

თამარ ჭელიძე

გულქან ხიზაძე

ნეიროგენეზის საფუძვლები



თბილისი
2022

შემდგენლები: თამარ ქელიძე, გულქან ხიხაძე

რედაქტორი: გულქან ხიხაძე

რეცენზენტები: ნანული დორეული,

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
ადამიანისა და ცხოველთა ფიზიოლოგიის კათედრის გამგე,
ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ბუციკო ჩხარტიშვილი,

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
ასოცირებული პროფესორი, ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი

ყდის დიზაინი და დაკაბადონება: გიორგი ბაგრატიონი

© კავკასიის უნივერსიტეტი, 2022

ISBN 978-9941-9639-9-5

სარჩევი

თავი 1. შესავალი	5
თავი 2. ნარკველი სისტემის განვითარება	13
თავი 3. ნაირი	18
თავი 4. ნაირული მამბრანა	23
თავი 5. სინაპსი, სინაპსური ტრანსმისია	26
თავი 6. ნაირტრანსმიტარები	31
თავი 7. ზურგის ტვინი, რაფლექსი	37
თავი 8. ავტონომიური ნარკველი სისტემა	42
თავი 9. თავის ტვინის ღერო	48
თავი 10. შუამდებარე ტვინი, ენდოკრინული სისტემა	52
თავი 11. ღიღი ტვინის ქერაი	59
თავი 12. ლიმბური სისტემა	65
თავი 13. ყურადღება	70
თავი 14. მახსიარება	76
თავი 15. ღიღი ტვინის ქერაის მიმდებარეობითი ფუნქცია	81
თავი 16. ტივილი	92
თავი 17. კილი	99
თავი 18. მოტოკორტექსი. მოქროვის კონტროლი	109
თავი 19. ტვინის ასიმატრია. კოგნიტური ფუნქციები	117
თავი 20. ენა და მატყველება	127

თამარ ჭელიძისა და გულქან ხიხაძის მიერ შედგენილი სახელმძღვანელო „ნეირომეცნიერების საფუძვლები“ წარმოადგენს ნაშრომს, რომელშიც განხილულია ნერვულ სისტემაში მიმდინარე ფიზიოლოგიური პროცესების ნეირობიოლოგიური საფუძვლები. სახელმძღვანელოში, რომელიც მოიცავს 20 თავს, თანმიმდევრულადაა განხილული ნერვული სისტემის მორფოფუნქციური თავისებურებანი და ის მექანიზმები, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც სენსორული და მოტორული, ისე რთული კოგნიტური ფუნქციების განხორციელებას. სახელმძღვანელოში, ასევე, განხილულია ელექტრული პროცესების გენერაციისა და გავრცელების ძირითადი მექანიზმები ცოცხალ ორგანიზმში და იძლევა ინფორმაციას სინაპსების, ნეიროტრანსმიტერების ფუნქციონირებისა და ნეირონთა ინტეგრაციის პრინციპების შესახებ. დაინტერესებული სემინტი აღნიშნულ სახელმძღვანელოში გაცნობა ქცევითი აქტების რეგულაციის მექანიზმებს, დასწავლის პროცესების კანონზომიერებებს, სხვადასხვა სახის სოციალური ქცევის კონტროლის საფუძვლებს. თავის ტვინის ფუნქციონირების ძირითადი ასპექტების განხილვისას, ავტორები ყურადღებას ამახვილებენ სტრუქტურათა ფუნქციურ გაერთიანებებზე და მათ როლზე ისეთი პროცესების რეალიზაციაში, როგორიცაა ყურადღება, ემოცია, აღქმა, ტკივილი, მეტყველება.

სახელმძღვანელოს ავტორი ბიოლოგიის დოქტორი თამარ ჭელიძე წლების განმავლობაში მოღვაწეობდა ლუენენის (გერმანია) და ციურხის (შვეიცარია) უნივერსიტეტების სამეცნიერო ლაბორატორიებში ნეირობიოლოგიის აქტუალურ საკითხებზე, ბიოლოგიის დოქტორი გულქან ხიხაძე კი ივ. ბერიტაშვილის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტში ჩართული იყო სამეცნიერო კვლევებში მეხსიერების პროცესებში თავის ტვინის სტრუქტურათა შორის ურთიერთობების შესწავლის მიზნით. უკანასკნელ წლებში სახელმძღვანელოს ავტორთა ჩართულობამ საგანმანათლებლო პროგრამებში განაპირობა შესაბამისი აუდიტორიისთვის განკუთვნილი სასწავლო მასალის ქართულ ენაზე მომზადების ინიცირება. ამდენად, მისასალმებელია ავტორთა მხრიდან აღნიშნული მცდელობა, შეექმნათ სახელმძღვანელო, რომელიც ფსიქოლოგიის ფაკულტეტის სტუდენტებს მისცემს ცოდნას ნეირომეცნიერების საფუძვლების შესახებ. ფსიქოლოგია, რომელიც წარმოადგენს მეცნიერებას ფსიქიკის განვითარებისა და ფუნქციონირების კანონზომიერებების შესახებ, მიზნად ისახავს ადამიანის/ადამიანთა ჯგუფების, ცხოველების/ცხოველთა ჯგუფების ქცევის მიზეზების, შედეგების შესწავლასა და პროგნოზირებას; ამდენად, ამ საკითხების განხილვისას მნიშვნელოვანია ნეირომეცნიერების საფუძვლების ცოდნა. შესაბამისად, აღნიშნული სახელმძღვანელოს ამოცანაა ფსიქოლოგიის მიმართულების სტუდენტებმა აითვისონ როგორც თეორიული მასალა ნერვულ სისტემაში მიმდინარე პროცესების შესახებ, ასევე კვლევის ის მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება ამ პროცესების ქცევითი და ელექტროფიზიოლოგიური კორელატების შესაფასებლად ნორმასა და პათოლოგიის დროს.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ადამიანისა და ცხოველთა ფიზიოლოგიის კათედრის გამგე, ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ნაწული დორეული

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი ბუციკო ჩხარტიშვილი

თავი 1. შესავალი

ნებისმიერ ადამიანს შეიძლება გაუჩნდეს კითხვა იმის შესახებ, თუ როგორ ვხედავთ, როგორ გვესმის, როგორ გმოძრაობთ, ვსწავლობთ, ვიმახსოვრებთ, გვაეცინება, ებრაზება, როგორ ფუნქციონირებს ნერვული სისტემა ზოგადად.

ცნობებს თავის ტვინის ფუნქციონირების შესახებ დღეს უკვე მეცნიერების სხვადასხვა დარგი იძლევა: ბიოლოგია, ქიმია, ფიზიკა, მათემატიკა, ფსიქოლოგია, ნეიროფიზიოლოგია, მედიცინა... რევოლუციის ტოლფასი იყო მეცნიერთათვის იმის გაცნობიერება, რომ ყველაზე კარგად ტვინის ფუნქციონირების საკითხს ინტერდისციპლინური მიდგომა ჰყვანს ნათელს და არა ვინორ დარგობრივი თვალთახედვა. გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან მოყოლებული, ნერვული სისტემის ფუნქციონირების შესწავლის მიზნით, ყველა ამ დარგის მიღწევა გაერთიანდა ერთ დისციპლინად, რომელსაც **ნეირომეცნიერება** ეწოდება. ამიტომაც დღეს ყველას, ფსიქოლოგი იქნება ეს თუ ფიზიოლოგი, თამამად უნოდებენ ნეირომეცნიერს.

ნეირომეცნიერები ტვინის შესწავლას ახდენენ სხვადასხვა დონეზე. **მოლეკულური ნეირომეცნიერება** ტვინის ფუნქციონირებას სწავლობს მოლეკულურ დონეზე, **უჯრედული ნეირომეცნიერება** – უჯრედულ დონეზე, **სისტემების ნეირომეცნიერება** – ცალკეული სისტემების დონეზე (მაგ. მხედველობის სისტემა, მოტორული სისტემა), **ქცევითი ნეირომეცნიერება** – ქცევით დონეზე, ხოლო **კოგნიტური ნეირომეცნიერება** შეისწავლის იმ ნერვულ მექანიზმებს, რომელიც პასუხისმგებელია ადამიანის მენტალური აქტივობის ისეთ მაღალ დონეებზე, როგორიცაა მაგ. ყურადღება, წარმოდგენა და აჩვენებს, თუ როგორ „ქმნის“ ტვინი აზროვნებას. სწორედ აქ შეაქვთ თავისი წვლილი ფსიქოლოგებს. **ფსიქოლოგია** სამეცნიერო ცოდნის თანამედროვე სისტემაში ერთ-ერთი უძველესი მეცნიერებაა. ის წარმოიშვა ადამიანის მიერ საკუთარი თავის შეცნობის შედეგად. თავად სახელწოდება – ფსიქოლოგია (Psyche – სული, logos – სწავლება) მიუთითებს მის დანიშნულებაზე – ესაა სულის და მისი გამოხატულებების – ნების, ალქმის, ყურადღების, მხსიერების და ა.შ. შეცნობა. **ფიზიოლოგია** არის მეცნიერება ორგანიზმის ცხოველმყოფელობის შესახებ. სხვა სიტყვებით რომ თქვათ, ფიზიოლოგია აღწერს როგორც ცალკეული ორგანოების სასიცოცხლო ფუნქციების, ასევე, ორგანიზმში მათი შეთანხმებული მოქმედების მექანიზმებს. **ნეიროფიზიოლოგია** კი ფიზიოლოგიის სპეციალური განყოფილებაა, რომელიც ნერვულ სისტემას შეისწავლის. იგი უფრო მოგვიანებით წარმოიშვა, ვიდრე ფსიქოლოგია.

ისტორიული ცნობები

უძველესი დროიდან მრავალ შეხედულება არსებობდა ნერვული სისტემის აგებულებისა და ფუნქციონირების შესახებ. ადრეული ხანის ზოგიერთი მეცნიერის წარმოდგენა თავის ტვინის შესახებ შემოთფარვლობდა მხოლოდ იმით, რომ თავის ტვინში იყო 3 პარკუჭი. თითოეულ მათგანს კი გარკვეული ფსიქიკური ფუნქცია მიენერებოდა. ეს იყო არასრული, თუმცა სწორი მოსაზრება.

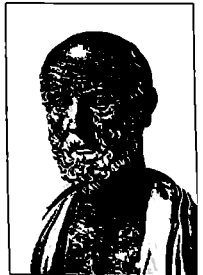
მართლაც, საკითხის არმცოდნე ნებისმიერმა ადამიანმა შეიძლება იფიქროს, რომ თავი ახდენს გარემოს აღქმას და კავშირს თვლების, ცხვირის, ყურებისა და ენის საშუალებით. გაკვეთის შედეგად შეიძლება ვნახოთ, რომ ყველა ამ ორგანოდან ნერვები მიდის ტვინში. ე.ი. გარემოს საბოლოო აღქმას ახდენს ტვინი.

თანამედროვე მედიცინის მამა – **ჰიპოკრატე** (სურ. 1.1) თვლიდა, რომ ტვინი არა მარტო ჩართულია შეგრძნებებში, არამედ ის წარმოადგენს ინტელექტის ორგანოსაც.

ცნობილი ბერძენი ფილოსოფოსის **არისტოტელეს** (სურ. 1.2) აზრით, ინტელექტის ორგანოს გული წარმოადგენდა. მისი შეხედულების თანახმად, გული ახდენდა სისხლის გათბობას, ხოლო ტვინი – გაგრილებას. სწორედ ტვინის ფუნქციის ასეთი გაგებით ხსნიდა ის ადამიანთა რაციონალური ტემპერამენტის არსებობას.

რომის იმპერიის ბერძენი ექიმი **გალენოსი** (სურ. 1.3) იზიარებდა ჰიპოკ-

სურ. 1.1 ჰიპოკრატე (ძვ. წ. 460-379)



რატის შეხედულებას. გარდა იმისა, რომ ის გლადიატორების ექიმი და ქირურგი გახლდათ, ამედროულად, საკუთარ დაკვირვებებს ახორციელებდა ცხოველებზეც. მან ცხერის ტვინში ნახა, რომ პატარა ტვინი ანუ ნათხეში მოთავსებულია დიდი ტვინის უკან (სურ. 1.4 ა,ბ). ამის საფუძველზე დაასკვნა, რომ დიდი ტვინი უნდა ყოფილიყო შეგრძნების ორგანო, ხოლო პატარა ტვინი კუნთებზე უნდა ყოფილიყო პასუხისმგებელი. მართლაც, გალენოსის მოსაზრება ახლოსაა სიმართლესთან: დიდი ტვინი ანუ ცერებრუმი (ლათ. cerebrum) წარმოადგენს შეგრძნების და მეხსიერების, ხოლო ნათხეში ანუ ცერებელუმი (ლათ. cerebellum) – მოძრაობის კონტროლის ცენტრს.

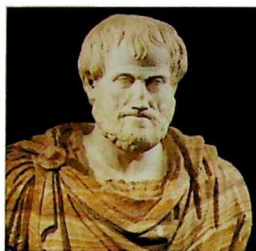
გალენოსმა ტვინის გაკვეთი-სას აღმოაჩინა, რომ ტვინი შეიცავდა ღრუებს (მოგვიანებით მათ პარაკუჭები ეწოდა, სურ. 1.5 ა, ბ), რომლებიც ამოვსებული იყო სითხით. მისი აზრით, სწორედ ეს სითხე თამაშობდა მთავარ როლს მოძრაობის წარმოშობაში. კერძოდ, ის თვლიდა, რომ შეგრძნების პროცესში სითხე იწყებდა მოძრაობას პარაკუჭებიდან ნერვების გავლით კუნთამდე, ან პირიქით. მისი აზრით, ნერვები წარმოადგენდა მილებს, რომლებიც ისევე იყო ამოვსებული სითხით, როგორც სისხლძარღვები სისხლით.

გალენოსის მოსაზრებები გაბატონებული იყო დაახლოებით 1500 წლის მანძილზე.

ფრანგი ფილოსოფოსი და მათემატიკოსი რენე დეკარტი მთლიანად იზიარებდა გალენოსის მოსაზრებებს. ის თვლიდა, რომ ამ თეორიით თავისუფლად შეიძლებოდა ცხოველთა ქცევის ახსნა, მაგრამ შეუძლებელი იყო ადამიანის ქცევის ფართო სპექტრის გაგება. ადამიანის შემთხვევაში ის დამატებით აღიარებდა ღვთისგან მოძებული სულის არსებობას, რომლის სამყოფლად ტვინს მიიჩნევდა. გარდა ამისა, ის თვლიდა, რომ მენტალური შესაძლებლობები ტვინის გარეთ, გონებაში არსებობს. დღევანდელ დღეს თანამედროვე ნეირომეცნიერება რადიკალურად განსხვავებულ დასკვნას აკეთებს: გონებას გააჩნია საფუძველი და ამ საფუძველს ტვინი წარმოადგენს.

საბედნიეროდ, მე-17-18 საუკუნეებში მეცნიერებმა ინტენსიურად დაიწყეს თავის ტვინის შესწავლა. მე-18 საუკუნის ბოლოს უკვე ცნობილი იყო, რომ ნერვული სისტემა შედგებოდა ცენტრალური (თავის ტვინი, ზურგის ტვინი) და პერიფერიული (ნერვები) ნაწილებისგან. ნანახი იქნა, რომ ტვინი შედგება რუხი და თეთრი ნივთიერებისგან; ასევე, ცნობილი გახდა ტვინის ზედაპირზე უამრავი ხვეულის და ღარის არსებობა.

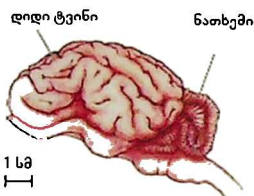
1751 წელს ბენჯამინ ფრანკლინმა გამოაქვეყნა მცირე ბროშურა – „ექსპერიმენტები და დაკვირვებები



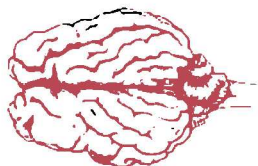
სურ. 1.2 არისტოტელე (ძვ. წ. 384-322)



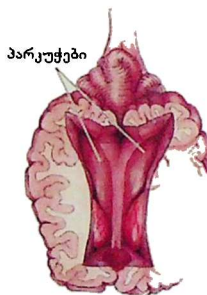
სურ. 1.3 გალენოსი (130-200)



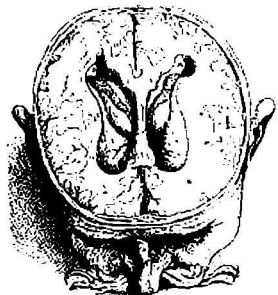
სურ. 1.4 ა. ხედი გვერდიდან



ბ. ხედი ზემოდან



სურ. 1.5 ა. ცხერის ტვინის პარაკუჭები ბ. ადამიანის ტვინის პარაკუჭები (რენესანსის ეპოქის გამოსახულება)



ელექტროობაზე", რომელიც მკითხველს აცნობდა ახალ წარმოდგენებს ამ დარგზე.

