღნიშნავს არგუმენტის მნიშვნელობას k-ური ელემენტისათვის.
ვარიაციული რიგის გამოყენებით საშუალო მნიშვნელობა შეიძლება ჩაიწეროს ვარიანტის მნიშვნელობებისა და ვარიანტის სიხშირის მეშვეობით:

$$\bar{x} = (1/n)\sum f_j x_j = \sum \rho_j x_j$$

აქ x_j ვარიანტის შესაძლო მნიშვნელობებია, f_j შესაბამისი ვარიანტის სიხშირე, ხოლო $\rho_j = \frac{f_j}{n}$ სიდიდეებს ვარიანტის წონა ეწოდება. ცხადია, რომ $\sum f_j = n$ და $\sum \rho_j = 1$.
ჩვენს მაგალითში გვექნება:

$$\bar{x} = (1/80)\sum_{j=1}^{9} f_j x_j =$$

$$= (1/80)(1 * 1 + 4 * 2 + 10 * 3 + 39 * 4 + 13 * 5 + 7 * 6 + 3 * 7 + 2 * 8 + 1 * 9) = 4{,}35$$

სტანდარტული გადახრა ვარიაციული რიგის გამოყენებით შემდეგნაირად ჩაინერება:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum f_j (x_j - \bar{x})^2}$$

გამოვთვალოთ სტანდარტული გადახრა ჩვენ მიერ განხილულ მაგალითში:

$$\sigma^2 = \frac{1}{79}[1 * (1 - 4{,}35)^2 + 4 * (2 - 4{,}35)^2 + 10 * (3 - 4{,}35)^2 + 39 * (4 - 4{,}35)^2 +$$

$$+13 * (5 - 4{,}35)^2 + 7 * (6 - 4{,}35)^2 + 3 * (7 - 4{,}35)^2 + 2 * (8 - 4{,}35)^2 + 1 * (9 - 4{,}35)^2 = 1{,}90$$

$$\sigma = \sqrt{1{,}90} = 1{,}38$$

ვარიაციის კოეფიციენტი $V = \sigma/\bar{x} = 1{,}38/4{,}35 \approx 0{,}317$ ან $V = 31{,}7\%$

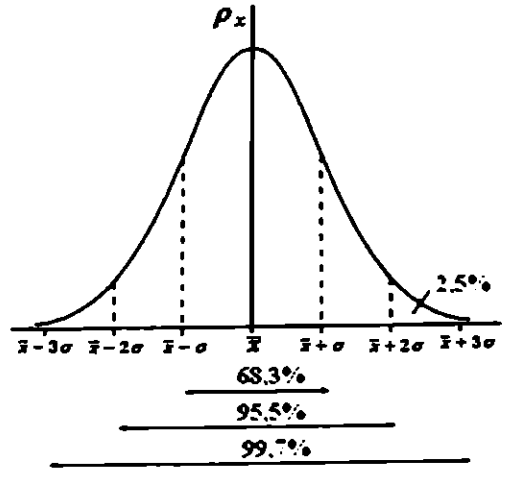
ნორმირებული გადახრები $t_j = (x_j - \bar{x})/\sigma$ თითოეული ვარიანტი x_j —თვის მოცემულია ცხრილში:

x_j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_j	-2,43	-1,70	-0,98	-0,25	0,47	1,20	1,92	2,64	3,37

12.3. ნორმალური განაწილება

ზოგადად, სიხშირეთა განაწილება შეიძლება ნებისმიერი იყოს.

სტატისტიკაში ცნობილი სტანდარტული განაწილებებიდან განსაკუთრებული როლი ენიჭება უწყვეტ შემთხვევით სიდიდეთა ,,ნორმალურ" განაწილებას. ნორმალური განაწილების გრაფიკი ნახაზზეა წარმოდგენილი:



ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომილია შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობა, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე — შესაბამისი სიხშირეთა სიმკვრივე. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება, როგორც $\rho_x = \frac{\Delta k}{N\Delta x}$, სადაც N ერთობლიობის მოცულობაა, Δk კი $(x, x + \Delta x)$ შუალედში მოხვედრული ელემენტების რაოდენობაა, სადაც Δx ძალზე მცირეა.

დისკრეტული არგუმენტის შემთხვევაში პოლიგონის წერტილები ,,სხდებიან" ნორმალური განაწილების მრუდზე, პოლიგონის ტეხილი უახლოვდება მრუდს ვარიანტთა რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ხოლო ვარიანტთა ρ_j ნონები მიისწრაფიან სიხშირეთა ρ_x სიმკვრივისაკენ.

ელემენტთა რაოდენობა, რომელთა არგუმენტებიც მოთავსებულია (x_a, x_b) ინტერვალში, პროპორციულია გრაფიკის მრუდით შემოსაძღვრული ფართობისა ამ ინტერვალზე.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ნორმალური განაწილებისას, $\bar{x} \pm \sigma$ შუალედში კონცენტრირებულია ერთობლიობის წევრთა 68,3% , $\bar{x} \pm 2\sigma$ შუალედში 95,5% , $\bar{x} \pm 3\sigma$ შუალედში კი 99,7%.

შერჩევითი ერთობლიობის საშუალოსა და სტანდარტული გადახრის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს განსაზღვრული საიმედოობით ვიმსჯელოთ იმ გენერალური ერთობლიობის შესახებ, რომლიდანაც აღებულია შერჩევითი ერთობლიობა.

ამის საჩვენებლად განვიხილოთ x_k გენერალური ერთობლიობა და დავუშვათ, რომ ცნობილია მისი საშუალო მნიშვნელობა η და სტანდარტული გადახრა S. ავირჩიოთ m სხვადასხვა, n მოცულობის შერჩევითი ერთობლიობა. მოსალოდნელია, რომ თუ შერჩევითი ერთობლიობები სწორად წარმოადგენენ გენერალურ ერთობლიობას, მათი $\bar{x}^1, \bar{x}^2, \bar{x}^3, \cdots, \bar{x}^m$ საშუალო მნიშვნელობები და $\sigma^1, \sigma^2, \sigma^3, \cdots, \sigma^m$ სტანდარტული გადახრები მცირედ უნდა განსხვავდებოდეს გენერალური ერთობლიობის η და S —გან. ე.ი სიდიდეები $\bar{x}^1, \bar{x}^2, \bar{x}^3, \cdots, \bar{x}^m$ მჭიდროდაა შეჯგუფული η –ს მახლობლად. კითხვაზე თუ როგორ არის

გახაწილებული $\bar{x}^k$ η —ს ძახლობლად პასუხს გასცემს ალბათობის თეორიის **ცენტრალური ზღვარითი თეორემა:** n მოცულობის ზრდასთან ერთად $\bar{x}^1, \bar{x}^2, \bar{x}^3, \cdots, \bar{x}^m$ სიდიდეთა განანილება უახლოედება ნორმალურს $s = \frac{1}{\sqrt{n}} S$ სტანდარტული გადახრით.

აღსანიშნავია, რომ ეს მტკიცებულება სამართლიანია გენერალურ ერთობლიობაში სიხშირეთა ნებისმიერი განაწილებისათვის.

შედეგები:

1. რაც უფრო დიდია შერჩევითი ერთობლიობის მოცულობა n, მით ნაკლებია $\bar{x}^k$ სიდიდეების გადახრა η გენერალური საშუალოდან.

2. რადგანაც $\bar{x}^k$ სიდიდეები η–ს მახლობლობაში განაწილებულია ნორმალურად, ალბათობა იმისა, რომ შერჩევითი ერთობლიობის საშუალო $\bar{x}^k$ მოხვდება:

$\eta - s < \bar{x}^k < \eta + s$ ინტერვალში, ტოლია 68,3% —ის

$\eta - 2s < \bar{x}^k < \eta + 2s$ ინტერვალში, ტოლია 95,5% –ის

$\eta - 3s < \bar{x}^k < \eta + 3s$ ინტერვალში, ტოლია 99,7% —ის

$\eta - Zs < \bar{x}^k < \eta + Zs$ ინტერვალების შესაბამისი ალბათობები Z - ის ზოგიერთი მნიშვნელობისათვის მოცემულია ცხრილში.

მიღებული შედეგები ეფუძნება დაშვებას, რომ ჩვენთვის ცნობილია გენერალური ერთობლიობის საშუალო მნიშვნელობა η და სტანდარტული გადახრა S.

პრაქტიკაში კი ძირითადად შებრუნებულ ამოცანასთან გვაქვს საქმე. გამოთვლილია $\bar{x}$ და σ, შესაფასებელია η. სტატისტიკის თეორიიდან გამომდინარე, როცა შერჩევითი ერთობლიობის მოცულობა $n > 60$, თავისუფლად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $\bar{x}^k$ სიდიდეები განანილებულია ნორმალურად, ხოლო S ჩავანაცვლოთ σ – თი. $S \approx \sigma$

მაშინ ზემოთ მოცემული ფორმულები შეიძლება ასე გადავწეროთ - ალბათობა იმისა, რომ გენერალური ერთობლიობის საშუალო η იმყოფება:

$\bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \eta < \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ინტერვალში, ტოლია 68,3% —ის

$\bar{x} - 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \eta < \bar{x} + 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ინტერვალში, ტოლია 95% —ის

$\bar{x} - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \eta < \bar{x} + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ინტერვალში, ტოლია 99,7% –ის

$\bar{x} - Z\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \eta < \bar{x} + Z\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ინტერვალების შესაბამისი ალბათობები მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი იძლევა საშუალებას, წინასწარ დათქმული სანდოობის პროცენტით ვიპოვოთ Z— ის მნიშვნელობა და შესაბამისი ინტერვალი. ამ ინტერვალს **სანდოობის ინტერვალი** ენოდება.