ელექტროობის ცნება მნიშვნელოვანი მახასიათებელი გახდა ნეირომეცნიერების შესწავლის პროცესში. კერძოდ, იტალიელმა მეცნიერმა **ლუიჯი გალვანიმ** (სურ. 1.6) და გერმანელმა ბიოლოგმა **დუ ბუა-რეიმონმა** (სურ. 1.7) უჩვენეს, რომ კუნთები იკუმშებოდა მხოლოდ მაშინ, როცა ხდებოდა ნერვების ელექტრული სტიმულაცია და ტვინს თავად შეეძლო ელექტროობის წარმოშობა. არსებულ დენს გალვანიმ ბიოდენი უწოდა, ანუ **ბიოდენი** არის ცოცხალ



სურ. 1.6 ლუიჯი გალვანი
(1737-1798)



სურ. 1.7 დუ ბუა-რეიმონი
(1831-1889)

ორგანიზმში არსებული ელექტრული დენი, რომელიც ელინდება როგორც ფიზიოლოგიური აქტივობისას, ასევე მოსვენების მდგომარეობაშიც. ახალმა აღმოჩენამ უკვე ჩაანაცვლა ძველი შეხედულება იმის შესახებ, რომ ნერვები წარმოადგენდნენ სითხით ამოვსებულ მილებს. ახალი შეხედულების თანახმად, ნერვები წარმოადგენდნენ „მავთულებს“ გამტარებს, რომელთაც გადააქვთ ელექტრული სიგნალი ტვინიდან ორგანიზმში და პირიქით. გალვანის მოსაზრებას ეწინააღმდეგებოდა იტალიელი ფიზიკოსი **ალესანდრო ვოლტა** (სურ. 1.8), რომელიც ამტკიცებდა, რომ დენი მხოლოდ მარილიან ხსნარში ორი მეტალის ფირფიტის შეხებით წარმოიქმნება.



სურ. 1.8 ალესანდრო ვოლტა
(1745-1827)



სურ. 1.9 ჩარლზ ბელი
(1774 - 1842)



სურ. 1.10 ფრანსუა მაგენდი
(1783 - 1855)

ყოველივე ზემოაღნიშნულის ფონზე პასუხაუცებელი რჩებოდა მხოლოდ ერთი კითხვა: გადაჭონდა თუ არა ერთსა და იმავე ნერვს სიგნალი ტვინიდან ორგანიზმამდე და ორგანიზმიდან ტვინამდე? ამ კითხვას პასუხი 1810 წელს გაეცა შოტლანდიელი ექიმის **ჩარლზ ბელის** (სურ. 1.9) და ფრანგი ფიზიოლოგის **ფრანსუა მაგენდის** (სურ. 1.10) მიერ. მათ ნახეს, რომ თითოეული ნერვი შედგება უამრავი წერილი „მავთულისაგან“, რომელთაგან ერთი ნაწილი აგზავნის ინფორმაციას ტვინისკენ, მეორეს კი პირიქით – ტვინიდან მოაქვს სიგნალი ორგანიზმში.

ალსანინშავია ის გარემოება, რომ მე-19 საუკუნის მეორე ნახევრამდე, ნეიროფიზიოლოგია ვითარდებოდა, როგორც ექსპერიმენტული მეცნიერება, რომელიც ემყარებოდა ცხოველებზე ჩატარებულ ცდებს. მაგრამ, კვლევებმა აჩვენა, რომ ადამიანისა და ცხოველის ნერვული სისტემის ფუნქციონირებაში არსებითი განსხვავება არ არსებობდა. მართლაც, ნერვული სისტემის საფუძვლები ადამიანებსა და ცხოველებში ერთნაირია. მაგ. ერთნაირად ვრცელდება აგზნება ნერვულ ბოჭკოში, ერთნაირად გადაეცემა აგზნება ერთი ნერვული დაბოლოებიდან მეორეს, ან ნერვული დაბოლოებიდან კუნთოვან ბოჭკოს, მსგავსია უმარტივესი რეფლექსები (მაგ. კიდურების მოხრის რეფლექსი), შედარებით მარტივი – სინათლის, ბგერითი, ტაქტილური და სხვა გამღიზიანებლების აღქმა და ა.შ.

მე-19 საუკუნის ბოლოს, მეცნიერებმა დაიწყეს უფრო რთული ფუნქციების შესწავლა

სუნთქვის, სისხლის და ქსოვილთაშორისი სითხის შემადგენლობის მუდმივობის და ახალი მეთოდების შემუშავების შემდეგ ჯერი უკვე თავის ტვინის ფუნქციის შესწავლაზე მიდგა.

მიუხედავად იმისა, რომ გაჩნდა ფიზიოლოგიური კვლევის გარკვეული და მნიშვნელოვანი მონაცემები, ადრეული პერიოდის კვლევები ფსიქოლოგიაში მოკლებული იყო ფიზიოლოგიურ საფუძვლებს. ეს სრულიად გასაგებია, ენაიდან ფიზიოლოგია, ფსიქოლოგიასთან შედარებით, მეცნიერების უფრო ახალ დარგს წარმოადგენს. გარდა ამისა, ფიზიოლოგიის განვითარების სანაყის ეტაპებზე ეს დარგი, ძირითადად, შინაგანი ორგანოების ფუნქციონირებას სწავლობდა და მისი კვლევის საგანს თავის ტვინი ნაკლებად წარმოადგენდა.

1863 წელს ივანე სეჩენოვის (სურ. 1.11) მიერ გამოცემულ იქნა ნაშრომი „თავის ტვინის რეფლექსები“, რომელმაც ღრმა კვალი დატოვა მეცნიერებაში. სეჩენოვმა პირველად დაასაბუთა დამაჯერებლად, რომ ადამიანის ფსიქიკური მოქმედება ფიზიოლოგიის შესწავლის საგანი უნდა გამხდარიყო.

ეს იდეა უფრო განავითარა ნობელის პრემიის ლაურეატმა – ივანე პავლოვმა (სურ. 1.12) ნაშრომში „სწავლება პირობითი რეფლექსების ფიზიოლოგიაზე“ მისივე დამსაბუთებაა დიდი ტვინის ქერქის შესწავლის ექსპერიმენტული მეთოდების შემუშავება.

თავის ტვინის ანატომიისა და მორფოლოგიის

შესწავლასთან ერთად, ფიზიოლოგიური გამოკვლევები მიუთითებდნენ იმაზე, რომ სწორედ თავის ტვინი წარმოადგენს ჩვენი შემეცნების, აზროვნების, აღქმის, მეხსიერების და სხვა ფსიქიკური ფუნქციების ინსტრუმენტს.

ფასდაუდებელია ქართველი ნეირო-ფიზიოლოგების ივანე ბერიტაშვილის (სურ. 1.13), სერგი ნარიკაშვილის, თენგიზ ონიანის, თეიმურაზ იოსელიანის, ვაჟა ოკუჯავას და სხვათა შრომები თავის ტვინის ფუნქციონირების შესწავლის საქმეში, ხოლო ქართველი ფსიქოლოგის დიმიტრი უზნაძის (სურ. 1.14) „განწყობის თეორია“ თანამედროვე ფსიქოლოგიის ერთ-ერთი უმთავრესი მონაშთარია.

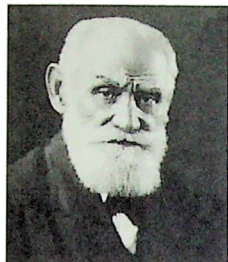
ადრე ფსიქოლოგებს აინტერესებდათ თავად ფსიქიკური ფუნქციის ორგანიზაცია და არა ამ ფუნქციაში ჩართული ტვინის ცალკეული სტრუქტურის მოქმედება. მაგ.

ფსიქიკური ფუნქციების კვლევებს ფსიქოლოგები ახდენდნენ ისეთი მეთოდებით, როგორიცაა ტესტების მეთოდი, ისინი ფსიქიკის მაჩვენებლებს შეისწავლიდნენ ტვინის სტრუქტურების კვლევის გარეშე. რამდენიმე ათეული წლის წინ გაჩნდა ფსიქიკური ფუნქციების ზოგიერთი მაჩვენებლის (აღქმის, ყურადღების, მეხსიერების და სხვა) ფიზიოლოგიური მეთოდებით კვლევის ტექნიკური შესაძლებლობები. თავის ტვინის კვლევებისადმი ახალი მიდგომების ერთობლიობამ და, ასევე, ფიზიოლოგების სამეცნიერო ინტერესებმა ფსიქოლოგიაში წარმოშვა ახალი, მოსაზღვრე მეცნიერება – ფსიქოფიზიოლოგია. გამომდინარე აქედან, ფიზიოლოგს, რომელიც იკვლევს თავის ტვინის ფუნქციებს, ესაჭიროება გარკვეული ცოდნა ფსიქოლოგიაში და პირიქით, ფსიქოლოგიც უნდა ერკვეოდეს ფიზიოლოგიის პრინციპებსა და თავის ტვინის კვლევის მეთოდებში. მაგ. თავის ტვინის სხვადასხვა მეთოდები მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა ფსიქიკური პროცესების მიმდინარეობის შესახებ. ნეიროფიზიოლოგიური კვლევის შედეგები ფსიქოლოგიური კვლევების სანდოობის ახსნის საფუძველს წარმოადგენს.

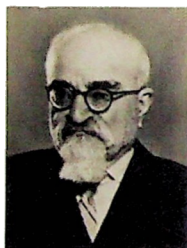
კიდევ ერთ მოსაზღვრე დარგია ნეიროფსიქოლოგია, რომელიც სწავლობს კავშირს ქცევასა



სურ.1.11 ივანე სეჩენოვი
(1829-1905)



სურ.1.12. ივანე პავლოვი
(1849-1936)



სურ.1.13 ივანე ბერიტაშვილი
(1885-1974)



სურ.1.14. დიმიტრი უზნაძე
(1886-1950)

და ტვინის ფუნქციებს შორის. წარმოუდგენელია მის სიღრმეებში ჩანვდომა ნეიროფიზიოლოგიის, ნეიროანატომიის და სხვა მონათესავე დისციპლინების საფუძვლების გარეშე.

კვლევის მეთოდები ფიზიოლოგიაში

ფიზიოლოგიაში კვლევის უამრავი მეთოდია ცნობილი. ზოგადი მეთოდებიდან ხაზი უნდა გაესვას ანალიზური და სინთეზური მეთოდების გამოყენებას.

ანალიზური მეთოდი გულისხმობს ცალკეული ორგანოს შესწავლას ვივისექციის – ორგანიზმის ცოცხლად გაკვეთის საფუძველზე. აღნიშნულ მეთოდს აქვს დადებითი მხარე თვალსაჩინოების მხრივ, მაგრამ ის მაინც ვერ იძლევა პროულ პასუხს ორგანიზმის მთლიანობის პირობებში ცალკეული სტრუქტურის მუშაობის შესახებ, ვინაიდან ცოცხლად გაკვეთა გარკვეულ სტრუქტურულ და, შესაბამისად, ფუნქციურ დარღვევებს იწვევს.

სინთეზური მეთოდის შემთხვევაში არ ხდება სხვადასხვა ორგანოს გამოცალკეება ორგანიზმიდან. გამოცალკეების შემთხვევაში კი სისხლის მიმოქცევა და ინერვაცია შენარჩუნებულია. აქედან გამომდინარე, ფუნქციებზე დაკვირვება შესაძლებელია ორგანიზმის მთლიანობის პირობებში.

თავის ტვინის კვლევის მეთოდები

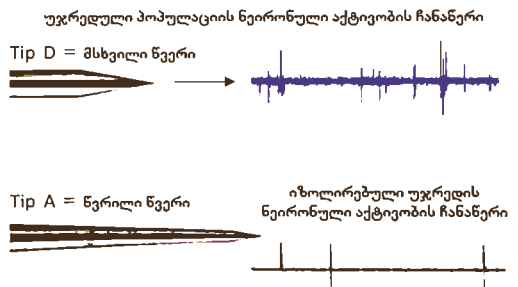
აღსანიშნავია, რომ ნეირომეცნიერებაში პირველ ექსპერიმენტულ ცხოველს წარმოადგენდა ბაყაყი. ამჟამად, საკვლევ ობიექტებად გამოიყენება ვირთაგვები, თაგვები და მოლუსკები, მაგ. კალმარი, რომელსაც გიგანტური აქსონი (ნერვული უჯრედის – ნეირონის შემადგენელი ნაწილი, რომელიც შემდგომ თაგვებში იქნება განხილული) გააჩნია. სწორედ გიგანტური აქსონი (500-1000 მკმ დიამეტრის) წარმოადგენს საუკეთესო საკვლევ ობიექტს იონური არხების შესასწავლად. ნეირონიდან ნეირონზე ან ნერვიდან კუნთზე აგზნების გადაცემაზე დაკვირვება ყველაზე კარგად ძუძუმწოვრებზეა შესაძლებელი.

კვლევის მეთოდებიდან უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სხვადასხვა ექსპერიმენტულ და კლინიკურ ელექტროფიზიოლოგიურ მეთოდს. ეს მეთოდები იძლევიან როგორც ნერვული სისტემის ცალკეულ უჯრედში მიმდინარე პროცესების, ისე უჯრედთა ჯგუფში და ნერვში მიმდინარე ელექტრული პროცესების რეგისტრირების საშუალებას.

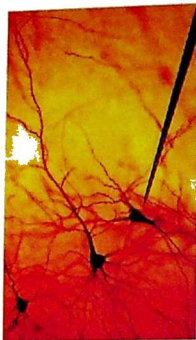
ნეირონების ბიოელექტრული აქტივობის შესასწავლად გამოიყენება მიკროელექტროდული ტექნიკა – მეტალის და მინის მიკროელექტროდები, რომლებიც შეჰყავთ ნეირონებში და ამგვარად აზღვენენ აქტივობის აღრიცხვას.

კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე, გამოიყენება სხვადასხვა ზომის ნეეროს მქონე მეტალის ელექტროდები (სურ. 1.15). ერთეული ნეირონის აქტივობის დასაფიქსირებლად გამოიყენება ის ელექტროდები, რომელთა ნეეროს დიამეტრი 5მკმ-ია (სურ. 1.16), ხოლო უფრო დიდი დიამეტრის მქონე ელექტროდები (10 მკმ-იანი) ფიზიკურად ვერ აღწევს ნეირონში – ის ერთდროულად რამდენიმე ათეულ ნეირონს გარედან ეხება და მათ ჯამურ აქტივობას აღრიცხავს.

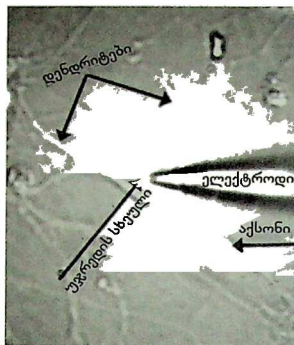
მინის ელექტროდებით ნეირონის უჯრედშიდა აქტივობის ჩასანერად შესაძლებელია მისი უჯრედში შეყვანა. (სურ. 1.17). მინის მიკროელექტროდი ერთგვარი პიპეტია, რომელიც გახურებით წანვეტებულ ფორმას ღებულობს.



სურ. 1.15 სხვადასხვა ზომის მეტალის ელექტროდები და მათი საშუალებით აღრიცხული ნეირონული აქტივობის ჩანაწერი



სურ. 1.16 მეტალის ელექტროდის წვერი ნეირონის სიახლოვეს



სურ. 1.17 მინის ელექტროდის მდებარეობა უჯრედის შიგნით. მონიშნულია ორი დენდრიტი, სომა და აქსონი.

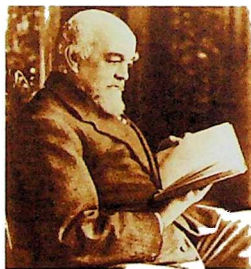
ჩამოთვლილი ექსპერიმენტული მეთოდებით არ იწურება თავის ტვინის კვლევის მეთოდები. ისინი საკმაოდ მრავალრიცხოვანია. ნეიროფიზიოლოგიაში არსებულ სხვადასხვა მეთოდს ფართოდ იყენებენ როგორც ნევროლოგები, ისე ფსიქიატრები და ფსიქოლოგები.

ელექტროფიზიოლოგია რამდენიმე საუკუნის წინ იღებს სათავეს. პირველ ელექტროფიზიოლოგიურ ცდებამ შეიძლება ჩაითვალოს გალვანისა და დუ ბუა-რეიმონის ცდები.

მე-19 საუკუნეში გამოჩნდა პირველი ფიზიკური ხელსაწყოები (სიმებიანი გალვანომეტრი), რომელიც ბიოლოგიური ობიექტებიდან სუსტი ელექტრული პოტენციალების აღრიცხვის საშუალებას იძლეოდა. ინგლისში, მანჩესტერის მერმა და, ამავდროულად, მეცნიერმა **რიჩარდ კატონმა** (სურ. 1.18), 1875 წელს, პირველმა მოახერხა ის, რომ ელექტროდები ძაღლის თავის ტვინის კეფის ნაწილში მოათავსა და აღრიცხა თვალეზე სინათლის მინათებისას წარმოქმნილი ელექტრული პოტენციალის ცვლილება. მსგავს ცვლილებებს თანამედროვე ფიზიოლოგიაში **გამოწვეული პოტენციალები** ეწოდება და ფართოდ გამოიყენება ტვინის შესწავლისას.

1929 წელს გერმანელმა ფსიქიატრმა იენის უნივერსიტეტიდან **ჰანს ბერგერმა** (სურ. 1.19) პირველად ჩაწერა ადამიანის თავის ტვინის აქტივობა თავის ქალაზე დამაგრებული ელექტროდების საშუალებით. საკვლევი ობიექტი იყო საკუთარი 15 წლის შვილი.