გამოვთვალოთ ჩვენი მელიების მაგალითზე, თუ რა ფარგლებში შეიძლება იყოს 95% სანდოობით გენერალური ერთობლიობის ნაყოფიერების საშუალოს მნიშვნელობა.

$\bar{x} = 4{,}35$ $\sigma = 1{,}38$ $n = 80$ $Z(95\%) = 2$

$4{,}35 - 0{,}31 < \eta < 4{,}35 + 0{,}31$

ანუ 95% იანი სანდოობის ინტერვალია (4,04 — 4,66).

ცხრილი 12.1

სტანდარტული ნორმალური განაწილების ცხრილი							
Z	%	Z	%	Z	%	Z	%
0,1	8,0	1,1	72,9	2,1	96,4	3,1	99,8
0,2	15,9	1,2	77,0	2,2	97,2	3,2	99,9
0,3	23,6	1,3	80,6	2,3	97,9	3,3	99,9
0,4	31,1	1,4	83,8	2,4	98,4	3,4	99,9
0,5	38,3	1,5	86,6	2,5	98,8	3,5	100,0
0,6	45,1	1,6	89,0	2,6	99,1	3,6	100,0
0,7	51,6	1,7	91,1	2,7	99,3	3,7	100,0
0,8	57,6	1,8	92,8	2,8	99,5	3,8	100,0
0,9	63,2	1,9	94,3	2,9	99,6	3,9	100,0
1	68,3	2	95,4	3	99,7	4	100,0

12.4. χ^2 თანხმობის კრიტერიუმი

ჩვენ განვიხილეთ თუ როგორ ხდება ერთ, კერძო შერჩევით ერთობლიობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტის მონაცემებზე დაყრდნობით გარკვეული დასკვნების გამოტანა ზოგადი, გენერალური ერთობლიობის შესახებ. ეს დასკვნები შეიძლება საფუძვლად დაედოს გარკვეულ თეორიას.

ახლა ჩვენ განვიხილავთ შემთხვევას, როცა არსებობს გარკვეული თეორიული ვარაუდი — **ჰიპოთეზა**, და ჩვენ ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით უნდა დავადასტუროთ ან უარვყოთ იგი.

ექსპერიმენტის შედეგები როგორც წესი არ ემთხვევა ზუსტად თეორიული ჰიპოთეზით ნაწინასწარმეტყველებ შედეგებს. ეს შეიძლება ორი მიზეზით იყოს გამოწვეული:

1. ჰიპოთეზა მცდარია

2. ჰიპოთეზა სწორია, მაგრამ ექსპერიმენტულ მონაცემებში ადგილი აქვს შემთხვევით გადახრებს.

იმის გასარკვევად, თუ რომელი მიზეზის გამო არ ემთხვევა თეორია ექსპერიმენტს, გამოიყენება კრიტერიუმი χ^2 (ხი—კვადრატი), რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: ვთქვათ, გენერალური ერთობლიობა იყოფა m ჯგუფად რომელიმე თვისებრივი ნიშნის მიხედვით. ამ ჯგუფებში ელემენტთა რაოდენობის განაწილების შესახებ არსებობს რაიმე ვარაუდი — ჰიპოთეზა. ჩვენ ამ გენერალური ერთობლიობიდან შემთხვევითი შერჩევით მიღებულ n მოცულობის შერჩევით ერთობლიობაზე ვითვლით ჯგუფებში ელემენტთა რაოდენობას. E_i იყოს i ნიშნის ელემენტთა ჰიპოთეზით მოსალოდნელი რიცხვი (Expected — მოსალოდნელი), ხოლო O_i კი იყოს i ნიშნის ელემენტთა ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული რიცხვი (Obtainecd — მიღებული). i= 1. 2. . . . m. ვადგენთ შემდეგ ჯამს, რომელსაც ხი-კვადრატს უწოდებენ:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{m} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

O_i სიდიდეები არ არიან ერთმანეთისგან დამოუკიდებლები. მათ ედება 1 პირობა

$$\sum_{i=1}^{m} O_i = n$$

ამიტომ ამ ცელადების თავისუფლების ხარისხი ტოლია m — 1. ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო ახლოსაა დაკვირვებული მნიშვნელობები ნავარაუდევ მნიშვნელობებთან, მით უფრო მცირეა χ^2 , სრული დამთხვევის შემთხვევაში კი χ^2 ნულის ტოლი ხდება. ისმის კითხვა, რომელ კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ნაკლები უნდა იყოს χ^2, რომ ჰიპოთეზას ვენდოთ, ან რომელ მნიშვნელობაზე მეტი უნდა იყოს, რომ ჰიპოთეზა უარვყოთ? ამ კითხვებს პასუხობენ სპეციალური ცხრილების გამოყენებით (ცხრილი 12.2), რომლებიც თავის მხრივ მიიღება სტატისტიკის ძირითადი კანონების გამოყენებით (მათ ჩვენ მოვიყვანთ დამტკიცების გარეშე).

ცხრილი 12.2 კრიტიკული χ^2—ების ცხრილი

m-1	α	10%	5%	2.50%	1%
1	χ_0^2	2.71	3,84	5,02	6.63
2	χ_0^2	4,61	5,99	7,38	9,21
3	χ_0^2	6,25	7,81	9,35	11,34
4	χ_0^2	7,78	9,49	11,14	13,28

ავხსნათ ამ ცხრილში მოყვანილი რიცხვების არსი. ცხრილი გვიჩვენებს თავისუფლების მოცემული ხარისხისათვის, χ_0^2 —ის სიდიდისა და შესაბამისი α ალბათობის ზოგიერთ მნიშვნელობას. α არის ალბათობა იმისა, რომ **თუ ჰიპოთეზა სწორია,** ექსპერიმენტით მიღებული χ^2 მეტი იქნება χ_0^2 —ზე.

ხშირად ჰიპოთეზის უარყოფენ მაშინ, როდესაც მიღებული χ^2 5%-ზე ნაკლები ალბათობით შეიძლება იყოს შემთხვევითი გადახრა. ამბობენ, რომ ჰიპოთეზა უარყოფილია 95% სანდოობით. ზოგჯერ იყენებენ უფრო მკაცრ კრიტერიუმს: ჰიპოთეზის უარყოფენ მაშინ, როდესაც მიღებული χ^2 1%-ზე ნაკლები ალბათობით შეიძლება იყოს შემთხვევითი გადახრა. ამ დროს ამბობენ, რომ ჰიპოთეზა უარყოფილია 99% სანდოობით.

მაგალითად: თუ თავისუფლების ხარისხი m—1= 2

ექსპერიმენტით მიღებული $\chi^2 = 6,08$. $\chi^2 > 5,99$.

ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარე χ^2—ის ასეთი დიდი მნიშვნელობის მიღების ალბათობა 5 % —ზე ნაკლებია. ე.ი. ჩვენ შეგვიძლია **უარვყოთ ჰიპოთეზა** 95% — ის სანდოობით.

თუმცა, რადგანაც $\chi^2 < 7,38$, χ^2—ის ასეთი მნიშვნელობის მიღების ალბათობა 2,5 % —ზე მეტია და ჩვენ **ვერ უარვყოფთ ჰიპოთეზას** 97,5% — ის სანდოობით.

განვიხილოთ ეს მეთოდი მაგალითზე: ვთქვათ, შევაჯვარეთ ბარდას ორი მცენარე და მივიღეთ შემდეგი შთამომავლობა:

1 გლუვი ყვითელი მარცვლები $O_1 = 318$

2 გლუვი მწვანე მარცვლები $O_2 = 129$

3. ნაოჭიანი ყვითელი მარცვლები $O_3 = 97$

4. ნაოჭიანი მწვანე მარცვლები $O_4 = 32$

ჯერ დავუშვათ, რომ ჩვენ არ ვიცით გენეტიკის კანონები და ვამოწმებთ საკუთარ ჰიპოთეზას, რომ ბარდების გენერალურ ერთობლიობაში ნიშანთა თანაფარდობა უნდა იყოს 9:4:2:1.

გასარკვევია, შესაძლებელია თუ არა, რომ ექსპერიმენტის შედეგი იყოს შემთხვევითი გადახრა გამოთქმული ჰიპოთეზიდან, თუ ექსპერიმენტის შედეგი უარყოფს გამოთქმულ ჰიპოთეზას.

χ^2 —ის დასათვლელად თავიდან მიღებულ 576 მარცვალს ვანაწილებთ 9:4:2:1 პროპორციით, ვპოულობთ E_i რიცხვებს და ვაესებთ ცხრილს. ამ ცხრილის ბოლო სვეტის რიცხვთა ჯამი ტოლია χ^2 —ის.

E_i	O_i	O_i-E_i	$(O_i-E_i)^2$	$(O_i-E_i)^2/E_i$
324	318	-6	36	0,11
144	129	-15	225	1,56
72	97	25	625	8,68
36	32	-4	16	0,44

χ^2=10,8. თავისუფლების ხარისხია m—1=4—1=3.

მივიღეთ χ^2 —ის საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა $9,35 < 10,8 < 11,34$, რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ ჩვენ შეგვიძლია, უარვყოთ ჩვენი ჰიპოთეზა 97,5% — ის სანდოობით, თუმცა, ვერ უარვყოფთ მას 99% — ის სანდოობით (იხ. ცხრილი 12.2).

ახლა გავიხსენოთ, რომ გენეტიკის კანონების თანახმად, მიღებული თანაფარდობა უნდა იყოს 9:3:3:1 და შევისწავლოთ ექსპერიმენტის შედეგის შესაბამისობა ამ კანონთან (ახალ ჰიპოთეზასთან). ამ კანონის თანახმად, მოსალოდნელი შედეგის საპოვნელად მცენარეთა ჯამური რიცხვი (576) უნდა დავყოთ პროპორციით 9:3:3:1. შედეგი შევიტანოთ ცხრილში.

E_i	O_i	O_i-E_i	$(O_i-E_i)^2$	$(O_i-E_i)^2/E_i$
324	318	-6	36	0,11
108	129	21	441	4,08
108	97	-11	121	1,12
36	32	-4	16	0,44

ამ ცხრილით გამოთვლილი ხი-კვადრატის მნიშვნელობაა χ^2=5,76. ეს სიდიდე 6,25—ზე მცირეა. ასეთი χ^2 —ის მიღების ალბათობა 10% —ზე მაღალია. ეს სავსებით დასაშვები ალბათობაა. ე.ი არსებული მონაცემები ჰიპოთეზის 9:3:3:1 უარყოფის საფუძველს არ გვაძლევს.

დამატება

ფიზიკურ სიდიდეთა საზომი ერთეულები

როგორც მეცნიერებაში ასევე ყოველდღიურ ცხოვრებაში ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ საზომ ერთეულთა სისტემას ფიზიკური სიდიდეების **ერთეულთა საერთაშორისისო სისტემა** ანუ შემოკლებით **სი (SI)** ერთეულთა სისტემა წარმოადგენს.

SI შედგება ზომათა ერთეულებისა და წინსართებისაგან. **SI** ზომათა ერთეულები იყოფა ორ ჯგუფად: შეიდი ძირითადი და მათგან წარმოებული ერთეულები.

ძირითადი SI ერთეულები

ერთეული	მოკლე აღნიშვნა ქართული	მოკლე აღნიშვნა ლათინური	ფიზიკური სიდიდე
მეტრი	მ	m	სიგრძე
კილოგრამი	კგ	kg	მასა
წამი	წმ	s	დრო
ამპერი	ა	A	დენის ძალა
კელვინი	K	K	თერმოდინამიკური ტემპერატურა
მოლი	მოლ	mol	ნივთიერების რაოდენობა
კანდელა	კდ	cd	სინათლის ძალა

წინსართების დამატებით შესაძლებელია ფიზიკური სიდიდის უფრო მცირე ან უფრო დიდი ერთეულების წარმოქმნა. პირველადი და წარმოქმნილი ერთეულები ათის ჯერადი რიცხვით განსხვავდებიან. დაუშვებელია რამდენიმე წინსართის ერთად გამოყენება.

$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	ტერა	ტ	T
$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	გიგა	გ	G
$1\,000\,000 = 10^{6}$	მეგა	მ	M
$1\,000 = 10^{3}$	კილო	კ	k
$1\,00 = 10^{2}$	ჰექტა	ჰ	ha
$10 = 10^{1}$	დეკა	დკ	da
$0{,}1 = 10^{-1}$	დეცი	დ	d
$0{,}01 = 10^{-2}$	სანტი	ს	c
$0{,}001 = 10^{-3}$	მილი	მ	m
$0{,}000\,001 = 10^{-6}$	მიკრო	მკ	μ
$0{,}000\,000\,001 = 10^{-9}$	ნანო	ნ	n
$0{,}000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	პიკო	პ	p

წარმოებული SI ერთეულები

წარმოებული ერთეულები მიიღება ფორმულების მეშვეობით, რომლებიც აკავშირებენ ერთმანეთთან ფიზიკური სიდიდეებს:

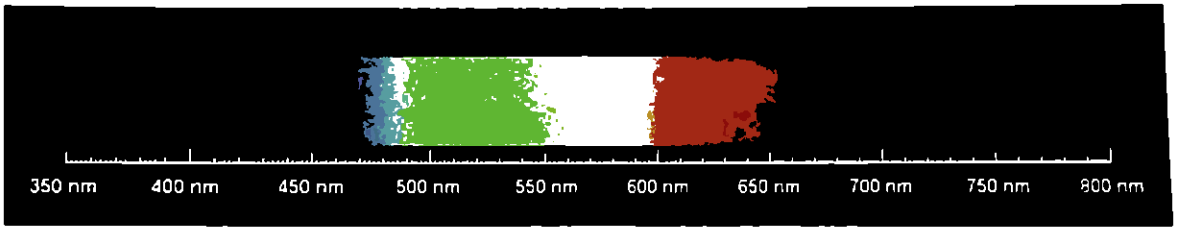
ფიზიკური სიდიდე	ერთეული	მოკლე აღნიშვნა ქართული	მოკლე აღნიშვნა ლათინური	კავშირი ძირითად SI ერთეულებთან
ბრტყელი კუთხე	რადიანი	რად	**rad**	
სივრცული კუთხე	სტერადიანი	სტერად	**sr**	
სიჩქარე	მეტრი წამში	მ/წმ	**m/s**	მ/წმ
სიმკვრივე	კილოგრამი კუბურ მეტრში	კგ/მ^3	**kg/m^3**	კგ/მ^3
მოცულობა	კუბური მეტრი	მ^3	**m^3**	კგ^3
სიხშირე	ჰერცი	ჰც	**Hz**	წმ$^{-1}$
ძალა	ნიუტონი	ნ	**N**	კგ.მ/წმ^2
ენერგია	ჯოული	ჯ	**J**	ნ.მ = კგ · მ2/წმ^2
სიმძლავრე	ვატი	ვტ	**W**	ჯ/წმ = კგ · მ^2/წმ^3
წნევა	პასკალი	პა	**Pa**	ნ/მ^2 = კგ · მ$^{-1}$ · წმ$^{-2}$
ელექტრული მუხტი	კულონი	კ	**C**	ა · წმ
პოტენციალთა სხვაობა	ვოლტი	ვ	**V**	ჯ/კ = კგ · მ^2 · წმ$^{-3}$ · ა$^{-1}$
წინაღობა	ომი	ომი	**Ω**	ვ/ა = კგ · მ^2 · წმ$^{-3}$ · ა$^{-2}$
ტევადობა	ფარადი	ფ	**F**	კ/ვ = კგ-1 · მ$^{-2}$ · წმ^4 · ა^2
მაგნიტური ნაკადი	ვებერი	ვბ	**Wb**	კგ · მ^2 · წმ$^{-2}$ · ა$^{-1}$
სინათლის ნაკადი	ლუმენი	ლმ	**lx**	კდ. სტერად
განათებულობა	ლუქსი		**lx**	ლმ/მ^2 = კდ.სტერად.მ$^{-2}$
მაიონიზებელი გამოსხივების შთანთქმული დოზა	გრეი	გრ	**Gy**	ჯ/კგ = მ^2.წმ$^{-2}$
მაიონიზებელი გამოსხივების ეფექტური დოზა	ზივერტი		**Sv**	ჯ/კგ = მ^2.წმ$^{-2}$
რადიაციული აქტივობა	ბეკერელი	ბკ	**Bq**	წმ$^{-1}$

სხვა გაერცელებული ერთეულები

არსებობს მრაელი ერთეული, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მეცნიერებასა და ყოველდღიურ ცხოერებაში, მაგრამ არ მიეკუთენება SI ერთეულებს. მნიშვნელოვან მაგალითებს განეკუთენება:

ფიზიკური სიდიდე	ერთეული	მოკლე აღნიშენა ქართული	მოკლე აღნიშენა ლათინური	კავშირი ძირითად SI ერთეულებთან
სიგრძე	ანგსტრემი		Å	10^{-10}მ
მოცულობა	ლიტრი	ლ	L	10^{-3}მ^3
მასა	მასის ატომური ერთეული	მ.ა.ე.	u	1.660 54x 10^{-27}კგ
ენერგია	მცირე კალორია	კალ	cal	4.184 ჯ
	დიდი კალორია	კკალ	Cal	4.184 კჯ
	ელექტრონვოლტი	ეე	eV	1.601218 x10^{-19} ჯ
წნევა	ნორმალური ატმოსფერო	ატმ	atm	101.325 კპა
	ბარი	ბარი	bar	10^5 პა
	ტორი	მმ.ვწყ.სვ.	mmHg	133.32 პა
ტემპერატურა	ცელსიუსის გრადუსი	ცელსიუსის გრადუსი	°C	t(°C)=T(K) - 273.15
კონცენტრაცია	მოლარობა		*M*	მოლ/ლ
რადიაციული აქტიეობა	კიური		Ci	= 3.7 ხ 10^{10} ბკ
მაიონიზებელი გამოსხიეების დოზა	რენტგენი		R	= 2.58 x 10^{-4} კ/კგ

ხილული სინათლის სპექტრი



nm — ნანომეტრი – 10^{-9} მ.