ამ მეთოდს ეწოდა **ელექტროენცეფალოგრაფია** (ეეგ), ხოლო მიღებულ ჩანაწერს **ელექტროენცეფალოგრამა** (სურ. 1.20). ამ კვლევებში პირველად იყო რეგისტრირებული ადამიანის თავის ტვინის აქტივობის ძირითადი რიტმი – **ალფა რიტმი**. ეს უკვე შეიძლება ჩაითვალოს თავის ტვინის ფიზიოლოგიის კვლევის თანამედროვე ეპოქის საწყის ეტაპად.



სურ. 1.18 რიჩარდ კატონი (1842 – 1926)



სურ. 1.19 ჰანს ბერგერი (1873 – 1941)



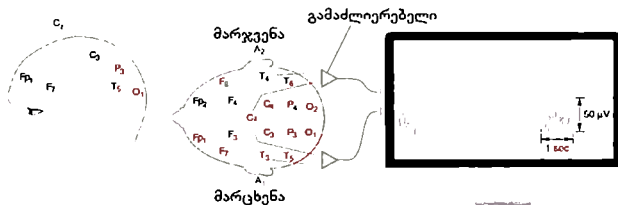
სურ. 1.20 ეეგ-ს პირველი ჩანაწერი. ზედა სხივი გამოსახავს ალფა რიტმს.

თავის ტვინის კვლევის თანამედროვე მეთოდები

თავის ტვინის კვლევის მეთოდები მუდმივ განახლებას და დახვეწას განიცდის. კვლევის თანამედროვე მეთოდებს მიეკუთვნება: ეეგ, კომპიუტერული ტომოგრაფია (კტ), მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია (მრტ).

ეეგ შეისწავლის ქერქის ბიოელექტრულ აქტივობას. მეთოდი საკმაოდ მგრძნობიარეა და ასახავს თავის ტვინის ქერქისა და ღრმა სტრუქტურების ფუნქციის მცირე ცვლილებასაც კი. ამასთან, ის იძლევა ტვინის ფუნქციური მდგომარეობის და გამლიზიანებულზე მისი რეაქციის თვისობრივი და რაოდენობრივი შეფასების საშუალებას. ეეგ ფართოდ გამოიყენება როგორც კლინიკურ პრაქტიკაში (ეპილეფსიის დიაგნოსტიკა), ასევე, ძილ-ღვიძლის ციკლისა და სხვადასხვა კოგნიტური პროცესების შესასწავლად.

ეეგ არაინვაზიური (ინვაზია – რაიმე აგენტის ორგანიზმში შეღწევა) და უმტკივნეულო მეთოდია. ამ დროს თავის კანზე, სპეციალურად განსაზღვრულ ადგილებში, მაგრდება ბიოელექტრული ელექტროდი (სურ. 1.21), რომლებიც ზომავენ პოტენციალთა სხვაობას ორ სხვადასხვა ნერტილის შორის.

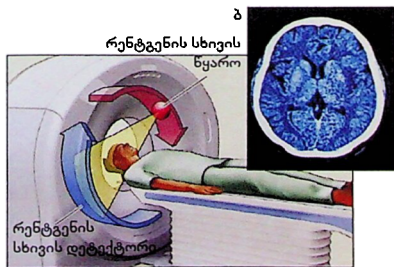


სურ. 1.21 ელექტროდთა ტიპური განლაგება ეეგ-ს დროს
19 სტანდარტული პოზიცია

მეთოდის ყველაზე დიდ უპირატესობას წარმოადგენს მისი სიმარტივე: წყვილი ელექტროდი თავსდება თავზე სტანდარტულ პოზიციებში. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ მას გააჩნია სერიოზული ნაკლი – შეზღუდული სივრცობრივი არეალი. სიგნალის ამპლიტუდა, რეალურთან შედარებით, დაბალია, სხვადასხვა წინააღობის (ტვინის რბილი გარსი, სუბარაქნოიდული სივრცე, სისხლძარღვოვანი გარსი, მაგარი გარსი, ქალა, კანი) არსებობის გამო.

კტ მეთოდის გამოჩენამ გასული საუკუნის 70-იან წლებში ახალი ერა შექმნა დაზიანების გარეშე ცოცხალი ტვინის შესწავლის გზაზე. მეთოდი გულისხმობს რენტგენის გამოსხივების გამოყენებას, რომელიც მოძრაობს თავის გარშემო. შედეგად მიიღება ტომოგრაფიული (ბერძნულად „ტომო“ ნიშნავს „გაჭრას“ ან „ანათალს“) სურათი, რომელშიც ნათლად შეიძლება ერთმანეთისგან რუხი და თეთრი ნივთიერების, ასევე, პარაკუჭების და ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურების გარჩევა. კტ მნიშვნელოვანი მეთოდია იმ დაზიანებების დასადგენად, რომლებიც არ ჩანს სტანდარტული რენტგენის გამოყენების შემთხვევაში, მაგ. მეტასტაზები (სურ. 1.22).

ტვინის ტომოგრაფიული მეთოდები კიდევ უფრო დაიხვეწა გასული საუკუნის 80-იან წლებში. მრტ მსგავსია კომპიუტერული ტომოგრაფიის, მაგრამ გამოირჩევა გაცილებით უკეთესი რეზოლუციით. მისი საშუალებით შეიძლება არა მარტო სიმსივნეების გამოვლინება, არამედ მეტაბოლური ცვლილების დაფიქსირებაც.

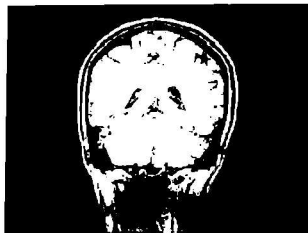


სურ. 1.22 კომპიუტერული ტომოგრაფია

ა. ტომოგრაფი

ბ. ტვინის ტიპური პორიზონტალური შრის სურათი

გ. პაციენტის კტ სურათი, რომელზეც თეთრი ლაქების სახით აღინიშნება მრავლობითი მეტასტაზები



ბ.

გ.

სურ. 1.23 მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია. ა. ტომოგრაფში თავსდება პაციენტი. თავი ფიქსირდება სპეციალური მაგნიტური ბადესამაგრით, რომელიც ახდენს მაგნიტურ-რეზონანსული სიგნალების აქტივაციას და ჩანერას. ბ-გ – ორი სხვადასხვა რეჟიმით მიღებული გამოსახულება.

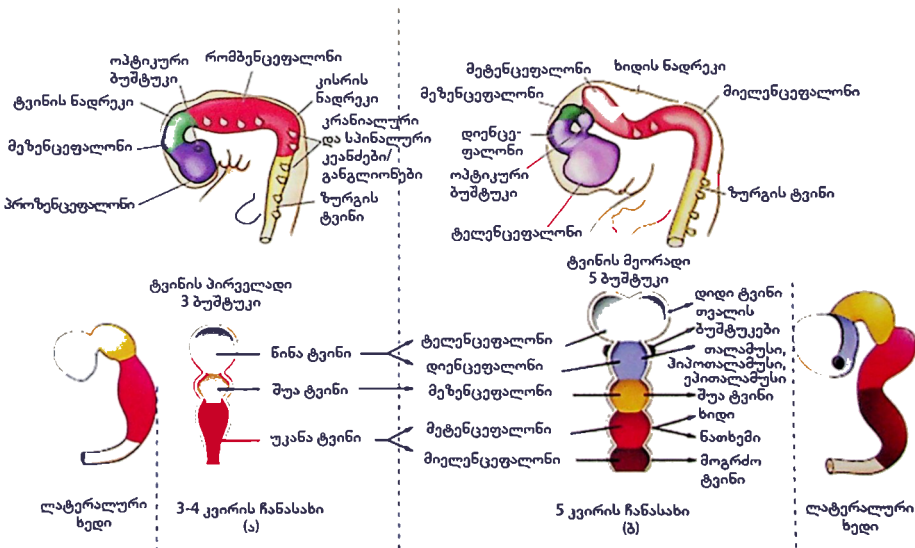
სხვადასხვა ფუნქციის შესრულებისას ტვინის აქტივობის დაფიქსირება შესაძლებელი გახდა ამ მიზნისთვის სპეციალური მეთოდების შემუშავების შემდეგ. ასეთ მეთოდებს მიეკუთვნება ფუნქციური მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია, პოზიტრონულ-ემისიური ტომოგრაფია, ერთფოტონიანი-ემისიური კომპიუტერული ტომოგრაფია და მაგნიტოენცეფალოგრაფია. ყოველი მათგანი იძლევა სხვადასხვა ფუნქციაში ჩართული სტრუქტურების გამოვლენის განსხვავებულ საშუალებას, რაც კიდევ უფრო ამარტივებს დაავადებათა დიაგნოსტიკებას.

თავი 2. ნერვული სისტემის განვითარება

მოზრდილი ადამიანის ტვინის უნიკალური სტრუქტურა გააჩნია. ასეთი ანყობილი კომპლექსური სტრუქტურა განვითარების რთული ეტაპების შედეგს წარმოადგენს. უჯრედების ურთიერთკომუნიკაცია, გენეტიკური ბრძანებები და შედეგები განაპირობებს ლეროვანი უჯრედების მიერ მთელი ნერვული სისტემის ჩამოყალიბებას.

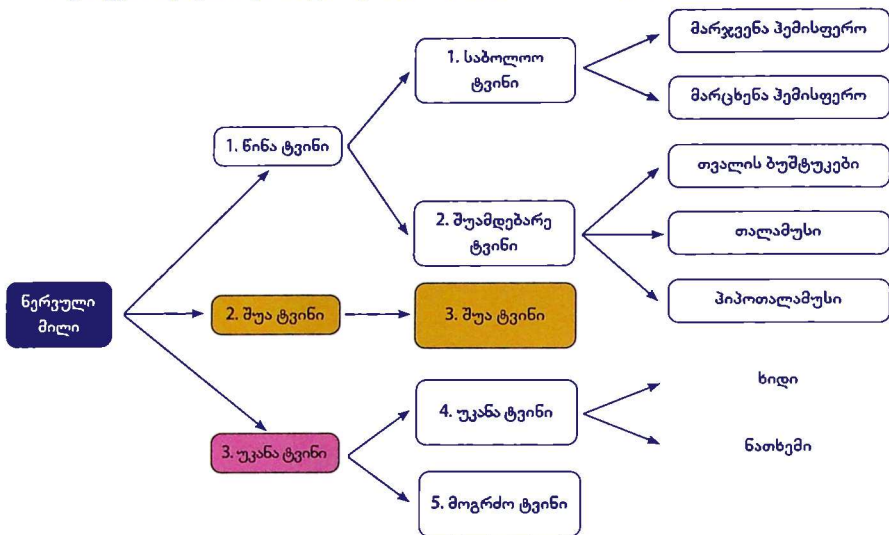
უჯრედები, რომელთაგან ნერვული სისტემა იღებს დასაბამს, ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე იწყებს ინტენსიურ დაყოფასა და დიფერენცირებას. გარკვეულ ეტაპზე მიიღება ნერვული მილი. რომლის წინა ნაწილი დასაბამს აძლევს თვის ტვინის სტრუქტურებს და უკანა ნაწილი – ზურგის ტვინს. პარალელურად ხდება პერიფერიული ნერვების ფორმირების პროცესიც. არადიფერენცირებული ნერვული ლეროვანი უჯრედებიდან ან მათი წინამორბედებიდან (პრეკურსორებიდან) ყალიბდება ნერვული და გლიური უჯრედები, რომლებიც შემდგომ მიგრირებენ საბოლოო დანიშნულების უბნებამდე. ეს პროცესები თავის მხრივ მოიცავს დენდრიტების, აქსონების, სინაპსების და ნერვული გზების ჩამოყალიბებას. იმ შემთხვევაში, თუკი რომელიმე ეტაპზე გენეტიკური მუტაციის, დაავადების ან ნაშლუბისა და რომელიმე ქიმიური ნივთიერების მოქმედებით მოხდება „შეცდომა“, შედეგები შეიძლება იყოს სავალალო. მართლაც, უჯრედის ბიოლოგიის, მოლეკულური და გენეტიკური კვლევის ულტრათანამედროვე მეთოდებით დღეს უკვე კარგადაა შესწავლილი, რომ ნერვული სისტემის ბევრი დეფექტი მისი განვითარების ადრეულ ეტაპზე (ჯერ კიდევ სინაუსური კავშირების ჩამოყალიბებამდე) მომხდარი ტიპური მექანიზმების დარღვევის შედეგია.

თავის ტვინის ჩამოყალიბების პროცესში არჩევენ 3-ბუშტუკოვან და 5-ბუშტუკოვან სტადიებს (სურ. 2.1), რომელსაც საბოლოოდ მოსდევს თავის ტვინის სრული ჩამოყალიბება.



სურ. 2.1 თავის ტვინის განვითარების 3- და 5-ბუშტუკოვანი სტადიები

თავის ტვინის განვითარების სქემა შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ:



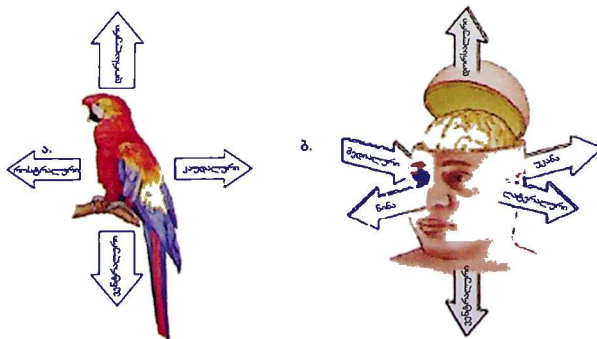
სურ. 2.2 თავის ტვინის განვითარების სქემა

ნაირონატომიური ტერმინები

ნერვული სისტემის ორგანიზაციის შესწავლა იწყება ტვინის ანატომიის შესწავლით.

თავის და ზურგის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურის, შრეების და გზების ანატომიური აღწერა ხდება სამი სხვადასხვა ასპექტის მიხედვით: სხეულის სხვადასხვა ნაწილთან მიმართებაში, სახესთან მიმართებაში და დამკვირვებლის პოზიციასთან მიმართებაში.

სურ. 2.3ა განმარტავს ტერმინებს, რომლებიც აღწერს ტვინის სტრუქტურების მდებარეობას ზოგადად სხეულის სხვადასხვა ნაწილთან მიმართებაში. გამოყენებული ტერმინები ლათინური წარმოშობისაა. rostrum ლათინურად „ნისკარტს“ ნიშნავს, caudum – კუდს, dorsum – ზურგს და ventrum – მუცელს. შესაბამისად, ტვინის როსტრალური, კაუდალური, დორსალური და ვენტრალური ნაწილები სწორედ სხეულის შესაბამისი ნაწილების მიმართულებითაა განლაგებული. ზოგჯერ გამოიყენება ტერმინები superior და inferior, რაც „ზედას“ და „ქვედას“ ნიშნავს.



სურ.2.3 ანატომიური ორიენტაცია. ტერმინები, რომლებიც აღწერენ ტვინს ა. სხეულის ნაწილებთან მიმართებაში. ბ. სახესთან მიმართებაში.

სურ. 2.3ბ. სხნის იმ ტერმინებს, რომლებიც აღწერენ ტვინის სტრუქტურების მდებარეობას სახესთან მიმართებაში. **Anterior** ან **ფრონტალური** – ამ ტერმინებით ტვინის ან მისი რომელიმე სტრუქტურის წინა ნაწილს აღწერენ, **posterior** – „უკანას“ ნიშნავს, **lateral**, **ლატერალური** – „გვერდით“ მდებარეს, **medial**, **მედიალური** – „შუას“, **ცენტრალურს**.

ნერვული სისტემა, ისევე როგორც სხეული, სიმეტრიულია და გააჩნია მარჯვენა და მარცხენა მხარეები. სტრუქტურებს, რომლებიც ტვინის ერთ მხარესაა მოთავსებული, **იფსილატერალური** მდებარეობა უჭირავთ; თუ ისინი სხვადასხვა მხარეს არიან განლაგებული – **კონტრალატერალური**, ხოლო თუ სტრუქტურა ორივე მხარესაა განლაგებული, **ბილატერალურია**.

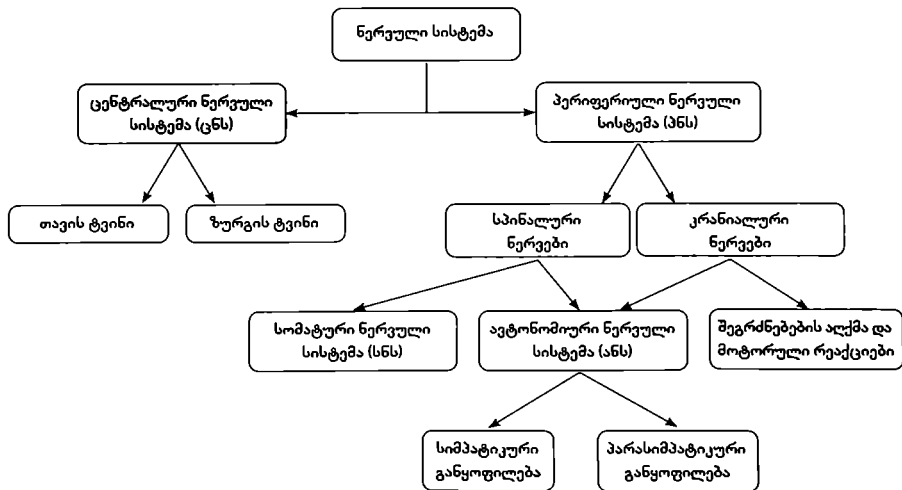
ნერვული სისტემის განყოფილება

ნერვულ სისტემაში არჩევენ ორ განყოფილებას – **ცენტრალურს** (ცნს) და **პერიფერიულს** (პნს) (სურ. 2.4). ცნს-ს მიეკუთვნება თავისა და ზურგის ტვინი, ხოლო პნს-ს – მათგან გამომავალი 12 წყვილი კრანიალური და 31 წყვილი სპინალური ნერვი. სპინალური ნერვები შერეულია. მათი ერთი ნაწილი უკავშირდება ჩონჩხის კუნთებს, სახსრებს და კანს და ქმნის სომატურ ნერვულ სისტემას (სნს), ხოლო მეორე ნაწილი, კრანიალური ნერვების მცირე ჯგუფთან ერთად, უკავშირდება გულს, შინაგანი ორგანოების გლუვ კუნთებს, ჯირკვლებს და სისხლძარღვებს და ქმნის ავტონომიურ ნერვულ სისტემას (ანს).

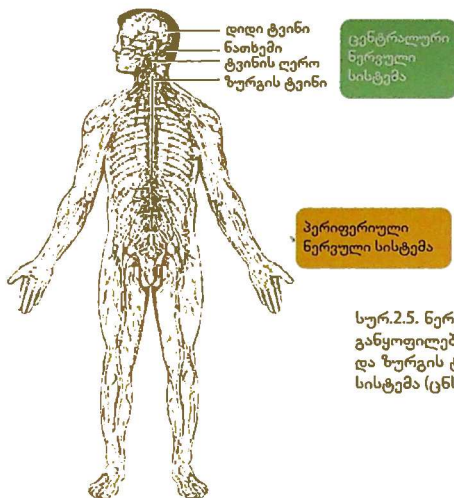
კრანიალური ნერვების მეორე ნაწილი ემსახურება სხვადასხვა გრძნობის აღქმას (მხედველობა, სმენა, გემოვნება, წონასწორობა) და მოტორული რეაქციების წარმოქმნას. მაგ. სახის ნერვის ერთ-ერთი ფუნქციაა სახის კუნთების ამოძრავება და მიმიკების წარმოქმნა.

სპინალური სომატური ნერვები ზურგის ტვინის შესაბამისი უბნის სახელწოდებით მოიხსენიება (სურ. 2.4ა): **ცერვიკალური** ანუ კისრიდან გამომავალი ნერვები (cervix ლათინურად კისერს ნიშნავს), **თორაკალური** ანუ გულმკერდის განყოფილებიდან გამომავალი ნერვები (torax ლათინურად გულმკერდს ნიშნავს), **ლუმბალური** ანუ წელის განყოფილებიდან გამომავალი ნერვები (lumbus ლათინურად წელს ნიშნავს) და **საკრალური** – გავის განყოფილებიდან გამოსული ნერვები (sacrum ლათინურად გავას ნიშნავს).

ავტონომიურ ნერვულ სისტემაში (ანს) არჩევენ ორ განყოფილებას – **სიმპატიკურ** და **პარასიმპატიკურ** სისტემებს. სიმპატიკური სისტემა, ძირითადად, ორგანოების „გააქტივებს“ უწყობს ხელს, ხოლო პარასიმპატიკური – პირიქით, მოსვენებას.

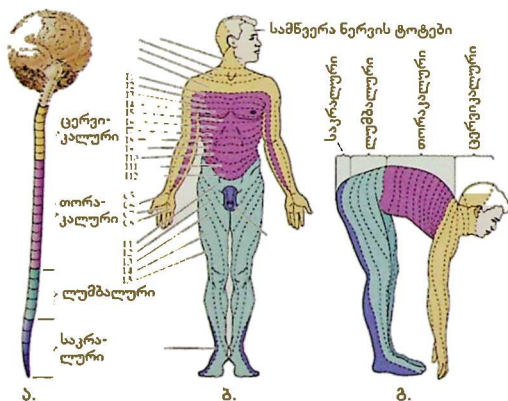


სურ. 2.4 ნერვული სისტემის კლასიფიკაცია. წყვეტილი ისარი მოუთითებს კრანიალური ნერვების მხოლოდ მცირე ჯგუფზე, რომლებიც სპინალურ ნერვებთან ერთად შედის ანს-ის შემადგენლობაში.



სურ.2.5. ნერვული სისტემის ორი ძირითადი ანატომიური განყოფილება – ცენტრალური ნერვული სისტემა (თავის და ზურგის ტვინი, ცისფერი) და პერიფერიული ნერვული სისტემა (ცნს-დან გამოშვებული ნერვები, ყვითელი)

კანის კონკრეტულ უბანს ცნს-ს კონკრეტული უბნის ნეირონებიდან წამოსული სომატური ნერვები აინერვირებენ. კანის ამ უბნებს დერმატომები ეწოდება (სურ. 2.6 ბ, გ).



სურ 2.6 ა. ზურგის ტვინის განყოფილებები: ცერვიკალური (კისრის, ყვითელი), თორაკალური (გულმკერდის, იასამნისფერი), ლუმბალური (წელის, ცისფერი), საკრალური (გავის, ლურჯი). ბ-გ. დერმატომები აღნიშნულია შესაბამისი ფერით

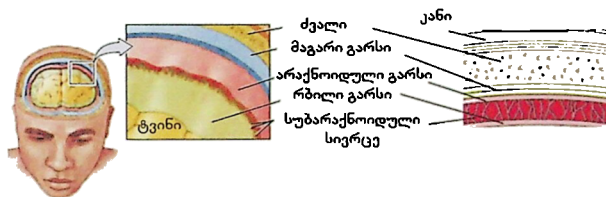
თავისა და ზურგის ტვინი დაზიანებისა და ინფექციებისაგან კარგადაა დაცული:

1. თავის ტვინი მოთავსებულია თავის ქალაში, ხოლო ზურგის ტვინი – ხერხემლის არხში (ლათინურად vertebrae) ანუ ცნს მთლიანადაა დაცული ძელოვანი ქსოვილით. ცნს-დან გამოშვებული სნს და ანს თავისუფალია ძელოვანი ქსოვილისგან და ამიტომაც ნაკლებადაა დაცული დაზიანებისაგან, თუმცა, მცირე დაზიანებების შემთხვევაში მათ გააჩნიათ რეგენერაციის უნარი, რაც გაცილებით შეზღუდულია ცნს-ში;
2. ძელოს ქვეშ ცნს-ს დამატებითი სამი გარსი იცავს (სურ. 2.7). მათ მენინგებს უწოდებენ (meninx, meninges – ლათინურად „ტვინის გარსს“ ნიშნავს). გარეთა გარსი 2-პრიანი, მკერვივი და მაგარია და ამიტომაც მაგარი გარსის ანუ dura mater-ის სახელწოდებითაა ცნობილი. შუა გარსი ობობას ქსელს ჰგავს და ქსელისებრი ანუ არაქნოიდული გარსის (arachnoid mater) სახელწოდებითაა ცნობილი (ბერძნულად „arachnoid“ „ობობას ნიშნავს). ის თხელი და ნაზია და მიჰყვება ტვინის კონ-

ტურებს. შიდა გარსი ზომიერად მკერვივა და პირდაპირ ეკვრის ცნს-ს და რბილი გარსის ანუ pia mater-ის სახელითაა ცნობილი. არაქნოიდულ გარსსა და რბილ გარსს შორის სივრცეა, რომელსაც სუბარაქნოიდულ სივრცეს უწოდებენ;

3. თავის ტვინის პარაკუჭებსა და ზურგის ტვინის ცენტრალურ არხში ცირკულირებს ცერებროსპინალური („cerebrum“ ლათინურად „თავს“ ნიშნავს) ანუ თავ-ზურგ-ტვინის სითხე. ეს სითხე ავსებს, ასევე, სუბარაქნოიდულ სივრცესაც. ის ბუფერის როლს ასრულებს და იცავს ტვინს ფიზიკური ზემოქმედებისგან.

პემატონცეფალური ბარიერი (სიტყვასიტყვით სისხლ-ტვინის ბარიერი; ბერძნ.: „haima“ – „სისხლი“, „encephalon“ – „თავის ტვინი“) ეს არის ნახევრადგამტარი „საზღვარი“ სისხლძარღვთა სისტემასა და ცნს-ს შორის, რომელიც იქმნება სისხლძარღვებზე და მის ფუნქციას წარმოადგენს ტვინის პომეოსტაზის (შინაგანი გარემოს) შენარჩუნება და ნერვული ქსოვილის დაცვა სისხლში მოცირკულირე ტოქსინებისგან, მიკროორგანიზმებისგან და იმუნური სისტემის სხვადასხვა ფაქტორებისგან. გლიური უჯრედები ასტროციტები (დეტალურად განხილული იქნება შემდეგ თავებში) მჭიდროდ კრავს ერთმანეთთან კაპილარებს, რაც ხელს უშლის კაპილარიდან გამოსულ ქიმიურ ნივთიერებებს, მოხვედეს ტვინში.



სურ.2.7 თავის ტვინის გარსები. ანალოგიურადაა შემოგარსული ზურგის ტვინიც.

ტვინი ცოცხალ სამყაროში ყველაზე დახვეწილ და კომპლექსურ ორგანოს წარმოადგენს. ძუძუმწოვრების და ადამიანის ორგანიზმის სწორი ფუნქციონირება, ქცევა, ემოცია და ა.შ. სწორედ მისი საშუალებით ხორციელდება.

როგორ ფუნქციონირებს ეს უნიკალური ორგანო? როგორაა ის „აწყობილი“? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემა უნდა დაიწყოს ნერვული უჯრედების შესწავლით.

უჯრედების ტიპები ნერვულ სისტემაში

ტვინში და, ზოგადად, ნერვულ სისტემაში ორი ტიპის უჯრედებს ვხვდებით. ესენია ნეირონები – ნერვული უჯრედები და გლია – გლიური უჯრედები. ორივე მათგანი ლეროვანი უჯრედებისგან წარმოიქმნება და წარმოადგენენ უჯრედთა ფართო კატეგორიას, რომელიც თავისთავად მოიცავს სტრუქტურის, ქიმიური შემადგენლობისა და ფუნქციის მიხედვით განსხვავებულ უჯრედებს.

აღსანიშნავია, რომ ნეირონები და გლია არსებითად განსხვავდება ერთმანეთისგან. მიუხედავად იმისა, რომ მათი რაოდენობრივი თანაფარდობა თითქმის ერთნაირია (თითოეული ტვინი დაახლოებით 86 მილიარდია), ტვინის უმეტეს უნიკალურ ფუნქციას პასუხისმგებელია ნეირონები და არა გლია.

ნეირონებს შეიგრძნობენ გარემოს ცვლილებებს, გადასცემენ ამის შესახებ ინფორმაციას სხვა ნეირონებს და სხეულს აძლევენ შესაბამისი მოქმედების ბრძანებას.

მათგან განსხვავებით გლიური უჯრედები არ მონაწილეობენ აგზნების წარმოშობასა და გადაცემაში. ისინი ავსებენ ნეირონთა შორის სივრცეს და ნეირონების საყრდენს წარმოადგენენ. გარდა ამისა, წარმოქმნიან მიეღინის გარსს. გლიური უჯრედების გარეშე ტვინი ნორმალურ ფუნქციონირებას ვერ შეძლებდა.

ტერმინი „გლია“ ბერძნული წარმოშობისაა და „ნების“ ნიშნავს. ადრე თვლიდნენ, რომ გლია „ანებებს“ ნეირონებს ერთმანეთთან, თუმცა ამის დამადასტურებელი ფაქტები არ გამოვლინდა და ეს ტერმინი უბრალოდ ტერმინად დარჩა.

ცნს-ში არჩევენ ოთხი ტიპის გლიურ უჯრედს: ასტროციტებს, ოლიგოდენდროციტებს, ეპენდიმურ უჯრედებს და მიკროგლიას, პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში კი – შვანის უჯრედებს და სატელიტურ უჯრედებს. აქედან ყველაზე მრავალრიცხოვანი ასტროციტებია, რომელთა უმთავრეს ფუნქციას წარმოადგენს ნეირონთა საყრდენის შექმნა და მათ შორის სივრცის ამოვსება, ჰემატო-ენციფალური ბარიერის წარმოქმნა და, ასევე, ექსტრაცელულარული ანუ უჯრედგარე სივრცის ქიმიური შემადგენლობის რეგულირება. თანამედროვე კვლევებმა აჩვენეს, რომ ასტროციტების მიერ გამოთქმავდება ნივთიერებები, რომლებიც ახალი სინაპსების (ნერვული კავშირების) წარმოქმნას უწყობენ ხელს.

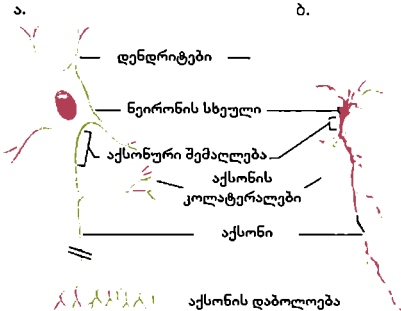
ოლიგოდენდროციტები ცნს-ში წარმოქმნიან მიეღინის გარსს. პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში იგივე ფუნქციას შვანის უჯრედები ასრულებენ.

ეპენდიმური უჯრედებით ამოფენილია თავის ტვინის პარაკუჭები და ზურგის ტვინი. ეს უჯრედები ხელს უწყობენ თავზურგტვინის სითხის მოძრაობას და ქმნიან სისხლ-თავზურგტვინის სითხის ბარიერს, რომელიც ხელს უშლის სისხლისა და თავზურგტვინის სითხის ერთმანეთთან შერევას.

მიკროგლია მშთანთქმელი ტიპის უჯრედებია, რომლებიც უჯრედულ „ნაგავს“ შთანთქავენ. ტვინის დაზიანების შემთხვევაში, დაზიანების ადგილზე მიკროგლიის რაოდენობა საგრძნობლად იზრდება, რასაც დამცველობითი მნიშვნელობა გააჩნია – ანთებისსაწინააღმდეგო პასუხების გენერირებაში დაეხმობენ მონაწილეობას.

რაც შეეხება სატელიტურ გლიურ უჯრედებს, ისინი პერიფერიულ განგლიებში ნეირონთა სხეულებს შემოგარსავენ. მიმდინარე კვლევების თანახმად, სატელიტური გლიური უჯრედები ქრონიკული ტკივილის პროცესში უნდა იღებდნენ მონაწილეობას, ეინაიდან ტკივილის დროს ისინი იცვლიან სტრუქტურას და ვეღარ შემოგარსავენ სრულფასოვნად სენსორული ნეირონის სხეულებს, რომლებიც, შედეგად, უფრო მგრძნობიარენი ხდებიან. სწორედ ამას მიიჩნევენ ტკივილის გაზანგრძლივების ერთ-ერთ მიზეზად.

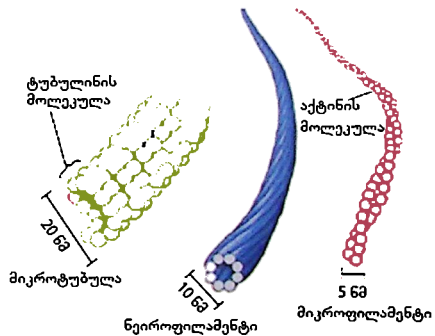
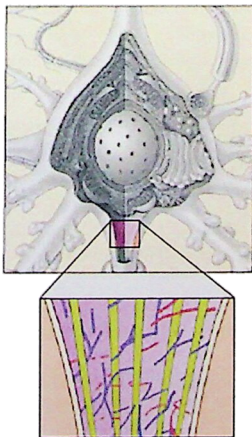
ნერვული უჯრედი შედგება ცენტრალური, შემსხვილებული ნაწილისგან, რომელშიც უჯრედის ბირთვია მოთავსებული და მრავალრიცხოვანი წვრილი მორჩისაგან, რომლებიც გამოდიან ამ შემსხვილებული ცენტრალური უბნიდან (სურ.3.7ა,ბ). ცენტრალური ნაწილი უჯრედის სხეულს წარმოადგენს და მას სომას ანუ პერიკარიონს უწოდებენ, ხოლო მისგან გამომავალ მორჩებს – ნეირიტებს. ამასთან, მორჩები ორგვარია: მოკლე და გრძელი. მოკლე მორჩებს დენდრიტებს უწოდებენ, ხოლო გრძელ მორჩს, რომელიც კენტი წარმონაქმნია – აქსონს. ანუ, ფაქტობრივად, ნეირონი არჩევენ სამ ნაწილს – სომას, დენდრიტებსა და აქსონს.



სურ. 3.1 ა. ნეირონის დიაგრამული გამოსახულება; ბ. იგივე ტიპის ნეირონის გამოსახულება მიკროსკოპული სურათის მიხედვით (არსებულ გადიდებაზე არ ჩანს დენდრიტების და აქსონის დაბოლოებები).

ტიპური ნეირონის პერიკარიონის დიამეტრი დაახლოებით 20 მკმ-ს უდრის. ის ამოვსებულია კალიუმით მდიდარი სითხით, რომელსაც ციტოზოლს უწოდებენ. ციტოზოლში მოთავსებულია ყველა ის მემბრანით შემოსაზღვრული ორგანო, რომელსაც შეიცავს ნებისმიერი ცოცხალი უჯრედი: ბირთვი, მარცვლოვანი და გლუვი ენდოპლაზმური ბადე, გოლჯის აპარატი, მიტოქონდრიონები. მემბრანის შიგნით მოთავსებული ციტოზოლი და ორგანოები, ბირთვის გამოკლებით, ქმნიან ციტოპლაზმას.