საგნობრივი საძიებელი

აბიოტური ფაქტორი 295, 296
  მარილიანობა 299
  მზის გამოსხივება 296
  ნიადაგი 298, 299
  სინათლე 296
  ტემპერატურა 297
  ტენიანობა 298
ადამიანის გენეტიკური კვლევის მეთოდები 137
  ბიოქიმიური 139
  გენეალოგიური 138
  დერმატოგლიფიკის 138
  მოლეკულური ბიოლოგიის 140
  პოპულაციური 139
  სომატურ უჯრედთა 140, 141
  ტყუპთა 138
  ციტოგენეტიკური 139
ადაპტაცია 6, 247-251
  განმარტება 247
  მაგალითები 247-249
  შეფარდებითობა 251
  წარმოქმნა 250
ადიტიურობის კანონი 121
ადრენოკორტიკოტროფული ჰორმონი 44
აერობები 18
ავტომატიზმი (გულისა) 176
ავტოტროფი 18, 204
აკროსომა 90
ალბინიზმი 145
ალელი, (ალელიზმი) 104
  მრავლობითი 106
ალოპლოიდია 127, 253
ანაბოლიზმი 5, 81
ანაერობი 18
ანდროგენეზი 95
ანემია 71
  ავთვისებიანი 72
  აპლასტიური 72
  ნამგლისებრუჯრედოვანი 145,242
  რკინადეფიციტური 72
  ტოქსიური 72
ანთერიდიუმი 23, 24
ანთროპოგენეზი 263
  ეტაპები 265
  თაების ტვინის ეოლუცია 267
ანეუპლოიდია 127
ანტიგენი 44
ანტისხეული 44
აპოპტოზი 66
არეალი 16, 200, 232, 251, 252,
  დიზუნქციური 232, 238
  კონტინიუმი 232
არსებობისათვის ბრძოლა 209, 231, 240, 241,
  კონსტიტუციური 240, 241
  სახეობათაშორისი 240
  შიგასახეობრიული 209, 240
არტერია 176, 177
არქეგონიუმი 23, 24
ასიმილაცია 5, 81
ასტროციტი 77
  ბოჭკოვანი 77
  პროტოპლაზმური 77
ატავიზმი 256
ატომთა ბიოგენური მიგრაცია 215
აუტკროსინგი 223
აუტოლიზი 54
აუტოპლოიდი 127, 253
აუტოფაგია 53
აქსონი 76, 152-154
აქტიური ტრანსპორტი 49

ბაქტერიოფაგი 65, 130
  აგებულება 65
  გამრავლება 65, 130
ბიოლოგიური – მეცნიერებები 8
  მრავალფეროვნება 14, 229
  პროგრესი 262
  რეგრესი 262
ბიომეტრია 270
ბიოსფერო 210
ბიოსფეროს სტრუქტურა 212
  ატმოსფერო 212
  ლითოსფერო 212
  ჰიდროსფერო 213
ბიოტექნოლოგია 136, 217, 225
ბიოტური კავშირი 207
  კონკურენცია 209
  მტაცებლობა 208
  ნეიტრალიზმი 207
  პარაზიტიზმი 208
  სიმბიოზი 208
ბიოცენოზის ზონალობა 203, 204
  გეოგრაფიული 203, 204
  ეერტიკალური 204
ბირთვაკი 57
ბირთვი 34, 57
  გაყოფადი 57
  ინტერფაზული 57
ბირთვის გარსი 57
ბირთვის წვენი 57-58
ბლასტომერი 96
ბლასტოპორი 97
ბლასტულა 96
ბოთლის ყელის ეფექტი 236
ბუნებრიეი გადარჩევა 231
  არსი 231
  დამამტკიცებელი არგუმენტები 241
  დიზრუპტული 246
  მამოძრავებელი 245
  მასტაბილიზებელი 246
  მნიშვნელობა 247
  ფორმები 244
  წანამძღვრები 239
ბუნებრიეი რესურსები 215, 216

გადარჩევა 149
  ბუნებრიეი 231
  ხელოვნური 149
გამეტათა სიწმინდის წესი 105
გამეტოგენეზი 90
გამეტოფიტი 23, 24, 94
გამრავლება 5, 87
  განაყოფიერებით 87
  გაუნაყოფიერებლად 87
  გაყოფით 87
  დაკვირტვა 87
  ვეგეტატიური 87
  კონიუგაცია 87
  კოპულაცია 87
  პოლიემბრიონია 87
  სპორებით 87
  სქესობრიეი 87
  უსქესო 87
  ფრაგმენტაცია 87
  შიზოგონია 87
გამრაველების პროგრესია 239, 240
გამძლეობის ზღვარი 196
განაყოფიერება 93
  გარეგანი 93
  ორმაგი 26, 94
  შინაგანი 93
  ხელოვნური 103
გარდამავალი ფორმები 258
  ნამარხი 258, 259
  ცოცხალი 245, 256
გარემოს გაჭუჭყიანება 127, 215
გასტრულაცია 96
გასტრულა 96
გაღიზიანებადობა 5, 6
გემოს რეცეპტორები 164
გენების მიღების მეთოდები 218
გენეტიკური კოდი 5, 84
გენეტიკური ტვირთი 128, 144, 235
გენთა ურთიერთქმედება 106 109
  ალელთა 106
  ეპისტაზი 110
  კომპლემენტარობა 109, 110
  პოლიმერია 111
გენთა – ხაზობრივად განლაგება 120
  შეჯიდულობა 118
გენი 132
  ენხანსერი 13
  ეუკარიოტული 135
  ნატიფი აგებულება 134
  ოპერატორი 132
  პრომოტორი 84, 132
  რეგულატორული 133
  რეპრესორი 132
  სტრუქტურული 132
გენის მოქმედების რეგულაცია 132
  ეუკარიოტებში 133, 134
  პროკარიოტებში 132
გენოთერაპია 143
გენომი 126
გენომური მუტაციები 124, 126
გენოტიპი 104
გენოფონდი 233, 234, 236
გენური ინჟინერია 150, 218, 219, 225
გენური მუტაცია 124, 125
  მისენსი 125
  ნონსენსი 125
  საილენთი 125
  ტრანზიცია 125
  ტრანსვერსია 125
გინოგენეზი 95
გლიკოკალიქსი 39
გლიკოლიზი 81
გოლჯის აპარატი (კომპლექსი) 35, 53

დანაწევრება 96
  არასრული 97
  სრული თანაბარი 96
  სრული უთანაბრო 96
დამფუძნებლის პრინციპი 236
დენდრიტი 76
დისიმილაცია 5, 81
დისპერსია 270
დიფუზია 49
დიქტიოსომა 53
დნმ-ის რეპლიკაცია 45
დომინანტი სახეობა 14

დომინანტობა 104
დომინირება 104, 106
არასრული 105, 106
ზედომინირება 106
კოდომინირება 106
სრული 104, 106

ჯზოციტოზი 50
ეველუცია 229
განმარტება 229
ისტორია 229
თეორიები 230
შედეგი 229
ეველუციის კანონზომიერებები 261
დიეერგენცია 261
კონეერგენცია 261
პარალელიზმი 261
ეველუციის მამოძრავებელი ძალები 234
შეტაციური პროცესი 235
გენთა დრეიფი 235
გენთა ნაკადი 337
იზოლაცია 337
ეველუციის მიმართულებები 259
ალოგენეზი 259
აროგენეზი 260
კატაგენეზი 260
ეველუციის წესები 261
ადაპტური რადიაციის 262
არასპეციალიზებული
წინაპრიდან წარმოშობის 261
შეუქცეადობის 161
ეველუციური თეორია 230, 231
დარვინ-უოლესის 231
ლამარკის 230
სინთეზური 232
ეკოლოგიური პირამიდა 207
ეკოლოგიური ფაქტორები 195
აბიოტური 156, 195
ანთროპოგენური 195
ბიოტური 195
ეკოსისტემა 201
ბუნებრივი 303
თვითრეგულაცია 202
მდგრადობა 202
ციკლილებები 203
ხელოვნური 203
ემბრიოგენეზი 96
ემოცია 162, 169
ენდოპლაზმური ბადე 35, 52
გლუვი 52
გრანულარული 52
მარცვლოვანი 52
ენდოპლაზმური რეტიკულუმი 52
ენდოციტოზი 50
ენერგეტიკული ცელა 5, 81
ენზიმოლერმა 97
ეპითელიუმი 69
ბრტყელი 69
გარდამავალი 69
გარქოვანებული 69
გაურქოვანებული 69
ერთშრიანი 69
კუბური 69
მოციმციმე 69
მრავალშრიანი 69
სეკრეტორული 68
ცილინდრული 69
ჯირკვლოვანი 70
ერთობლიობა 271
გენერალური 271
შერწყვითი 271
ეუკარიოტი 19, 20, 48
ეუქრომატინი 58
ექტოდერმა 97
ექსკრეცია 50
ექსტრაკორპორალური დიაგნოსტიკა 226