ნეირონს გარკვეული ფორმა აქვს, თითქმის იგი შიგნით წონჩხს შეიცავს. მისი ფორმის განმარტობებელ საყრდენს ციტოჩონჩხს უწოდებენ, რომლის „ძვლებსაც“ მიკროტუბულები, მიკროფილამენტები და ნეიროფილამენტები წარმოადგენენ (სურ. 3.2).



სურ. 3.2. ციტოჩონჩხი. ტუბულინის მოლეკულა, მიკროტუბულა (მწვანე), აქტინის მოლეკულა, მიკროფილამენტი (ვარდისფერი), ნეიროფილამენტი (ლურჯი).

ორგანოები და ციტოჩონჩხი, ასევე, მემბრანა, არა მარტო ნეირონისთვის, არამედ ჩვენი სხეულის ნებისმიერი ქსოვილის უჯრედისთვისაც დამახასიათებელია. ნეირონის უნიკალურ ნაწილს კი წარმოადგენს ნეირიტები – აქსონი და დენდრიტები (სურ. 3.1)

როგორც წესი, უჯრედის სხეულიდან ერთი აქსონი იღებს სათავეს. ის დენდრიტებზე გაცილებით გრძელი და მთელ სიგრძეზე ერთნაირი დიამეტრისაა. ვინაიდან აქსონები შესაძლებელია ძალიან გრძელიც იყოს (1 მეტრი ან უფრო მეტი), გაჩნდა მოსაზრება, რომ ის მოქმედებს როგორც გამტარი, რომელიც ატარებს ინფორმაციას ნეირონის სხეულიდან მოშორებული უბნებისკენ, რაც შემდეგ დადასტურდა კიდევ.

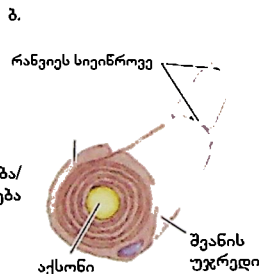
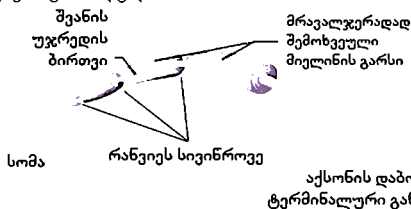
სომიდან გამოსვლის ადგილზე აქსონური შემაღლებაა, შემდეგ მოდის შუა ნაწილი, ბოლოს კი – ტერმინალური განშტოება (სურ. 3.1).

აქსონს სომასგან ორი მნიშვნელოვანი თვისება განასხვავებს: პირველი, აქსონი მოკლებულია მარცვლოვან ენდოპლაზმურ ბადეს – მასში ძალიან ცოტაა ან თითქმის არაა თავისუფალი რიბოსომები; მეორე, აქსონის მემბრანაში მოთავსებული ცილები ფუნდამენტურად განსხვავებულია სომის უბნის მემბრანაში მოთავსებულ ცილებისაგან. ეს ორი თვისება განაპირობებს სომასა და აქსონის განსხვავებულ ფუნქციებს.

გამოდის რა სომიდან, აქსონი გზადაგზა, მთელ სიგრძეზე განშტოებებს იძლევა. მათ კოლატერალები ეწოდებათ. ისინი ნერვული სისტემის მოშორებულ უბნებსაც კი აღწევენ. ზოგიერთი კოლატერალი უკანვე ბრუნდება და იმავე ნეირონის სომას ან დენდრიტს უკავშირდება. ასეთ კოლატერალებს უკუქცევითი კოლატერალები ეწოდებათ.

აქსონის დიამეტრი 1მკმ-დან 25მკმ-მდე მერყეობს, კალმარში კი 1 მმ-საც კი აღწევს. მსხვილი აქსონები მიელინის გარსითაა დაფარული, წვრილი აქსონები კი მოკლებულია მას.

მიელინის გარსი სპირალური სტრუქტურაა, რომელიც აქსონის თითქმის მთელ სიგრძეზე გლიური უჯრედების (შვანის ან ოლიგოდენდროციტების) მრავალჯერადი (20-200-ჯერ) შე-
მოხვევის შედეგად ყალიბდება (სურ. 3.3). 3.3ბ-ზე კარგად ჩანს მიელინის გარსის დახვეული სტრუქტურა, რომელსაც გლიური უჯრედი ქმნის (სურ. 3.3ბ). მიიღება ისეთი სურათი, თითქოს მიელინის გარსი მძივივითაა „აჯმული“ აქსონზე. როგორც მძივზე აჯმულ ქვებს შორის არის სივრცე, ასევე მიელინის გარსებს შორისაც და ამ სივრცეს რანვიეს სივინროვეს უწოდებენ. მიელინის გარსი ელექტრულად გაუმტარია და სწორედ რანვიეს სივინროვეების საშუალებით ის აქსონის გასწვრივ იმპულსის გადაცემის სიჩქარეს ზრდის (საკითხი დანვრილებით მომდევნო თავში იქნება განხილული).



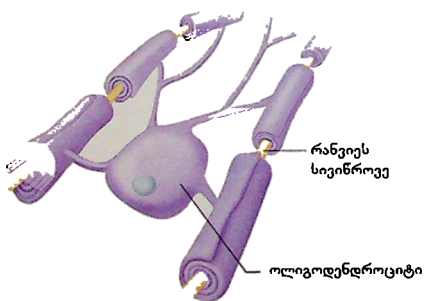
სურ. 3.3.

ა. მიელინის გარსით დაფარული პერიფერიული ნეირონი;

ბ. აქსონზე შვანის უჯრედის მრავალჯერადი შემოხვევის შედეგად მიღებული მიელინის გარსი;

გ. ოლიგოდენდროციტის მიერ წარმოქმნილი მიელინის გარსი ცნს-ის სხვადასხვა ნეირონზე.

ბ.



ტერმინს „დენდრიტი“ ბერძნული წარმოშობა აქვს და „ხეს“ ნიშნავს. მართლაც, ის სომა-დან გამოშვალ ტოტს წარმოადგენს, მათი ერთობლიობა კი ქმნის დენდრიტულ ხეს. აქსონებისგან განსხვავებით დენდრიტები ძალიან იშვიათადაა სიგრძეში 2 მმ-ზე მეტი. ისინი გამოდიან სომა-დან

და თანდათანობით ვინროვდებიან. დენდრიტები ბევრ აქსონს ეხებიან და, ჰისტოლოგიის აზრით, მათ ე.წ. ანტენის ფუნქცია აქვთ, ანუ ისინი იღებენ ინფორმაციას და ნეირონის თავისებურ შესავალს – კარიბჭეს წარმოადგენენ, ხოლო აქსონი მიღებულ ინფორმაციას სხვა ნეირონს გადასცემს, ანუ ის კონკრეტული ნეირონის თავისებურ გამოსავალს წარმოადგენს.

ნეირონთა კლასიფიკაცია

ნეირონთა კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს მათი სტრუქტურისა (მორჩების რაოდენობის, აქსონის სიგრძის და მიეღინიზაციის) და ფუნქციის მიხედვით, ასევე მიეღინიზაციის ხარისხის მიხედვით.

სომადან გამომავალი მორჩების რაოდენობის მიხედვით არჩევენ **ფსევდოუნიპოლარულ, ბიპოლარულ და მულტიპოლარულ** ნეირონებს (სურ.3.4). ნეირონთა უმრავლესობა მულტიპოლარულია.

ა. ფსევდოუნიპოლარული

ბ. ბიპოლარული

გ. მულტიპოლარული



სურ. 3.4. ნეირონთა კლასიფიკაცია ნეიროიტების რაოდენობის მიხედვით. ა. ფსევდოუნიპოლარული; ბ. ბიპოლარული; გ. მულტიპოლარული.

განივკვების დიამეტრის მიხედვით არჩევენ **ნერილ და მსხვილ ბოჭკოებს**. დიდი დიამეტრის ნეირონები ნერვულ იმპულსს უფრო სწრაფად ატარებენ, ვიდრე ნერილი.

მიეღინიზაციის მიხედვით არჩევენ **მიეღინიან და უმიეღინო** ნეირონებს; მიეღინის გარსის არსებობა ზრდის აგზნების გატარების სისწრაფეს. მიეღინიზაციის ხარისხის მიხედვით ბოჭკოები განსხვავდება ერთმანეთისგან: ზოგს თხელი მიეღინის გარსი აქვს, ზოგს კი – სქელი. აქსონის ბოლო – ტერმინალური განშტოება თავისუფალია მიეღინის გარსისგან.

მიეღინიზაციის ხარისხის მიხედვით ნერვულ ბოჭკოებს ყოფენ A, B და C ჯგუფებად. თითოეულ ჯგუფში რამდენიმე ქვეჯგუფი ერთიანდება. მათგან ყველაზე მსხვილია A ჯგუფის ბოჭკოები (ცხრილი 3.1).

ნერვული ბოჭკო	განივკვების დიამეტრი	მიეღინის გარსის სისქე	ფუნქცია
A α	10-20 მკმ	ყველაზე მსხვილი	მამოძრავებელი ეფერენტები, აგრეთვე აფერენტები კუნთის რეცეპტორებიდან
A β	7-15 მკმ	შედარებით ნერილი	აფერენტები კანის შეხების რეცეპტორებიდან
A γ	4-8 მკმ	"	ეფერენტები კუნთის ინტრაფაზალური ბოჭკოებისკენ
A δ	2.5- 5 მკმ	"	აფერენტები კანის, სითბოს, სიცივის და ტკივილის რეცეპტორებიდან
B	1-3 მკმ	თხელი	პრეგანგლიური ავტონომიური ბოჭკოები
C	0.5 – 1.3 მკმ	უმიეღინო	სიმპატიკური სისტემის პოსტგანგლიური ბოჭკოები

ცხრილი 3.1 სხვადასხვა ტიპის ნერვული ბოჭკოს მახასიათებლები

სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებისას ნეირონები შემდეგი თანმიმდევრობით ითიშება:

მექანიკური დაწოლისას - A, B, C, ყანგბადის ნაკლებობისას - B, A, C, ხოლო ნარკოტიკების ზემოქმედებისას - C, B, A.

ფორმის მიხედვით არჩევენ ვარსკვლავისებურ და პირამიდულ ნეირონებს, ასევე, პურკინეს უჯრედებს. ისინი თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურისთვისაა დამახასიათებელი, ფუნქციურად კი სამივე მათგანი ინტერნეირონებს მიეკუთვნება (სურ. 3.5).

აქსონის სიგრძის მიხედვით ცნობილია გოლჯის I და II ტიპის ნეირონები. ზოგ ნეირონს გააჩნია გრძელი აქსონი და ტვინის მოშორებულ უბნებს უკავშირდება. ეს გოლჯის I ტიპის ნეირონებია. ასეთია, მაგ. ქერქის პირამიდული ნეირონები. სხვა ნეირონებს კი მოკლე აქსონები აქვთ და იშვიათად შორდებათ მიმდებარე უბანს. მათ გოლჯის II ტიპის ნეირონებს უწოდებენ. ასეთია ქერქის ვასკულარისებური ნეირონები.

ფუნქციის მიხედვით არჩევენ სენსორულ ანუ მგრძნობიარე ნეირონებს, ინტერნეირონებს ანუ შუამდებარე ნეირონებს და მოტონეირონებს ანუ მოძრავებელ ნეირონებს.

ყველაზე მარტივი სენსორული ნეირონი ფორმით ბიპოლარულია.

ინტერნეირონები ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში ერთმანეთთან აკავშირებენ სენსორულ და მოტონეირონებს. ყველა მათგანს გააჩნია კარგად დატოტვილი დენდრიტული ხე;

მოტონეირონები თავის ტვინის ქვედა განყოფილებებსა და ზურგის ტვინში იღებენ სათავეს და უკავშირდებიან სახის და ჩონჩხის კუნთებს, ასევე, ჯირკვლებს და სხვადასხვა ორგანოებს. სწორედ ამ ნეირონების საშუალებით ხდება მათი ამოქმედება.

სენსორული ნეირონები და მოტონეირონები სხვაგვარად მოიხსენიება, როგორც ცნს-ის აფერენტები და ეფერენტები. აფერენტს ისეთ ნეირონს უწოდებენ, რომელიც ინფორმაციას ატარებს პერიფერიიდან ცენტრისკენ, ანუ იგივე სენსორული ნეირონი. ეფერენტი კი ისეთი ნეირონია, რომელსაც ინფორმაცია გადააქვს ცნს-დან პერიფერიისკენ, ანუ მოტონეირონი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ნერვული სისტემის ცალკეულ სტრუქტურებსაც გააჩნიათ აფერენტები და ეფერენტები (საკითხი დანვრილებით მომდევნო თავებში იქნება განხილული).

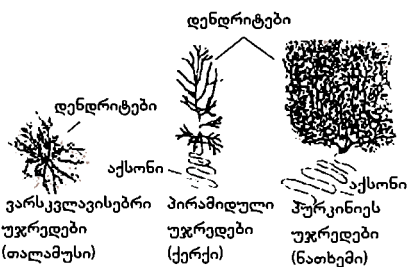
ნეირონთა კლასიფიკაციამ სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით ერთი და იგივე ნეირონი შეიძლება სხვადასხვა ჯგუფში მოახვედროს.

ნერვულ ბოჭკოს ორი მნიშვნელოვანი თვისება გააჩნია - აგზნებადობა და გამტარებლობა. აგზნებადობა ენდება გაღიზიანების საპასუხოდ წარმოშობილ აგზნების უნარს, ხოლო გამტარებლობა - ნერვულ ბოჭკოში აგზნების გატარების უნარს. ამ უნარების წყალობით ნეირონი გაღიზიანებას აგზნების წარმოშობით პასუხობს, რომელიც მაშინვე ვრცელდება ბოჭკოს მთელ სიგრძეზე. გავრცელებადი აგზნების ტალღას ნერვული იმპულსი ეწოდება.

ნერვული ბოჭკოების აგზნებადობა და გამტარებლობა დამოკიდებულია მიეილინიზაციის ხარისხზე, განივკვეთის დიამეტრსა და ფუნქციურ მდგომარეობაზე.

ნერვულ ბოჭკოთა ერთობლიობა პერიფერიაზე ქმნის ნერვს. მასში ერთიანდება როგორც წერილი, ისე საშუალო და დიდი დიამეტრის, როგორც მიეილინიანი, ისე უმიეილინო აქსონები. ნერვები გამოდის ცნს-დან და ქმნის პნს-ს. უშუალოდ ცნს-ში ნერვები არაა. ცნს-ში აქსონთა ჯგუფი მოიხსენიება, როგორც „გზა“, „ტრაქტი“ ან „კომისურა“ ეს უკანასკნელი იმ შემთხვევაში ეწოდება, როცა ნერვული ბოჭკო დიდი ტვინის ერთი ნახევარსფეროდან მეორეში გადადის.

ხშირად მსგავსი ფუნქციის ნეირონთა სხეულები ერთად იყრის თავს. პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში ნეირონის სხეულთა ასეთ ერთობლიობას განგლიას უწოდებენ, ხოლო ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში - ბირთვს.



სურ. 3.5 მულტიპოლარულ ნეირონთა ტიპები კარგად განვითარებული დენდრიტული ხის ფორმის მიხედვით: ა. თალამუსის ვარსკვლავისებური უჯრედები. ბ. ქერქის პირამიდული ნეირონები. გ. ნათხემის პურკინეს უჯრედები.

თავი 4. ნეირონული მემბრანა

აგზნებისას ნერვულ ბოჭკოში წარმოიშობა ელექტრული იმპულსი, რომელსაც მოქმედების ანუ აგზნების დენს უწოდებენ. სხვაგვარად ის მოქმედების პოტენციალის სახელითაა ცნობილი და გამოხატავს აგზნების განვითარებას დროში. აგზნების დენს აქსონი მთელ სიგრძეზე ატარებს და სინაპსის საშუალებით გადასცემს მეორე ნეირონს.

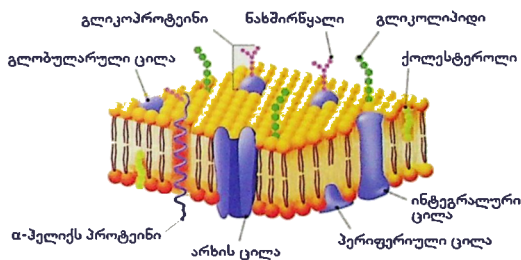
რა მექანიზმით ხდება ნეირონში აგზნების გატარება?

ნეირონული მემბრანა

აგზნების გატარების სუბსტრატს ნერვულ ბოჭკოში ნეირონის ზედაპირული მემბრანა წარმოადგენს.

ნეირონული მემბრანა (სურ. 4.1) დაახლოებით 5 ნმ სისქისაა. ის ნერვული ბოჭკოს შიგთავსს გამოყოფს გარემომცველი სითხისგან ანუ უჯრედშიდა და უჯრედგარე გარემოს გამოყოფს ერთმანეთისგან.

ნერვული ბოჭკოს მემბრანა შედგება ორმაგი ლიპიდური შრისგან, რომელზეც მოთავსებულია სხვადასხვა სახის ცილები. მათი ნაწილი ქმნის განსხვავებული „ხასიათის“ მემბრანულ არხებს. ზოგი მათგანი მუდმივად ღიაა, ზოგი პოტენციალდამოკიდებულია და იხსნება და იხურება მემბრანული პოტენციალის ცვლილების შედეგად (მაგ. Na^+ -ის და Ca^{2+} -ის). გარდა ამისა, აქვეა ლიგანდდამოკიდებული არხებიც, რომლებიც იხსნიან რომელიმე ლიგანდის – ქიმიური ნივთიერების შეკავშირების შედეგად.

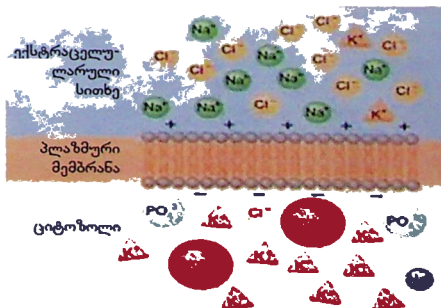


სურ. 4.1 ზედაპირული მემბრანა

მოსვენების პოტენციალი

მოსვენების პროცესში ზედაპირული მემბრანა ელექტრული თვალსაზრისით პოლარიზებულია – მისი შიდა მხარე დამუხტულია უარყოფითად, ხოლო გარეთა – დადებითად (სურ. 4.2). ამ დროს პოტენციალთა სხვაობა უჯრედის გარე და შიდა ზედაპირებს შორის დაახლოებით -70 მვ-ს შეადგენს და არ იცვლება ნეირონის მიერ იმპულსის მიღებამდე. ამ სიდიდეს მოსვენების პოტენციალს უწოდებენ. ნიშანი „-“ შიდა ზედაპირის უარყოფითი მუხტის ნიშანია.

მემბრანის პოლარიზაციის მიზეზს მოსვენებისას წარმოადგენს უჯრედის შიგნით და გარეთ იონთა ასიმეტრიული განაწილება (სურ. 4.2). მოსვენების მდგომარეობაში Na^+ -ის კონცენტრაცია დაახლოებით 10-ჯერ, ხოლო Cl^- -ის 15-ჯერ მეტია უჯრედის გარეთ, ვიდრე შიგნით. ხოლო K^+ -ის იონების კონცენტრაცია დაახლოებით 35-40-ჯერ მეტია უჯრედის შიგნით, ვიდრე გარეთ. უჯრედის შიგნით უარყოფითი რადიკალების რაოდენობა



სურ. 4.2 იონთა ასიმეტრიული განაწილება მემბრანის ორივე მხარეს – ექსტრაცელულარულ სითხეში და ციტოზოლში

დადებითი იონების რაოდენობაზე გაცილებით მეტია, რაც ქმნის უარყოფით მუხტს უჯრედის შიდა ზედაპირზე.

ქიმიური ანუ კონცენტრაციული გრადიენტის გამო Na^+ -ის და K^+ -ის იონები, ასევე, უარყოფითი რადიკალები უნდა მიემართებოდნენ მაღალი კონცენტრაციიდან დაბლისკენ და საბოლოო ჯამში კონცენტრაცია უნდა თანაბრდებოდა, თუმცა ეს ასე არ ხდება.

პირველ მიზეზად შეიძლება დასახელდეს მემბრანის შერჩევითი განვლადობა სხვადასხვა იონის მიმართ. ჩვეულებრივ პირობებში მემბრანა კარგად ატარებს K^+ -ის იონებს, მაგრამ ცუდი გამტარია Na^+ -ის მიმართ. ამიტომ, მოსვენების მდგომარეობაში ისინი თავისუფლად ვერ გადიან მემბრანაში არსებულ Na^+ -ის არხებს და უჯრედის გარეთ რჩებიან. უფრო მეტიც, მემბრანა საერთოდ გაუმტარია უჯრედის შიგნით არსებული უარყოფითი რადიკალების მიმართ. ერთადერთი, მხოლოდ K^+ -ის იონები იწყებენ უჯრედის შიგნიდან გარეთ თავისუფლად გასვლას ქიმიური ანუ კონცენტრაციული გრადიენტის გამო. ანუ უჯრედის გარეთ არსებულ Na^+ -ის დადებით მუხტს დაემატება K^+ -ის დადებითი მუხტი, უჯრედის შიგნით კი რჩება უარყოფითი მუხტის სიჭარბე – მემბრანა შიგნიდან იქნება უარყოფითად დამუხტული, ხოლო გარედან – დადებითად. თუ გავითვალისწინებთ, რომ K^+ -ის იონები ქიმიური გრადიენტის გამო გამოდიან უჯრედის გარეთ, მაშინ რაღაც ეტაპზე, კალიუმი იმდენი უნდა გავიდეს უჯრედის გარეთ, სანამ მისი კონცენტრაცია მემბრანის ორივე მხარეს არ გათანაბრდება. მეორე მხრივ, უჯრედის გარეთ გასული K^+ ზრდის იქ არსებულ დადებით მუხტს, რის გამოც ახლა ელექტრული გრადიენტი როგორც Na^+ -ისთვის, ისე K^+ -ისთვის იქნება მიმართული უჯრედის გარედან შიგნით. მოუხედავად ამ სურათისა, უჯრედის გარეთ რჩება იმდენი Na^+ და K^+ -ის იონი, რომ შენარჩუნდეს დადებითი მუხტის მემბრანის გარეთ და უარყოფითი მუხტი – მემბრანის შიგნით. საქმე ისაა, რომ აქ მუშაობს იწყებს მემბრანაში არსებული სპეციალური ცილები, რომლებიც ქმნიან ენერგიაზე მომუშავე Na^+/K^+ -ის ტუმბოს. ამ ტუმბოს მუშაობა იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ მთელი ტვინის მიერ მოხმარებული ენერგიის 20-40% მის მიერ მოხმარებულ ენერგიაზე მოდის. Na^+/K^+ -ის ტუმბოს იონები გადააქვს მათი კონცენტრაციული გრადიენტის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ანუ იმ მიმართულებით, სადაც პასიური მექანიზმით ისინი ვერ გადავიდოდნენ. ადგილი აქვს იონთა აქტიურ ტრანსპორტირებას – K^+ -ის იონები ნაწილი გადაიტანება უჯრედის შიგნით და Na^+ -ის იონები გამოიტანება უჯრედის გარეთ 3:2-თან თანაფარდობით. სწორედ ზემოხსენებული ფაქტორები განაპირობებენ მოსვენებულ მდგომარეობაში უჯრედის გარეთ დადებითი და უჯრედის შიგნით უარყოფითი მუხტის შენარჩუნებას.

მოქმედების პოტენციალი

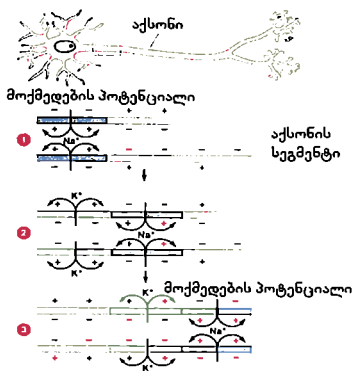
რა ხდება აგზების შემთხვევაში მემბრანაზე ნეირონის შიგნით და გარეთ, აქსონის გასწვრივ? მოსვენების პოტენციალი, ჩვეულებრივ, ქმნის იმ ელექტროქიმიურ გარემოს, რომელშიც ნეირონის შეუძლია წარმოქმნას მოქმედების პოტენციალი.

რა არის ეს და როგორ ხდება მისი წარმოქმნა?

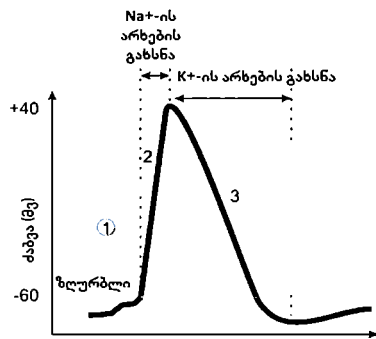
ნერვული იმპულსის მოქმედებისას მემბრანული არხების განვლადობა Na^+ -ის იონების მიმართ ჯერ ნელა და შემდეგ ძალიან სწრაფად იზრდება, ვინაიდან ამ დროს Na^+ -ის იონებისთვის ორივე გრადიენტი – ქიმიურიც და ელექტრულიც (ანუ ელექტროქიმიური) მიმართულია უჯრედის გარე არედან შიგნით, ადგილი აქვს მემბრანის დეპოლარიზაციას. რას ნიშნავს ეს? Na^+ -ის უჯრედში ჭარბად შესვლის გამო, უჯრედის შიგნით შეიქმნება დადებითი მუხტის სიჭარბე და გარეთ – უარყოფითის, მოხდება ნიშნის ცვლილება ანუ რევერსია (სურ. 4.3,1). ამის გამო აგზებულ უბანში ახლა მემბრანის გარეთ შეიქმნება უარყოფითი მუხტი, ხოლო შიგნით – დადებითი.

ამ სიტუაციაში დგება ის მდგომარეობა, როცა K^+ -ის იონზე კონცენტრაციული გრადიენტის გარდა მოქმედებას იწყებს ელექტრული გრადიენტიც, რომელიც ასევე უჯრედის შიგნიდან გარეთაა მიმართული. ორივე გრადიენტის მოქმედებით მემბრანა შემდეგ მალევე იწყებს K^+ -ის იონების გატარებას უჯრედის შიგნიდან გარეთ და აღდგება მემბრანის დადებითი მუხტი (სურ. 4.3,2-3).

მოქმედების პოტენციალი გრაფიკულად პიკოვანი პოტენციალით გამოისახება. ის იწყება მცირე გადახრით (სურ. 4.4,1), რაც ნატრიუმის მიმართ მემბრანის განვლადობის გაზრდას – პასიურ დეპოლარიზაციას შეესაბამება. შემდეგ მას მოსდევს აქტიური დეპოლარიზაცია, რაც უჯრედში Na^+ -

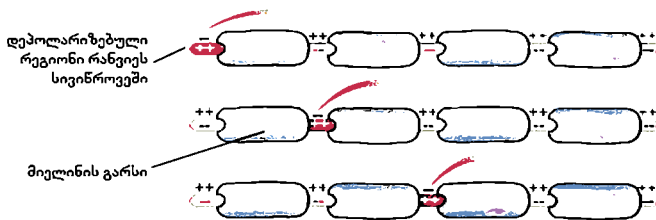


სურ. 4.3 მოქმედების პოტენციალის მექანიზმი / აგზნების გავრცელება დროში. Na^+ -ის და K^+ -ის მიმოცვლა უჯრედში და უჯრედგარე გარემოში. მუხტის ცვლილება დეპოლარიზაციის და რეპოლარიზაციის შესაბამისად.



სურ. 4.4 მოქმედების პოტენციალის პიკოვანი გამოსახულება. დასაწყისში მცირე გადახრა (1) – Na^+ -ის „შეუწონვა“ უჯრედში, აღმავალი ფაზა (2) – Na^+ -ის შესვლა უჯრედში, დაღმავალი ფაზა (3) – K^+ -ის გამოსვლა უჯრედიდან და ნიშნის აღდგენა

ის ჭარბად შესვლის შედეგია და ბოლოს – რეპოლარიზაცია. დეპოლარიზაცია ესაა პოლარიზებული მემბრანის არსებული მუხტის შეცვლა – უჯრედის გარეთ, ბოლოს, დადებითი მუხტი იცვლება უარყოფითით, რომელიც პიკოვან პოტენციალზე აღმავალი ფაზით გამოიხატება და შეესაბამება Na^+ -ის შესვლას უჯრედში (სურ. 4.4,2). რეპოლარიზაცია – კი უჯრედის გარეთ ნიშნის აღდგენას გამოხატავს, რაც შეესაბამება K^+ -ის გამოსვლას უჯრედიდან. პიკოვან პოტენციალზე ეს პროცესი დაღმავალი ფაზით გამოიხატება. (სურ. 4.4,3).



სურ. 4.5 აგზნების გავრცელება მიელინთან ნერვულ ბოჭკოში

აგზნების გავრცელება ნერვულ ბოჭკოში ხდება შემდეგი პრინციპით: ყოველი აგზნებული უბანი მის მომდევნო – აუგზნებელ უბანს აგზნებს. უმიელინო ნერვულ ბოჭკოში აგზნება ვრცელდება უწყვეტად, მთელი ბოჭკოს სიგრძეზე, ხოლო მიელინთან ნერვულ ბოჭკოში აგზნება ხორციელდება სალტატორული, ანუ ნახტომისებური მექანიზმით (სურ. 4.5), რაც გამოწვეულია მიელინთან ბოჭკოზე არსებული რანევის სივონოვების არსებობით: მიელინის გარსში არსებულ ცხიმისებრ ნივთიერებას – მიელინს აქვს დიდი წინააღობის უნარი აგზნების დენის მიმართ, ამიტომაც მოქმედების დენი ბოჭკოს შიგნით მოძრაობს ერთი რანევის სივონოვიდან მეორეზე ნახტომისებურად. ამ მექანიზმს აგზნების გავრცელების სალტატორულ მექანიზმს უწოდებენ.

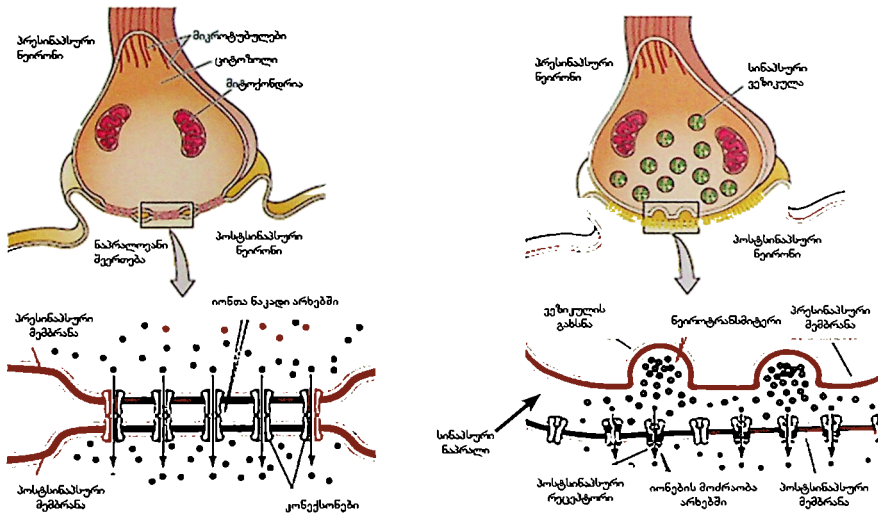
ნერვულ ბოჭკოში, ნერვული იმპულსის გატარების გარდა, ხდება სხვადასხვა ნივთიერების გადაადგილება და ეს პროცესი აქსონში ორივე მიმართულებით ხორციელდება – უჯრედის სხეულიდან ტერმინალური დაბოლოებებისაკენ და პირიქით.

თავი 5. სინაპსი სინაპსური ტრანსმისია

ადამიანის ტვინის 86 მილიარდი ნეირონიდან თითოეულს შესწევს ბევრ სხვა უჯრედზე გავლენის მოხდენის უნარი. ამ გავლენას საფუძვლად უდევს მაღალი ფუნქციური დანიშნულების მქონე სტრუქტურები, რომლებიც ადვილად ამ ასტრონომიული რაოდენობის ელემენტებს შორის კომუნიკაციას. ნეირონებს შორის ურთიერთობები სინაპსების საშუალებით ხდება. სინაპსი წარმოადგენს ერთი ნეირონის მეორე ნეირონთან ან კუნთოვან ბოჭკოსთან შეხების ადგილს, ანუ ფუნქციურ კონტაქტს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ტერმინი „სინაპსი“ მე-19 საუკუნის ბოლოს ინგლისელმა ნეიროფიზიოლოგმა, ნობელის პრემიის ლაურეატმა ჩარლზ სკოტ შერინგტონმა შემოიტანა. სინაპსს ელექტრონულ მიკროსკოპში შემსხვილებული ბალთისებრი სტრუქტურის ფორმა აქვს (სურ. 5.1).

ადამიანის ტვინში არჩევენ სინაპსების ორ ძირითად კლასს ელექტრულს (სურ. 5.1ა) და ქიმიურს (სურ. 5.1ბ). ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან სტრუქტურით და პრესინაპსური ნეირონიდან პოსტსინაპსურ ნეირონზე აგზნების გადაცემის მექანიზმით.

პრესინაპსი და პოსტსინაპსი სინაპსის შემადგენელი ნაწილებია. პრესინაპსი წარმოადგენს იმ აქსონის დაბოლოებას, საიდანაც უნდა მოხდეს ინფორმაციის გადაცემა, ხოლო პოსტსინაპსი – მეორე ნეირონის დენდრიტს ან აქსონს, რომელსაც გადაეცემა ინფორმაცია პრესინაპსიდან. თავად ნეირონებს, შესაბამისად, პრესინაპსურ და პოსტსინაპსურ ნეირონებს უწოდებენ. მეზობელ ნეირონებთან მიმართებაში ნეირონი შეიძლება იყოს როგორც პრესინაპსური, ისე პოსტსინაპსური (სურ. 5.2).



ა. ელექტრული სინაპსი.

ბ. ქიმიური სინაპსი.

სურ. 5.1 სინაპსი – ერთი ნეირონის მეორე ნეირონთან შეხების ადგილი. ა. ელექტრული სინაპსი. პრესინაპსი და პოსტსინაპსი ერთმანეთთან არხებითაა დაკავშირებული. ბ. ქიმიური სინაპსი. პრესინაპსიდან გამოყოფილი ნეირომედიატორი ჩაიღვრება სინაპსურ ნაპრალში, პოსტსინაპსურ მემბრანაზე არსებული რეცეპტორები კი შეიცნობენ მათ და ასე ატარებენ სიგნალს პოსტსინაპსურ ნეირონში.