გაკეული 54
ვარიაციის კოეფიციენტი 270
ვარიაციული რიგი 272
ვენა 176, 177
ზედა ღრუ 178
ფილტვის 178
ქვედა ღრუ 178
ვექტორი 140, 219
ვირიონი 65
ვირუსი 34, 65, 130-131

ზიგოტა 88
ზრდა 100
ალომეტრული 100
იზომეტრული 100
ზურგის ტვინი 155-157
აგებულება 155-156
ფუნქცია 156-157

თავის ტვინი 157-159
აგებულება 157
ნახევარსფეროები 158-159
ფუნქცია 158
თალუსი 20
თაობათა მორიგეობა 24, 25
თვალი 162-163
თირკმელზრდა ჯირკვალი 40
თირკმელი 190-191
თესლკერტი 94
თესლოვნები 23

იერარქიული ორგანიზაცია 4
იზოლაცია 237
ბიოლოგიური 238
გენეტიკური 239
ეთოლოგიური 239
ეკოლოგიური 238
პოსტკოპულაციური 238
პრეკოპულაციური 238
რეპროდუქციული 238
სიეროლობრივი 237, 238
იმუნიტეტი 180-182
ინვაგინაციის ჰიპოთეზა 13
ინტეგრალიზმი 8
ინტერეალი სანდოობის 272
ინტერფაზა 60
აუტოსინთეზური 60
პეტეროსინთეზური 60

კანი 174-175
კარიოტიპი 59, 139
კატაბოლიზმი 5, 81
კეების ტიპები 18
კლონი 150, 221
კლონირება 150, 219, 221
კრიტერიუმი X^2 275
კუნთები 173-174
კუნთოვანი ქსოვილი 67, 74
გლუვი 74
გულის განივზოლიანი 74
ჩონჩხის განივზოლიანი
კუნთური გრძნობა 164-165

ლარვა 98
ლიბიხის კანონი 196
ლიზოგენური ბაქტერია 130
ლიზოსომა 35, 53
ლიმიტირებული ფაქტორი 196
ლიმფა 73
ლოკუსი 107

მაკროევოლუცია 254
მაკროევოლუციის დამადასტურებელი
არგუმენტები 254-257
მაკრონუკლეუსი 57, 88
მატრიცული სინთეზი 84
მეზოდერმა 97
მეზოსომა 18
მეთოდები 7
ადამიანის გენეტიკური კვლევის
137-141
აღწერილობითი 7
ექსპერიმენტული 7
ისტორიული 7
მკვნიერული 7
შედარებითი 7
ბიბრიდოლოგიური 103
მეიოზი 91
მემკვიდრეობა 102-112
ქრომოსომული 114
ციტოპლაზმური 121
ჰოლანდრული 117
მემკვიდრეობითობა, მემკვიდრულობა 102
არაპირდაპირი 102
პირდაპირი 102
ქრომოსომული 113-121
მემკვიდრული დაავადებები 114
გენური 145
ქრომოსომული 146
მენდელის კანონები 103-104, 107
მეორადი სასქესო ნიშნები 118, 239
მერისტემა 78
გვერდითი 78
კენწრული 78
ინტერკალარული 78
მეტაბოლიზმი 5
მეტამორფოზი 98
არასრული 98
სრული 98
მეხსიერება 170-171
მიკორიზა 21
მიკროევოლუცია 232
მიტოზის ფაზები 60
ანაფაზა 62
მეტაფაზა 62
პრომეტაფაზა 62
პროფაზა 62
ტელოფაზა 62
მიტოზური ციკლი 60
მიტოქონდრია 35, 55
მიქსოტროფი 205
მიცელიუმი 20, 21
მორეცლება 188-189
მსხვილ ნაწლავში 189
კუჭში 188
პირის ღრუში 187, 188
წვრილ ნაწლავში 188-189

მორგანის კანონები 119, 121
მორულა 96
მოტივაცია 168-169
მუტაგენეზი 124, 127
ინდუცირებული 124, 127
სპონტანური 124, 128
ხელოვნური 149
მუტაგენი 127
მუტანტი 127
მუტაცია 124, 235
ბირთვეული 124
გენური 124, 143, 145, 235
გენომური 124, 126, 143, 235
დომინანტური 124
ინდუცირებული 124, 127
კლასიფიკაცია 124
პირდაპირი 124
რეცესიული 124
სომატური 124
სპონტანური 124, 28, 235
ქრომოსომული 124, 125, 146, 235
ციტოპლაზმური 124
შებრუნებული 124
მუტაციური ზეწოლა 235
მუტაციური ტვირთი 235
მუტონი 134

ნეირონი 76, 151-155
ნეირონული დოქტრინა 151
ნეირულა 97
ნერვული იმპულსის გაორკეცება 163-164
ნერვული ქსოვილი 67, 76
ნეფრონი 191
ნიტრიფიკაციის ბაქტერიები 19, 83
ნიშან-თვისება 102, 103,
ალტერნატიული 103
დომინანტური 103
რეცესიული 104
სქესთან შეჭიდული 116
სქესით განსაზღვრული 118
სქესით კონტროლირებული 118
ციტოპლაზმური 121
ნიოსფერო 216
ნორმალური განაწილება 273
ნორმირებული გადახრა 270

ონტოგენეზი 96
ოპერონი 132
ორგანოგენეზი 96
ორგანოები 255
ანალოგიური 255
რუდიმენტული 255
ჰომოლოგიური 255

პარაზიტი 18, 21, 208, 260
პარაზიტიზმი 208, 209
პარენქიმა 80
მესრისებრი 80
ღრუბლისებრი 80
პართენოგენეზი 95
პეროქსისომა 35, 54
პინოციტოზი 50
პლაზმიდა 136
პლაზმური მემბრანა 35, 48
პლასტიდი 35, 55
პლასტიკური ცვლა 5, 81
პლეიოტროპიზმი 112
პოლიპლოიდია 127, 253
ავტოპლოიდია 127, 253
ალოპლოიდია 127, 253
პოლიპლოიდური ჯიშები 149
პოპულაცია 232
არეალი 200, 232, 236
ასაკობრივი სტრუქტურა 200
განმარტება 232
გენეტიკური დახასიათება 233, 234
დინამიკა 200
პანმიქტური 234
სქესთა თანაფარდობა 201
პრეიმპლანტაციური დიაგნოსტიკა 144, 226, 227
პოსტემბრიონული განვითარება 98
არაპირდაპირი 98
პირდაპირი 98
პოტენციალი 49, 150-153
მოსვენების 151
მოქმედების 152-153
პრენატალური დიაგნოსტიკა 144, 226
პროდუცენტი 205, 206
პროკარიოტი 17, 18, 19, 48
პრონუკლეუსი 24
პროტოპლასტი 136, 220

რეაქციის ნორმა 122
რეგენერაცია 100
რედუცენტი 19, 205, 206
რეზუს ფაქტორი 142
რედუქციონიზმი 8
რეკაპიტულაციის კანონი 254
რეკომბინანტური დნმ 218, 219, 222
რეპარაცია 135
ფოტორეაქტიულობა 135
ექსციზიური 135
რესტრიქცია 218
რეფლექსი 156, 160, 161
გამომუშავება 160-161
რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ) 44, 46
ინფორმაციული 84
რიბოსომული 47
მატრიცული 47
საინფორმაციო 47
სატრანსპორტო 46, 85
რიბოსომა 35, 52

სათესლე 89,192
საკვერცხე 89,193
საპროფაგი 18
სარქველი (გულის) 176
საშუალო არითმეტიკული 270
სახეობა 4, 14, 15, 17, 232, 251
არეალი 232
მრავალფეროვნება 14, 229
კრიტერიუმი 15
პერსისტენტული 245
სახეობათა წარმოქმნა 251
ალოპატრიული 251, 252
სიმპატრიული 252
სახეობის კრიტერიუმები 15
ბიოქიმიური 15
გეოგრაფიული 15
გენეტიკური 16
მორფოლოგიური 15
ფიზიოლოგიური 15
სიზმარი 169-170
სიკვდილი 101
ადრეული 101
ბუნებრივი 101
პათოლოგიური 101
ფიზიოლოგიური 101
სიმბიოზი 19, 21, 55
სიმბიოზური ჰიპოთეზა 12
სინაფსი 78, 154-156
აგებულება 154
ელექტრული 154
ქიმიური 154-155
სინდრომი – დაუნის 146
ალისა-ვანკრეველის 237
კერნს –საირის 121
კლაინფელტერის 147
ლებერის 121
მარფანის 113
ტერნერის 146
X-ტრისომია 147
47- XYY 147
სისტემა 3, 4
ენდოკრინული 165-167
ვისცერალური 159
იერარქიული 4, 17
კლასიფიკაციის 17
ნერვული 151-160
ორგანიზმთა 16, 17
სასქესო 192-193
საყრდენ-მამოძრავებელი 172-174
საჭმლის მომნელებელი 187-189
სენსორული 161
ღია 4, 5
შარდ-სასქესო 190-193
სისტემატიკა 14
სისხლის პლაზმა 71
სისხლის უჯრედები:
აგრანულოციტი 72
ბაზოფილი 71, 72
გრანულოციტი 72
ეოზინოფილი 71, 72
ერითროციტი 71
ლეიკოციტი 72
დიმფოციტი 72
მონოციტი 50, 72
ნეიტროფილი 71, 72
სისხლის ჯგუფობრივობა 106, 142
სიცოცხლის ორგანიზაციული დონეები 4
ბიოსფერული 4
ეკოსისტემური 4
მოლეკულური 4
ორგანოული 4
სახეობრივი 4
უჯრედული 4
ქსოვილური 4
სიცოცხლის წარმოშობის ჰიპოთეზები 9-12
ბიოქიმიური 11-12
თვითწასახვის 9
კრეაციონისტული 9
პანსპერმიის 10
სტაციონალური 10
სმენის ორგანოები 163-164
სომატურ უჯრედთა კლონირება 220
სპერმატოზოიდი 90
სპერმია 25, 26, 95, 104
სპორა 18, 21
სპორანგიუმი 21, 22
სპოროფიტი 23, 24