ელექტრული სინაპსები

ელექტრული სინაპსებისთვის დამახასიათებელია არხები როგორც პოსტსინაპსისთვის, ისე პრესინაპსისთვის. პრესინაპსური და პოსტსინაპსური მემბრანები ძალიან მჭიდროდ ეხებიან ერთმანეთს ნაპრალოვანი შეერთებით. ეს არხები ნაპრალოვან შეერთებაში თითქოს ერთმანეთთან

არიან შეზრდილი და ქმნიან განსაკუთრებული ტიპის არხებს – **კონექსონებს** (ინგლისური სიტყვიდან „connection“ – „კავშირი“).

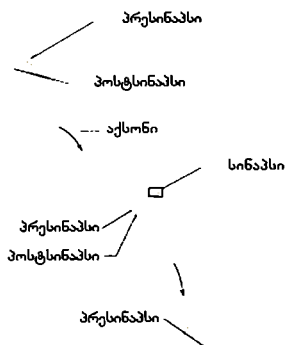
ქიმიური სინაპსები

სინაპსების უმრავლესობა ქიმიურია. მათში სიგნალის გადაცემა ერთი ნეირონიდან მეორეზე ხდება ქიმიური ნივთიერებების ნეიროტრანსმიტერების ანუ იგივე ნეიროგადამტანების საშუალებით. ერთ კონკრეტულ ნეირონში შეიძლება მოხდეს ქიმიური სინაპსებით მოსული სიგნალების ინტეგრაცია (სურ. 5.3).

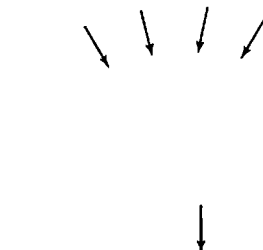
ქიმიური სინაპსების სტრუქტურა განსხვავებულია ელექტრულისგან. კერძოდ, ორ ნეირონს შორის შეხება არაა მჭიდრო და მათ შორის საკმარისი სივრცეა, რომელსაც **სინაპსურ ნაპრალს** უწოდებენ. ქიმიური სინაპსი სამი კომპონენტისგან შედგება: პრესინაპსი, სინაპსური ნაპრალი და პოსტსინაპსი (სურ. 5.1 ბ, 5.2, 5.6).

ქიმიური სინაპსის პრესინაპსისთვის დამახასიათებელია მემბრანით შემოსაზღვრული ორგანოების – **სინაპსური ვეზიკულების** არსებობა. ეს სფეროსებრი ორგანოები ამოვსებულია ნეიროტრანსმიტერით. აგზნების გადაცემისას ხდება ამ ნეირომედიატორების სინაპსურ ნაპრალში „ჩაღვრა“.

პოსტსინაპსზე უამრავი სპეციფიკური ცილის მოლეკულაა მიმაგრებული, რომლებიც ნეიროტრანსმიტერების შეცნობას ემსახურება. მათ **რეცეპტორებს** უწოდებენ. მათი საშუალებით ხდება ინფორმაციის შეცნობა, მიღება ანუ სწორედ ამაში ვლინდება დენდრიტის „ანტიენის“ ფუნქცია.



სურ. 5.2 ნეირონი ორ მეზობელ ნეირონთან მიმართებაში შეიძლება იყოს როგორც პრესინაპსური, ისე – პოსტსინაპსური. ისრები მიუთითებენ ნერვული იმპულსის მიმართულებას.



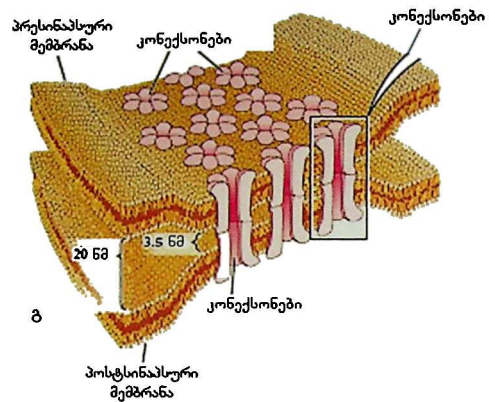
სურ. 5.3 სხვადასხვა ნეირონიდან ელექტრული იმპულსის კონვერგენცია და ინტეგრაცია ერთ კონკრეტულ ნეირონზე.

სინაპსური ტრანსმისია

სინაპსში ინფორმაციის გადაცემას ერთი ნეირონიდან მეორეზე **სინაპსურ ტრანსმისიას** უწოდებენ.

ელექტრულ და ქიმიურ სინაპსებში სინაპსური ტრანსმისია განსხვავებულია.

ელექტრულ სინაპსებში ელექტრული იმპულსის გადასვლას პრესინაპსური ნეირონიდან პოსტსინაპსურზე განაპირობებენ კონექსონები. კონექსონების ფორის დიამეტრი საკმაოდ დიდია – დაახლოებით 1 ნმ, რაც იმის საშუალებას იძლევა, რომ სხვადასხვა ნივთიერებები ადვილად დიფუნდირდეს პრესინაპსური და პოსტსინაპსური ნეირონების ციტოზოლებს შორის (სურ. 5.4).



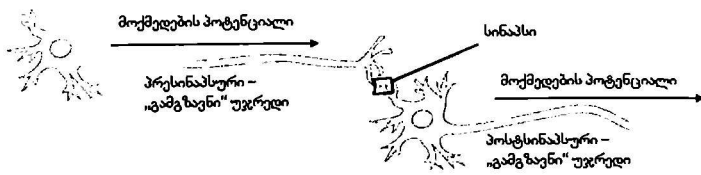
სურ. 5.4 კონექსონები ელექტრულ სინაპსებში. ა-ბ. გამოსახულება ელექტრონულ მიკროსკოპში.
გ. სქემატური გამოსახულება.

მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრული სინაპსები მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი, მათ გარკვეული ფუნქციური უპირატესობები გააჩნიათ. უპირველეს ყოვლისა, სინაპსური ტრანსმისია სწრაფია და იმპულსი ორმხრივად შეიძლება გავრცელდეს, რაც იძლევა ნეირონების სინქრონულად აგზნების საშუალებას. მაგ. ტვინის ღეროს ნეირონები წარმოქმნიან რიტმულ ელექტრულ აქტივობას, რაც საფუძვლად უდევს სუნთქვის პროცესს. ამ ნეირონების აქტივობა სინქრონიზებულია სწორედ ელექტრული სინაპსებით.

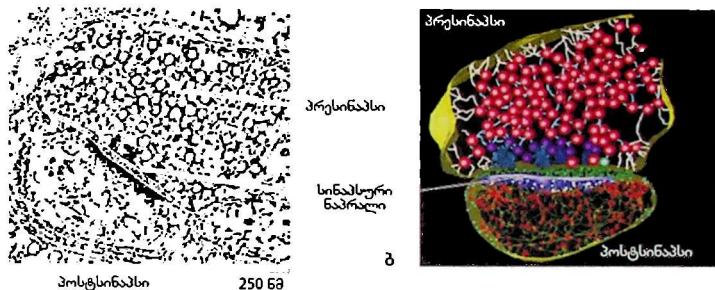
ზრდასრულ ორგანიზმში ელექტრული სინაპსები ნანახია როგორც ცნს-ში, ისე მის გარეთ, მაგ. გულის კუნთსა და გლუვ კუნთებში.

სინაპსური ტრანსმისია ქიმიურ სინაპსებში

ელექტრული იმპულსი ნეირონში აქსონის მთელ სიგრძეზე ვრცელდება (სურ. 5.5). როდესაც იმპულსი მიაღწევს აქსონის ბოლოს პრესინაპსიდან გამოიყოფა მედიატორი, რომელიც ჩაიღვრება სინაპსურ ნაპრალში პრესინაპსიდან ნეირომედიატორის გამოყოფის ხარჯზე ხდება ელექტრული იმპულსის ქიმიურად გარდაქმნა. შემდეგ, გადაეცემა რა ეს იმპულსი მეორე ნეირონს, ის კვლავ ელექტრულ იმპულსში „კონვერტირდება“. ინფორმაციის ასეთი ტრანსფორმაცია – ელექტრული-ქიმიური-ელექტრული – წარმოადგენს ტვინის უნარების საფუძველს. სინაპსური ტრანსმისიის დისფუნქცია თავს იჩენს სხვადასხვა მენტალური დაავადების დროს. ასევე, უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა ტოქსინებისა და ნარკოტიკების მოქმედების სამიზნეს სწორედ სინაპსები წარმოადგენენ.



ელექტრული იმპულსი → ქიმიური იმპულსი → ელექტრული იმპულსი
სურ. 5.5. აგზნების გადაცემა ერთი ნეირონიდან მეორეში ქიმიური სინაპსის მაგალითზე.



სურ. 5.6 ა. ქიმიური სინაპსი ელექტრონულ მიკროსკოპში; ბ. სქემატური გამოსახულება

სურ. 5.6 ა-ზე ნაჩვენებია ქიმიური სინაპსი ელექტრონულ მიკროსკოპში, ხოლო სურ. 5.6 ბ-ზე მისი სქემატური გამოსახულება. ა-ზე კარგად ჩანს ვენტიკულებით სავსე აქსონის ტერმინალური განშტოება. ხოლო სქემატურ გამოსახულებაზე ნაჩვენებია ვენტიკულების ფუნქციური მდგომარეობა. ნითლად აღნიშნულია არააქტიური ვენტიკულები, ლურჯად კი ის ვენტიკულები, რომლებიც აქტიურ მდგომარეობაშია გადასული, ანუ აქტიური ზონა. აქ ვენტიკულები ან ემზადებიან ნეიროტრანსმიტერის გამოსაყოფად, ან უკვე გამოყოფის პროცესში არიან.

ვენტიკულების მობილიზებაში „გამმევე“ როლს თამაშობს Ca^{2+} -ის იონები, რომლის კონცენტრაცია ჩვეულებრივ პრესინაპსში უფრო დაბალია, ვიდრე უჯრედგარე სივრცეში. შესაბამისად, კონცენტრაციული გრადიენტი მიმართულია უჯრედგარე გარემოდან პრესინაპსისკენ. როდესაც ელექტრული იმპულსი მიაღწევს აქსონის ტერმინალურ განშტოებას, პრესინაპსურ მემბრანაში იხსნება Ca^{2+} არხები, Ca^{2+} -ის იონები სწრაფად აღწევს პრესინაპსში და აქ მისი კონცენტრაცია იზრდება. გაზრდილი კონცენტრაცია, თავის მხრივ, იწვევს სინაპსური ვენტიკულების მემბრანის პრესინაპსურ მემბრანასთან შეერთებას და, შედეგად, ვენტიკულებში არსებული მედიატორი „ჩაიღვრება“ სინაპსურ ნაპრალში. ამ პროცესს **ვენტიკულური ენოვება** ნაპრალში ნეირომედიატორი ნაწილდება მთელ სივრცეში და უკავშირდება პოსტსინაპსურ მემბრანაზე არსებულ რეცეპტორებს, რაც იწვევს პრესინაპსური ნეირონიდან სიგნალის გადასვლას პოსტსინაპსურ ნეირონზე.

გამოვლენილია 100-მდე ნეიროტრანსმიტერი, რომლებიც თავისი ბუნებით ან ამავანებელია, ან შემაკავებელი, ან სულაც სიტუაციის შესაბამისად მოქმედებენ ორივე მიმართულებით. ამავანებელი ნეიროტრანსმიტერი ზრდის პოსტსინაპსური მემბრანის არხების განვლადობას Na^{+} -ის იონების მიმართ, ხოლო შემაკავებელი ნეიროტრანსმიტერი – K^{+} -ის ან Cl^{-} -ის, ან ორივეს მიმართ ერთდროულად. შეკავების საშუალებით ხდება სხვადასხვა პროცესების რეგულირება და ნეირონის დაცვა გადაჭარბებული აგზნებისაგან. შეკავების მოშლის ნათელი მაგალითია პარკინსონის დაავადება, რომელიც მოგვიანებით იქნება განხილული.

ეფექტური სინაპსური ტრანსმისიის განახორციელებლად აუცილებელია სინაპსურ ნაპრალში ნეიროტრანსმიტერების კონცენტრაციის მკაცრი კონტროლი. ამისთვის კი ნეირონებს შესწევთ მათი სინთეზის, ვენტიკულებში მათი „შეფუთვის“, გამოყოფის და დეგრადაციის უნიკალური უნარი.

ქიმიური სინაპსების შესახებ მონაცემები მიღებულ იქნა ნერვუნთოვანი სინაპსების მაგალითზე, სადაც პრესინაპსი მოტონეირონის აქსონის დაბოლოებაა, პოსტსინაპსი – კუნთოვანი ბოჭკოს საბოლოო ფირფიტა, ხოლო მედიატორი – აცეტილქოლინი. მე-20 საუკუნის 50-იან წლებში დაყაყუჩ ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები განზოგადებულ იქნა ნებისმიერ ორგანიზმზე. ლონდონის საუნივერსიტეტო კოლეჯის მეცნიერთა ჯგუფმა ბერნარდ კატციის ხელმძღვანელობით აჩვენა, რომ მოტონეირონი წარმოქმნილი მოქმედების პოტენციალი იწვევს კუნთოვანი ბოჭკოს მემბრანის გრადუალურ დეპოლარიზაციას, რასაც საბოლოო ფირფიტის პოტენციალი უწოდებს. ეს კი საკმარისია იმისათვის, რომ გამოიწვიოს პოსტსინაპსური მოქმედების პოტენციალი, რომელიც

ინვესტორების კუთხით შეკუმშვას. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, საბოლოო ფირფიტის პოტენციალი კუნთოვან ბოჭკოში წარმოშობს გავრცელებად აგზნებას, რაც ინვესტორების კუნთის შეკუმშვას.

ვიდრე პოსტსინაპსური მოქმედების პოტენციალი წარმოიქმნება, მოტონერიონში აგზნების გავრცელებას და საბოლოო ფირფიტის პოტენციალის წარმოქმნას გარკვეული დრო ესაჭიროება, ე.ი. პოსტსინაპსური მოქმედების პოტენციალი დაყოვნებით წარმოიქმნება. სწორედ სინაპსური დაყოვნებაა დამახასიათებელი ქიმიური სინაპსებისათვის, ელექტრულსიგნალს განსხვავებით.

სინაპსური ვეზიკულების ციკლი

წინა საუკუნის 70-იანი წლების ბოლოს ამერიკელმა მეცნიერებმა **ჯონ ჰაუზერმა** და **თომას რისმა** აჩვენეს, რომ ქიმიურ სინაპსებში სინაპსური ტრანსმისიისას ვეზიკულების მემბრანის შერწყმა პრესინაპსურ მემბრანასთან დროებითია. ცოტა ხნის შემდეგ პრესინაპსური მემბრანიდან კვლავ წარმოიქმნება ვეზიკულა, რომელიც, ნეირონში საბოლოო ჩამოყალიბების შემდეგ, კვლავ მზადაა სინაპსურ ტრანსმისიამო მონაწილეობისათვის. ეს ნიშნავს, რომ ვეზიკულებს გააჩნიათ სასიცოცხლო ციკლი.

ქიმიური სინაპსების ფუნქციონირების სქემა მსგავსია როგორც ნერვულთოვანი სინაპსის, ისე რ. ნეირონის შორის არსებული სინაპსებისათვის. ნებისმიერ შემთხვევაში, სინაპსურ ნაპარალში ჩაღრმობილი ნეირომედიატორი უკავშირდება პოსტსინაპსურ მემბრანაზე არსებულ რეცეპტორს და ინვესტორს პოსტსინაპსურ პოტენციალს (პსპ), რომელიც ან წარმოქმნის პოსტსინაპსურ უჯრედში მოქმედების პოტენციალს, ან არა. შესაბამისად, სინაპსური გადაცემის შედეგად პოსტსინაპსურ ნეირონში გამოწვეული ეფექტის მიხედვით არჩევენ ამაგზნებელ და შემაკავებელ სინაპსებს. საქმე ისაა, რომ პრესინაპსური დაბოლოებიდან გამოყოფილი მედიატორი პირველ შემთხვევაში წარმოქმნის ისეთ პსპ-ს, რომელსაც შესწევს პოსტსინაპსური ნეირონის აგზნების უნარი, ხოლო მეორე შემთხვევაში მედიატორი ინვესტორს პოსტსინაპსური მემბრანის ჰიპერპოლარიზაციას, რაც ინვესტორს პოსტსინაპსური ნეირონის შეკავებას. პირველ შემთხვევაში წარმოქმნილ პოტენციალს ამაგზნებელი პოსტსინაპსური პოტენციალი (აპსპ) ეწოდება, ხოლო მეორე შემთხვევაში – შემაკავებელი პოსტსინაპსური პოტენციალი (შპსპ). ნეირონთა უმრავლესობას გააჩნია როგორც ამაგზნებელი, ისე შემაკავებელი სინაპსების შესავალი.