სტანდარტული გადახრა 270
სტრომატოლიტი 11
სუნთქვა 82, 183-186
  სუნთქვითი მოძრაობანი 186
  სუნთქვის რეგულირება 186
სქესთან შეკიდულობა 116, 117, 138
სქესი 114
სქესის განსაზღვრა 114
  მოდიფიკაციური 115
  ფენოტიპური 115
  ქრომოსომული 114-115
სქესობრივი დიმორფიზმი 89, 118, 247

ტოლაქოიდი 55, 56
ტრანსდუქცია 130
ტრანსკრიპცია 84
ტრანსლაცია 85
ტრანსპირაცია 37
ტრანსფორმაცია 129
ტრანსფორმიზმი 229
ტოლერანტობა 196
ტოტიპოტენტურობა 222
ტურგორი 54

უჯრედის ცენტრი 35, 56
უჯრედული ინჟინერია 136, 150

ფაგოციტოზი 50
ფენოტიპი 104
ფიბრინი 43
ფილოგენეზური რიგი 259
ფილტვი 184
  აგებულება 184-185
  ბგერების წარმოქმნა 184
  გასთა ცელა 186
  სასიცოცხლო ტევადობა 185-186
  ჰაერგამტარი გზები 183-184
ფლეშა 79
ფოლდინგი 223
ფოტოავტოტროფი 18
ფოტოსინთეზი 37, 56, 82
  სიბნელის ფაზა 83
  სინათლის ფაზა 83
ფსიქია 167

ქალა 172
ქემოავტოტროფი 18
ქემოსინთეზი 83
ქლოროპლასტი 55
ქლოროფილი 55
ქორდა 97, 98
ქრომატიდა 62
ქრომატინი 57, 58
ქრომატოფორი 20
ქრომოპლასტი 55
ქრომოსომა 58, 59, 114
  აუტოსომური 114
  აკროცენტრული 58, 59
  მეტაცენტრული 58, 59
  სასქესო 114
  სუბმეტაცენტრული 58, 59
  ტელოცენტრული 58, 59
ქრომოსომული მუტაციები 125, 125
  ამპლიფიკაცია 126
  დელეცია 126
  დეფიშენსი 126
  დუპლიკაცია 126
  ინვერსია 126
  მულტიპლიკაცია 126
  ტრანსლოკაცია 126
  ტრანსპოზიცია 125
ქსილემა 79
ქსოვილთა კულტურა 140, 150, 221
ქსოვილი 67
  გამტარი 79
  ეპითელური 67
  კუნთოვანი 74
  მექანიკური 79
  მფარავი 79
  ნერვული 76
  სეკრეტორული 80
  სისხლი 70
  შემაერთებელი 73
  ძირითადი 79
  წარმომშობი 78
ქცევა 151, 154, 167,168
  ბიპეციორიზმი 167
  ნეობიპეციორიზმი 167-168

ყვითრი 90
ყნოსვა 164

შარდის წარმოქმნა 190-191
შეკავება 161
შემაერთებელი ქსოვილი 67, 73
  ლორწოვანი 73
  მკერივი 73
  პიგმენტური 74
  ფაშარი 73
  ჩონჩხის 74
  ცხიმოვანი 73
შეწოვა 180
შეჯვარებადობა 247
  გამაფრთხილებელი 249
  დანაწევრებითი 248
  მიმიკრია 249
  მფარველობითი 247

ჩონჩხი 172-173

ცენტრომერა 58
ცვალებადობა 102, 122
  არამემკვიდრული 122
  კომბინაციური 123
  მემკვიდრული 122, 123
  მუტაციური 123
  ონტოგენეზური 122
  მოდიფიკაციური 122, 123
ციტოკინეზი 60
ციტოპლაზმა 35
ციტოჩონჩხი 51
ცოცხალი სისტემის კრიტერიუმები 5

ძგალი 74
ძილი 169-170
ძირითადი ქსოვილი (მცენარის) 79
  საასიმილაციო 79
  სამარაგო 79
  წყლის შემცველი 79
  ჰაერის შემცველი 79

წითელი ნუსხა 15
წითელი წიგნი 15
წინაგულ-პარკუჭის კვანძი 176
წინაგულ-სინუსის კვანძი 176
წმინდა ხაზი 103
წნელი 178
  დიასტოლური 178
  სისტოლური 178
  სისხლის 178

ჭუპრი 98
ჭურჭლები (მცენარის) 79

ხელოვნური გადარჩევა 149
  ინდივიდუალური 149
  მასობრივი 149
ხრტილი 74
  ბოჭკოვანი 74
  ელასტიური 74
  ჰიალინური 74

ჯირკვლები 70
  ეკზოკრინული 70
  ენდოკრინული 70
ჯიში 147
  გენმოდიფიცირებული 150, 227
  მრავალფეროვნება 147
  ტრანსგენური 150, 224

ჰარდი-ვაინბერგის კანონი 233
ჰემიზიგოტა 116
ჰემოგლობინი 42
ჰემოფილია 138, 145, 146
ჰერმაფროდიტი 27-29, 89
ჰეტეროგენულობა (გენეტიკური) 239
ჰეტეროზიგოტი 104
ჰეტეროსისი 149
ჰეტეროტროფი 18, 205
ჰეტეროქრომატინი 58
ჰიბრიდი 103
ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი 103
ჰიბრიდომი 137, 220
ჰიფი 20-21
ჰომეოსტაზი 5
ჰომოზიგოტი 104
ჰომოლოგიური ორგანოები 255
ჰორმონი 40, 166
  ზრდის 44
  თირეოტროპული 44
  სასქესო 40

ბოლოსიტყვაობა

გამოცდების ეროვნული ცენტრის მიერ დაარსებულ „მასწავლებლის ბიბლიოთეკის" სერიას შეემატა ახალი სახელმძღვანელო - ,,ბიოლოგია''.

პედაგოგებისათვის განკუთვნილი ბიოლოგიის სახელმძღვანელო ქართულ ენაზე ამ სახით პირველად გამოდის. მასში ასახულია როგორც კლასიკურ ბიოლოგიაში დადგენილი კანონზომიერებები, ისე თანამედროვე ბიოლოგიის მიღნევები. ვიმედოვნებთ, რომ ჩვენ მიერ მომზადებული სახელმძღვანელო ხელს შეუწყობს მასწაელებლებს ცოდნის გაღმავებაში, სასნავლო პროცესის უკეთ ნარმართვაში.

სახელმძღვანელოზე მუშაობის პროცესში დიდი დახმარება გაგვიწიეს ჩვენმა კოლეგებმა: მ. მანიამ ნ.მითაგვარიამ, მ. მგალობლიშვილმა, მ. კაჭარავამ, ნ. კოპალიანმა, ნ. მიცკევიჩმა, ბ. ჯაფოშვილმა, ლ. შანშიაშვილმა, ა. გავაშელიშვილმა, გ. კიკნაძემ, ვ. კაშიამ, თ. იაშვილმა, გ. გეგენავამ. ხელნაწერს გაეცნენ სკოლის მასნავლებლები: ნ. დვალიშვილი, ა. ბიბიჩაძე, თ. სადაგიშვილი, მ.მენაბდე, ქ. ბოლქვაძე. მათი რჩევები გათვალისწინებულ იქნა მუშაობის პროცესში.

განსაკუთრებული მადლიერებით გვინდა აღვნიშნოთ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ნევრკორესპოდენტის, პროფესორ ირაკლი ელიავას დიდი წელილი ტექსტის მომზადებაში. სახელმძღვანელოსათვის საჭირო სურათების მოპოვებასა და დამუშავებაში დახმარება გაგვიწიეს ლ. მუმლაძემ და ქ. ხარებავამ. სახელმძღვანელო დიდი გულისყურით დააკაბადონა დ. ალელიშვილმა, ტექსტის რედაქტირება ეკუთვნის თ.დულარიძეს. გვსურს მადლიერებით აღვნიშნოთ სახელმძღვანელოს იდეის ავტორის - ეროვნული საგამოცდო ცენტრის საბუნებისმეტყველო განყოფილების ხელმძღვანელის გიორგი ჩეჩელაშვილის თანადგომა. ლა მათგანს კიდევ ერთხელ ვუხდით გულითად მადლობას.

შენიშვნები, რომლებიც ხელს შეუწყობს სახელმძღვანელოს გაუმჯობესებას, მადლობით იქნება ბული.

სარჩევი

თავი 1. ბიოლოგიის საგანი და ცოცხალი მატერიის თვისებები 3
1.1. ბიოლოგის კვლევის საგანი და სიცოცხლის არსი 3
1.2 ცოცხალი მატერიის ორგანიზაციული დონეები 4
1.3. ცოცხალი მატერიის კრიტერიუმები 4
1.4. ბიოლოგიის ადგილი მეცნიერებათა სისტემაში 6
1.5. ბიოლოგიის კვლევის მეთოდები 7
1.6. ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სისტემა 8

თავი 2. სიცოცხლის წარმოშობა დედამიწაზე 9
კრიაციონისტული ჰიპოთეზა 9
თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვის) ჰიპოთეზა 9
სტაციონარული მდგომარეობის (მარადიულობის) ჰიპოთეზა 10
პანსპერმიის (კოსმიური) ჰიპოთეზა 10
ბიოქიმიური ევოლუციის ჰიპოთეზა 11
ეუკარიოტული უჯრედის წარმოშობა 12

თავი 3. ორგანიზმთა მრავალფეროვნება და სისტემატიკა 14
3.1. ბიოლოგიური მრავალფეროვნება 14
3.2 სისტემატიკა 14
სახეობის კრიტერიუმები 15
ორგანიზმთა სისტემა 16
3.3. დომენი პროკარიოტები Procaryota 17
სამეფო მონერები – Monera 17
არქეები 17
ეუბაქტერიები 17
ოქსიფოტობაქტერიები 19
3.4. დომენი ეუკარიოტები Eucaryota 19
სამეფო პროტოკტისტები Protoctista 20
სამეფო სოკოები Fungi (Mycota) 21
სამეფო - უმაღლესი მცენარეები Plantae (Metapita) 22
ხავსნაირები 23
გვიმრანაირები 24
შიშველთესლოვნები 25
ფარულთესლოვნები 26
სამეფო ცხოველები Animalia 27
ნაწლავღრუიანები 27
ბრტყელი ჭიები 28
მრგვალი ჭიები 29
რგოლოვანი ჭიები 29
მოლუსკები ანუ რბილტანიანები 29
ფეხსახსრიანები 30

კანეკლიანები 30
ქორდიანები 31

თავი 4. უჯრედი – ელემენტარული ცოცხალი სისტემა 34
4.1. უჯრედული თეორიის ჩამოყალიბების მოკლე ისტორია და ძირითადი დებულებები 34
4.2. უჯრედის ქიმიური ორგანიზაცია 36
4.2.1. წყალი 37
4.2.2. მინერალური მარილები 38
4.2.3. ნახშირწყლები 38
4.2.4. ლიპიდები 40
4.2.5. ცილები 41
4.2.6. ნუკლეინის მჟავები 44
4.2.7. ადენოზინტრიფოსფორმჟავა 47
4.3. უჯრედის მორფოლოგიური ორგანიზაცია 48
4.3.1. პროკარიოტული და ეუკარიოტული უჯრედები 48
4.3.2. უჯრედული მემბრანები 48
4.3.4. პლაზმური მემბრანის აგებულება და ქიმიური შედგენილიბა 48
4.3.4. ციტოპლაზმა 51
4.3.5. ენდოპლაზმური ბადე 52
4.3.6. რიბოსომა 52
4.3.7. გოლჯის აპარატი 53
4.3.8. ლიზოსომა 53
4.3.9. პეროქსისომა 54
4.3.10. ვაკუოლი 54
4.3.11. მიტოქონდრიები 55
4.3.12. პლასტიდები 55
4.3.13. უჯრედის ცენტრი 56
4.3.14. წამწამები და შოლტები 56
4.3.15. ჩანართები 57
4.3.16. უჯრედის ბირთვი 57
4.4. უჯრედის სასიცოცხლო ციკლი, მიტოზი 60
4.5. სიცოცხლის არაუჯრედული ფორმები – ვირუსები 65
4.6. ქსოვილები 67
4.6.1. ცხოველებისა და ადამიანის ქსოვილები 67
ეპითელური ქსოვილები 67
სისხლი 70
შემაერთებელი ქსოვილები 73
კუნთოვანი ქსოვილები 74
ნერვული ქსოვილი 76
4.6.2. უმაღლესი მცენარეების ქსოვილები 78
წარმომშობი ქსოვილი 78
მფარავი ქსოვილი 79
მექანიკური ქსოვილი 79
გამტარი ქსოვილები 79
ძირითადი ქსოვილები 79
გამომყოფი ქსოვილები 80

თავი 5. ნივთიერებათა და ენერგიის ცვლა 81
5.1. ენერგეტიკული ცელა 81
5.2. ფოტოსინთეზი 82

5.3. ქემოსინთეზი 83
5.4. ცილის ბიოსინთეზი 84

თავი 6. ორგანიზმთა გამრავლება და ინდივიდური განვითარება 87
6.1. უსქესო გამრავლება 87
6.2. სქესობრივი გამრავლება 88
6.3. სასქესო უჯრედების ჩამოყალიბება ცხოველოებში 90
6.4. მეიოზი 91
6.5. განაყოფიერება ცხოველებში 93
6.6. სასქესო უჯრედების ჩამოყალიბება და ორმაგი განაყოფიერება ყვავილოვან მცენარეებში 94
6.7. სქესობრივი გამრავლების არარეგულარული ტიპები 95
6.8. ონტოგენეზი 96
6.8.1. ემბრიონული განვითარების ძირითადი ეტაპები ცხოველებში 96
6.8.2. პოსტემბრიონული განვითარება ცხოველებში 98
6.9. ორგანიზმის სასიცოცხლო ციკლი 99
ზრდა 100
რეგენერაცია 100
დაბერება და სიკვდილი 100

თავი 7. გენეტიკის საფუძვლები. 102
მემკვიდრულობის კანონზომიერებები და მემკვიდრეობის პრინციპები 102
7.1. მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებები 103
ჰიბრიდილოგიური მეთოდი 103
7.1.1. მონოჰიბრიდული შეჯვარება 103
პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნობის კანონი 103
დათიშვის კანონი 104
ალელიზმი 104
ფენოტიპი და გენოტიპი 104
გამეტათა სიწმინდის წესი 105
არასრული დომინირება 105
გამანალიზებელი შეჯვარება 105
ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ფორმები 106
მრავლობითი ალელიზმი 106
7.1.2. მონოჰიბრიდული შეჯვარების ციტოლოგიური მექანიზმი 107
7.1.3. დიჰიბრიდული შეჯვარება 107
7.2. არაალალურ გენთა ურთიერთქმედება 109
კომპლემენტურობა 109
ეპისტაზი 110
პოლიმერია 111
პლეიოტროპიზმი 112
7.3. მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორია. 113
სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი 114
7.3.1. სქესთან შეჭიდულობა 116
სქესის გაელენა გენის ექსპრესიაზე 118
7.3.2. გენთა შეჭიდულობა და კროსინგოვერი 118
გენთა შეჭიდულობა 118
კროსინგოვერი 119
ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივი განლაგება 120
ციტოპლაზმური მემკვიდრეობა 121
7.4. ცვალებადობის კანონზომიერებები 122

7.4.1. არამემკვიდრული ცვალებადობა 122
7.4.2. მემკვიდრული ცვალებადობა 123
კომბინაციური ცვალებადობა 124
მუტაციური ცვალებადობა 124
I. გენური მუტაციები 124
II. ქრომოსომული მუტაციები 125
III. გენომური მუტაციები 126
ინდუცირებული მუტაგენეზი 127
გარემოს მუტაგენები 128
7.5. მემკვიდრეობითობის მოლეკულური საფუძვლები 129
7.5.1. ნუკლეინის მჟავების როლი მემკვიდრეობაში 129
ბაქტერიების ტრანსფორმაცია 129
ბაქტერიოფაგის გამრავლება 130
ტრანსდუქცია 130
რნმ-ის გენეტიკური ფუნქცია 131
7.5.2. გენის მოქმედების რეგულაცია 132
7.5.3. გენის ნატიფი აგებულება 134
7.5.4. რეპარაცია 135
7.5.5. გენური ინჟინერია 136
7.5.6. უჯრედული ინჟინერია 136
7.6. ადამიანის გენეტიკის საკითხები 137
7.6.1. ადამიანის გენეტიკის თავისებურება და კვლევის მეთოდები 137
გენეალოგიური მეთოდი 138
ტყუპთა მეთოდი 138
დერმატოგლიფიკის მეთოდი 138
პოპულაციური მეთოდი 139
ბიოქიმიური მეთოდი 139
ციტოგენეტიკური მეთოდი 139
სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდი 140
მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდები 140
7.6.2. ნიშნების მემკვიდრეობა ადამიანში 141
რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა 142
7.6.3. გენეტიკა და მედიცინა 143
მემკვიდრული პათოლოგიების პროფილაქტიკა 144
მემკვიდრული დაავადებები 144
გენური დაავადებები 145
ქრომოსომული დაავადებები 146
7.7. გენეტიკა და სელექცია 147
ჯიშთა მრავალფეროვნება 147
7.7.1. სელექციის ძირითადი მეთოდები 149
7.7.2. სელექციის თანამედროვე მეთოდები 149

თავი 8. ადამიანის ანატომია და ფიზიოლოგია 151
8.1. ნერვული და ენდოკრინული სისტემები 151
81.1. ნეირონი, ნერვული იმპულსი 151
ნეირონული დოქტრინა 151
მოსვენების პოტენციალი 151
მოქმედების პოტენციალი 152
ნერვული იმპულსის გაერცელება 153
სინაფსი 154
8.1.2. ნერვული სისტემის ანატომიური და ფუნქციური ორგანიზაცია 155

ზურგის ტვინის აგებულება და ფუნქციები 155
თავის ტვინის აგებულება და ფუნქციები 157
თავის ტვინის დიდი ნახევარსფეროები 158
8.1.3. ვისცერალური სისტემა 159
8.1.4. ნერვული რეგულაციის რეფლექსური პრინციპი 160
შეკავება 161
8.1.5. სენსორული სისტემა 161
რეცეპტორთა ზოგადი მიმოხილვა 161
თვალის აგებულება 162
სმენის ორგანოების აგებულება 163
გემოს რეცეპტორები 164
შეხება და კუნთური გრძნობა 164
8.1.6. ენდოკრინული სისტემა 165
8.1.7. ფსიქიკა და ქცევა 167
8.1.8. ემოცია და მოტივაცია 168
8.1.9. ძილი და სიზმარი 169
8.1.10. მეხსიერება 170
8.2. საყრდენ-მამოძრავებელი სისტემა 172
ჩონჩხი 172
კუნთები 173
8.3. კანის აგებულება და ფუნქციები 174
8.4. სისხლის მიმოქცევის სისტემა 279
გული 175
სისხლძარღვები და სისხლის მიმოქცევის დიდი და მცირე წრე ... 177
გულის მუშაობისა და სისხლძარღვთა სანათურის რეგულაცია 180
8.5. იმუნიტეტი 180
ინფექციის შეჭრის ბარიერი 181
არასპეციფიკური იმუნიტეტი 182
სპეციფიკური იმუნიტეტი 182
8.6. სუნთქვა 183
ჰაერგამტარი გზები 183
ფილტვები 184
სუნთქვითი მოძრაობანი და მათი რეგულაცია 185
ფილტვების სასიცოცხლო ტევადობა 185
გაზთა ცელა ფილტვებსა და ქსოვილებში 186
8.7. საჭმლის მომნელებელი სისტემის ფიზიოლოგია 187
საჭმლის მონელება კუჭში 188
საჭმლის მონელება წერილ ნაწლავში 188
საჭმლის მონელება მსხვილ ნაწლავში 189
შეწოვა 189
8.8. შარდ-სასქესო სისტემა 190
8.8.1. შარდის წარმოქმნა 190
თირკმელი 190
8.8.2. სასქესო სისტემა 192

თავი 9. ეკოლოგიის საფუძვლები 194
9.1. რას შეისწავლის ეკოლოგია 194
9.2 ეკოლოგიური ფაქტორები 195
ტოლერანტობა 196
ლიბიხის კანონი 196
9.3. აბიოტური ფაქტორები 196

სინათლე ... 196
ტემპერატურა ... 197
ტენიანობა ... 198
ნიადაგი ... 198
გარემოს მარილიანობა ... 199
9.4. პოპულაციის ეკოლოგიური დახასიათება ... 200
9.5. ეკოსისტემა ... 201
მდგრადობა ... 202
თვითრეგულაცია ... 202
ბუნებრივ და ხელოვნურ ეკოსისტემათა შედარება ... 203
ბიოცენოზების გეოგრაფიული სონალობა ... 203
ბიოცენოზების ვერტიკალური სონალობა ... 204
9.6. საკვების მოპოვება, როგორც ეკოლოგიური ფაქტორი ... 205
პროდუქტულობა ... 206
კვებითი ქსელი ... 206
9.7. ბიოტური კავშირების ფორმები ... 207
9.8. ბიოსფერო როგორც გლობალური ეკოლოგიური სისტემა ... 210
ბიოსფეროს ევოლუცია ... 211
ბიოსფეროს სტრუქტურა ... 212

თავი 10. ადამიანი და გარემო ... 215
10.1. ანთროპოგენური ზემოქმედება ბიოსფეროზე ... 215
10.2. ბიოტექნოლოგია და ეკოლოგიური პრობლემები ... 217
მემკვიდრული თვისებების შეცვლის მეთოდები ... 218
გენური ინჟინერია ... 218
უჯრედული ინჟინერია ... 220
10.3. ბიოტექნოლოგიის მეშვეობით ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრა ... 222
ბიოტექნოლოგია და მედიცინა ... 222
ბიოტექნოლოგია და სოფლის მეურნეობა ... 224
ბიოტექნოლოგია მრეწველობასა და გარემოს დაცვაში ... 225
10.4. თანამედროვე გენეტიკური ინჟინერიის ეთიკური პრობლემები ... 226

თავი 11. ცოხალი სამყაროს ისტორიული განვითარება ... 229
11.1. ევოლუციური თეორიის განვითარების მოკლე ისტორია ... 229
ლამარკის ევოლუციური თეორია ... 230
დარვინ-უოლესის ევოლუციური თეორია ... 230
მიკროევოლუციის კანონზომიერებანი ... 232
11.2. პოპულაცია ევოლუციური პროცესის ელემენტარული ერთეული ... 232
11.3. პოპულაციის გენეტიკური დახასიათება ... 233
მიკროევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები ... 234
11.4. მუტაციური პროცესი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი ... 235
11.5. გენთა დრეიფი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი ... 235
11.6. გენთა ნაკადი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი ... 237
11.7. იზოლაცია, როგორც ევოლუციის ფაქტორი ... 237
11.8. ბუნებრივი გადარჩევა ... 239
ბუნებრივი გადარჩევის წანამძღვრები ... 239
ბუნებრივი გადარჩევა და მისი ძირითადი ფორმები ... 241
ბუნებრივი გადარჩევის არსი ... 241
ბუნებრივი გადარჩევის დამამტკიცებელი არგუმენტები ... 241
ბუნებრივი გადარჩევის ფორმები ... 244
მასტაბილიზებელი გადარჩევა ... 244

მამოძრავებელი გადარჩევა 245
დიზრუპტული გადარჩევა 246
სქესობრივი გადარჩევა 246
11.9. ადაპტაცია – ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი 247
მფარველობითი შეფერილობა 247
დანაწევრებითი შეფერილობა 248
გამაფრთხილებელი შეფერილობა 249
მიმიკრია 249
ადაპტაციის წარმოქმნის მექანიზმი 250
ადაპტაციის ფარდობითი ხასიათი 251
11.10. სახეობათა წარმოქმნა 251
სახეობათა ალოპატრიული წარმოქმნა 251
სახეობათა სიმპატრიული წარმოქმნა 252
მაკროევოლუციის კანონზომიერებანი 254
11.11. მაკროევოლუციის დამამტკიცებელი არგუმენტები 254
მოლეკულური ბიოლოგიის არგუმენტები 254
უჯრედული ბიოლოგიის არგუმენტები 254
შედარებითი ემბრიოლოგიის არგუმენტები 254
შედარებითი ანატომიის არგუმენტები 255
ბიოგეოგრაფიის არგუმენტები 256
პალეონტოლოგიის არგუმენტები 257
11.12. პროგრესული ევოლუციის ძირითადი მიმართულებები 259
ალოგენეზი 259
არογენეზი 260
კატაგენეზი 260
11.13. ბიოლოგიური ევოლუციის ძირითადი კანონზომიერებები. 261
დივერდენცია 261
კონვერგენცია 261
პარალელიზმი 261
11.14. ევოლუციის ძირითადი წესები 261
11.15. ბიოლოგიური პროგრესი და რეგრესი 262
11.16. ანთროპოგენეზი 263
ადამიანის ადგილი ცხოველთა სამეფოში 263
ანთროპოგენეზის ეტაპები 265
ადამიანის თავის ტვინის ევოლუცია 267

თავი 12. ბიომეტრიის ელემენტები 270
12.1. რიცხვთა საშუალო არითმეტიკული, დისპერსია, სტანდარტული გადახრა, ნორმირებული გადახრა, ვარიაციის კოეფიციენტი 270
12.2. ერთობლიობა, გენერალური ერთობლიობა და შერჩევითი ერთობლიობა 271
12.3. ნორმალური განაწილება 273
12.4. X^2 თანხმობის კრიტერიუმი 275
დამატება - ფიზიკურ სიდიდეთა საზომი ერთეულები 277

საგანთა საძიებელი 333

ბოლოსიტყვაობა 333