პსპ ცნს-ში გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე ნერვულთოვან შეერთებაში. თუმცა, მიუხედავად ამისა, ცენტრალური პროცესები ძალიან სწრაფად მიმდინარეობს, რაც განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ცნს-ში ნებისმიერი ნეირონი ათასობით სინაპსით სხვა პრესინაპსურ ნეირონთან არის დაკავშირებული და თითოეული ასეთი სინაპსი წარმოქმნის ცალკეულ პოსტსინაპსურ პოტენციალს, რომლებიც საბოლოოდ ჯამდება და სწორედ ჯამური პსპ განაპირობებს პოსტსინაპსური ნეირონის „ქცევას“. არსებობს დაჯამების ანუ სუმაციის ორი ვარიანტი – **სუმაციადროში** და **სუმაციასივრცეში**. ორივე შემთხვევაში ჯამდება ქველზღუბლოვანი როგორც ამაგზნებელი, ისე შემაკავებელი პსპ-ები.

გარდა მოქმედების მექანიზმისა და მოქმედების ეფექტისა, სინაპსების კლასიფიკაცია შეიძლება მოეხდინოთ, ასევე, ადგილმდებარეობის და ნეიროტრანსმიტერების მიხედვით. კერძოდ, ადგილმდებარეობის მიხედვით არჩევენ ცენტრალურ და პერიფერიულ სინაპსებს, ხოლო ნეიროტრანსმიტერების მიხედვით – ქოლინერგულ, ადრენერგულ, სეროტონინერგულ და ა. შ. სინაპსებს.

თავი 6. ნეიროტრანსმიტარები

ნეირონები ერთმანეთთან, ძირითადად, ქიმიური ნივთიერებების – ნეიროგადამატანების საშუალებით ურთიერთობენ. ამ ნეიროგადამატანებს სამეცნიერო ლიტერატურაში ნეიროტრანსმიტერების სახელით მოიხსენიებენ.

ნებისმიერი ნეიროტრანსმიტერი პრესინაპსიდან ჯერ ჩაიღვრება სინაპსურ ნაპრალში, შემდეგ უკავშირდება პოსტსინაპსურ მემბრანაზე არსებულ შესაბამის რეცეპტორს და პოსტსინაპსურ პასუხს წარმოშობს. ბევრ ნეიროტრანსმიტერს არა მხოლოდ ერთი, არამედ სხვადასხვა ტიპის რეცეპტორთან დაკავშირების უნარი გააჩნია, რაც, შესაბამისად, განსხვავებული ტიპის პასუხის გენერირებას იწვევს და სინაპსური ტრანსმისიის საფუძველს წარმოადგენს; ანუ ნეიროტრანსმიტერის მოქმედების ხასიათი დამოკიდებულია იმ რეცეპტორზე, რომელსაც ის უკავშირდება. თავისი ფუნქციის შესრულების (აგზნების გადატანის) შემდეგ ნეიროტრანსმიტერების ნაწილი იშლება მაღალაქტიური ნივთიერებების ზემოქმედებით, ნაწილი კი მიიტაცება გლიური უჯრედების მიერ.

ნეიროტრანსმიტარების კატაბოლიზმი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ცნობილია 100-ზე მეტი ნეიროტრანსმიტერი. მათი ასეთი დიდი რაოდენობა ნეირონთა შორის ურთიერთქმედების მრავალფეროვნებას განაპირობებს.

ზომის მიხედვით ნეიროტრანსმიტერები ორ დიდ კატეგორიად იყოფა.

შედარებით დიდი ზომის ნეიროტრანსმიტერები, პეპტიდური (ცილოვანი ბუნების) ნეიროტრანსმიტერების ანუ ნეიროპეპტიდების სახელითაა ცნობილი. ისინი შეიცავენ 3-დან 36-მდე ამინომჟავას.

მეორე ჯგუფში შემაჯალი ნეიროტრანსმიტერები გაცილებით მცირე ზომისაა, ვიდრე ნეიროპეპტიდები და მათ მცირე ზომის ნეიროტრანსმიტერებს უწოდებენ. ამ ჯგუფში აერთიანებენ აცეტილქოლინს, სეროტონინს, ჰისტამინს, ატფს-ს, ასევე, ცალკეულ ამინომჟავებს – გლუტამატს, ასპარტატს, გაემ-ს (გამა-ამინოვარდოსმჟავას) და გლიცინს. მცირე ზომის ტრანსმიტერებში, ხშირად, ცალკე ჯგუფად გამოყოფენ ბიოგენურ ამინებს (დოფამინი, ნორეპინეფრინი, ეპინეფრინი, სეროტონინი და ჰისტამინი).

პოსტსინაპსური რეცეპტორები

პოსტსინაპსური რეცეპტორები, რომლებიც ნეიროტრანსმიტერებს შეიგრძნობენ, ორ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს – იონოტროპულად და მეტაბოტროპულად.

იონოტროპული რეცეპტორები მემბრანაში ქმნიან იონურ არხებს, რომლებიც ემსახურებიან სხვადასხვა ტიპის იონების გატარებას, მაგ. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ან Cl^- -ის. ამასთან, ეს არხები ნეიროტრანსმიტერზეა დამოკიდებული. რას ნიშნავს ეს? ეს იმას ნიშნავს, რომ როცა პრესინაპსური დაბოლოებიდან გამოიყოფა ნეიროტრანსმიტერი, მისი შეცნობისთანავე იონოტროპული რეცეპტორი ანუ იონური არხი იწყებს გახსნას, რასაც შედეგად მოჰყვება პოსტსინაპსური მემბრანის პოლარიზაციის ხარისხის ცვლილება (ჰიპერპოლარიზაცია ან დეპოლარიზაცია).

მეტაბოტროპული რეცეპტორები განსხვავებით იონოტროპულისგან, არ ქმნიან იონურ არხებს. ისინი ტრანსმემბრანულ ცილებს წარმოადგენენ, რომლებიც ნეიროტრანსმიტერის „შეცნობის“ შემდეგ, უჯრედის შიგნით იკავშირებენ G-ცილებს. ამის შედეგად უჯრედშია პროცესების გააქტივება იწყება, რაც, თავის მხრივ, იონური არხების ან დახსნას ან დახურვას განაპირობებენ, რასაც მოჰყვება პოსტსინაპსური ნეირონის საპასუხო რეაქცია (აგზნება ან შეკავება).

ძირითადი ნეიროტრანსმიტერების პოსტსინაპსური ეფექტები მოცემულია 7.1 ცხრილში.

ნეიროპეპტიდები

ბევრი პეპტიდი, რომელიც ჰორმონებს წარმოადგენს, მოქმედებს, ასევე, როგორც ნეიროტრანსმიტერი. ზოგიერთი პეპტიდური ტრანსმიტერი ჩართულია ემოციების რეგულაციაში.

პეპტიდური ტრანსმიტერები ფუნდამენტურად განსხვავდება მცირე ზომის ნეიროტრანსმიტერ-

ებისაგან არა მხოლოდ ზომით, არამედ სინთეზის გზითაც. ისინი ხუთ ჯგუფად იყოფა: ტვინისა და ნაწლავის პეპტიდები, ოპიოიდური პეპტიდები, ჰიპოფიზის პეპტიდები, ჰიპოთალამური რილიზინგ-ჰორმონები და სხვა.

ნეიროტრანსმიტერი	პოსტსინაპსური ეფექტი
აცეტილქოლინი	ამაგზნებელი ან შემაკავებელი
გლუტამატი	ამაგზნებელი
გამაამინოერბოს მჟავა (გაემ)	შემაკავებელი
გლიცინი	შემაკავებელი
კატექოლამინები (ეპინეფრინი, ნორეპინეფრინი, დოფამინი)	ამაგზნებელი ან შემაკავებელი
სეროტონინი	ამაგზნებელი
ჰისტამინი	ამაგზნებელი
ატფ	ამაგზნებელი
ნეიროპეპტიდები	ამაგზნებელი ან შემაკავებელი
ენდოკანაბინოიდები	ამაგზნებელი ან შემაკავებელი
აზოტის ოქსიდი	ამაგზნებელი ან შემაკავებელი

ცხრილი 7.1 ნეიროტრანსმიტერების პოსტსინაპსური ეფექტების ცხრილი

განსაკუთრებით მნიშვნელოვან კატეგორიას წარმოადგენს ოპიოიდური პეპტიდების ოჯახი. ასეთი სახელწოდება გამომდინარეობს იმ ფაქტიდან, რომ რეცეპტორებს, რომლებსაც ეს პეპტიდები უკავშირდება, აქვს ოპიუმის შეკავშირების უნარიც – ისინი ოპიოიდურ რეცეპტორებს წარმოადგენენ. ოპიუმის აქტიურ ნივთიერებებს ბევრი ალკალოიდი წამოადგენს, რომელთაგან ყველაზე აქტიურია **მორფინი**. სახელწოდება მორფინი ამ ალკალოიდმა მიიღო ბერძნული ოცნების ღმერთის მორფეუსის პატივსაცემად. დღემდე მორფინი ითვლება ყველაზე ძლიერ ანალგეზიურ საშუალებად. ასეთივე თვისებით გამოირჩევიან სინთეზური ოპიატებიც – მეპერდინი, მეტადონი და ფენტანილი.

ოპიოიდური პეპტიდები სამ კლასში ერთიანდებიან: **ენდორფინები, ენკეფალინები და დინორფინები**.

ოპიოიდები ჩართულია ისეთ კომპლექსურ ქცევებში, როგორიცაა სექსუალური ქცევა, აგრესია და მორჩილება. ასევე, ჩართულია შიზოფრენიის და, სავარაუდოდ, აუტიზმის მექანიზმებში.

ოპიოიდების ხშირი გამოყენება იწვევს შეჩვევას და დამოკიდებულებას.

მცირე ზომის ნეიროტრანსმიტერები

აცეტილქოლინი

აცეტილქოლინი (ACh) პირველი იდენტიფიცირებული ნეიროტრანსმიტერია. ის, ძირითადად, პერფერულ ნერვულ სისტემაში გვხვდება: ნერვკუნთოვან სინაპსებში, ასევე, სინაპსებში ცთომილ ნერვსა და გულის კუნთის ბოჭკოებს შორის. გარდა ამისა, აცეტილქოლინი ნაწახია ავტონომიური ნერვული სისტემის კვანძებში/განგლიებში და ცნს-ს სხვადასხვა განყოფილებაში.

სინაპსურ ნაპარალში გამოყოფილი აცეტილქოლინი იწვევს ქოლინერგული რეცეპტორების აქტივაციას და, შესაბამისად, ნერვული იმპულსის გადაცემას პოსტსინაპსურ ნეირონზე. ამის შემდგომ

კი ფერმენტ აცეტილქოლინესთერაზას საშუალებით ის განიცდის ჰიდროლიზს (დაშლას). ეს ფერმენტი ძალიან მაღალი კატალიზური აქტივობით გამოირჩევა: მისი ერთი მოლეკულა ერთ წამში აცეტილქოლინის 5000 მოლეკულას ჰიდროლიზს განაპირობებს.

საინტერესოა ორგანოფოსფატები, რომლებიც იაპონელი ტერორისტების მიერ იქნა გამოყენებული 1995 წელს ტოკიოს მეტროში. საქმე ისაა, რომ ორგანოფოსფატები აცეტილქოლინესთერაზას შეკავებას იწვევენ, რაც იწვევს აცეტილქოლინის დაგროვებას ქოლინერგულ სინაპსებში. ამას თავდაპირველად პოსტსინაპსური მემბრანის დეპოლარიზაცია მოჰყვება, მაგრამ შემდეგ ის ხდება რეზისტენტული აცეტილქოლინის მიმართ, რაც იწვევს ნერვულთოვანი გადაცემის პარალიზებას.

სინაპსურ ნაპარალში გამოყოფილი აცეტილქოლინი უკავშირდება პოსტსინაპსურ მემბრანაზე არსებულ ქოლინორეცეპტორებს, რასაც მოჰყვება შესაბამისი ეფექტები.

არჩევენ ქოლინორეცეპტორების ორ კლასს: ნიკოტინურს და მუსკარინულს, გამომდინარე იქედან, რომ ქოლინორეცეპტორებს შეუძლიათ დაიკავშირონ ნიკოტინი ან მუსკარინი (ცხრილი 7.2). სწორედ აქედან გამომდინარეობს მათი სახელწოდებაც.

ნიკოტინი ცნს-ის სტიმულატორია, რომლის მიღება იწვევს გარკვეული ტიპის ეიფორიას, განტვირთვას და, ამავდროულად, მასზე დამოკიდებულებას. ნიკოტინური ქოლინორეცეპტორები იონოტროპულ რეცეპტორებს მიეკუთვნებიან. აქ აცეტილქოლინი გამოდის ლიგანდის* როლში, ხოლო ნიკოტინური ქოლინორეცეპტორი, აცეტილქოლინის აქტივაციის შედეგად, ხსნის იონურ არხებს. შედეგად, ხდება აგზნების გადაცემა პრესინაპსიდან პოსტსინაპსში. ამ ტიპის ქოლინორეცეპტორები გვხვდება ნერვულთოვან სინაპსებში, ავტონომიური ნერვული სისტემის კვანძებში, ასევე, ცნს-ს სხვადასხვა უბანში.

მუსკარინულ ქოლინორეცეპტორებს აქვთ ზოგიერთი შხამიანი სოკოსთვის დამახასიათებელი ალკალიოიდი – მუსკარინის შეკავშირების უნარი. განსხვავებით ნიკოტინურისგან, მუსკარინული ქოლინორეცეპტორები მეტაბოტროპულ რეცეპტორთა რიცხვს განეკუთვნებიან. მუსკარინული ქოლინერგული რეცეპტორები დიდი რაოდენობითაა დიდი ტვინის სხვადასხვა ნაწილში. ზოგან ის შემკავებლად გვევლინება, ზოგ სტრუქტურაში კი ამაგზნებელ ფუნქციას ასრულებენ. ავტონომიურ ნერვულ სისტემაში ისინი ნაწახია განკლიებში და, ასევე, პერიფერიაზე, თავად ორგანოებში: გულის კუნთში, გლუვ კუნთებში, ეგზოკრინულ ჯირკვლებში (ცთომილი ნერვის გალიზიანების საპასუხოდ ხდება გულის კუნთზე არსებული მუსკარინული რეცეპტორების აქტივაცია, რასაც შედეგად მოჰყვება გულის კუნთის შეკუმშვათა სიხშირის შემცირება).

ქოლინერგული რეცეპტორები	
ნიკოტინური (იონოტროპული)	მუსკარინული (მეტაბოტროპული)
• ქმნიან იონურ არხებს • ემსახურებიან სხვადასხვა ტიპის იონების გატარებას, მაგ. Na^+, K^+, Ca^{2+} -ის. • გვხვდება: ➢ ნერვულთოვან სინაპსებში; ➢ ავტონომიური ნერვული სისტემის კვანძებში; ➢ ცნს-ს სხვადასხვა უბანში	• წარმოადგენენ ტრანსმემბრანულ ცილებს • უფრედის მგზით იკავშირებენ G-ცილებს, რაც განაპირობებს სხვადასხვა ტიპის ნელ პოსტსინაპსურ პასუხებს. • წარმოდგენილია დიდი რაოდენობით დიდი ტვინის სხვადასხვა ნაწილში: ➢ ზოლიან სხეულში (striatum) შემკავებელ გაველ-ნას ახდენს დოფამინით გამოწვეულ მოტორულ ეფექტებზე; ➢ პიპოკამპში – ამაგზნებელია; • ავტონომიურ ნერვულ სისტემაში ისინი ნაწახია განკლიებში, ასევე, პერიფერიაზე – თავად ორგანოებში: გულის კუნთში, გლუვ კუნთებში, ეგზოკრინულ ჯირკვლებში

ცხრილი 7.2 ქოლინერგული რეცეპტორების მახასიათებლები

* ლიგანდი – ნივთიერება, რომელიც უკავშირდება სამიზნე ბიოლოგიურ მოლეკულას, მასთან ერთად ქმნის კომპლექსს და წარმოქმნის გარკვეულ ეფექტს.

ადენოზინტრიფოსფატი

ადენოზინტრიფოსფატი ანუ ატფ პურინების ჯგუფის წარმომადგენელია. მას ნერვულ დაბოლოებაში არსებული ნებისმიერი სინაპსური ბუშტუკი შეიცავს. „ულასიკურ“ ნეიროტრანსმიტერებთან ერთად ატფ-იც გამოიყოფა. ფაქტობრივად, ის „თანაგადამატანად“/ „თანატრანსმიტერად“ გვევლინება. ჯერ კიდევ 1920-იანი წლებიდანაა ცნობილი, რომ ატფ-ს დამატება უჯრედგარე სივრცეში იწვევს ნეირონის აგზნებას, ანუ ატფ ფაქტიურად ამავანებელი ნეიროტრანსმიერია ზურგის ტვინის მოტონეირონებში, ასევე, სენსორული და ავტონომიური ნერვული სისტემის კვანძებში.

გლუტამატი

ტვინის ნორმალური მოქმედებისთვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს გლუტამატს. ცნს-ის თითქმის ყველა ამაგზნებელი სინაპსი გლუტამატერგულია. ამასთან, თავის ტვინის სინაპსების თითქმის ნახევარში ნეირომედიატორს სწორედ რომ გლუტამატი წარმოადგენს.

გლუტამატი არაესენციური* ამინომჟავაა. ის არ გადის ჰემატოენცეფალურ ბარიერს და წარმოიქმნება გლუტამინისგან. გლუტამატის სინთეზი მიმდინარეობს გლუტამატერგულ ნეირონში, შემდეგ კი ინახება პრესინაპსში არსებულ ვეზიკულებში.

ქოლინერგული რეცეპტორების მსგავსად, გლუტამატერგულ რეცეპტორებშიც არჩევენ ორ ტიპს: იონოტროპულს და მეტაბოტროპულს. ეს რეცეპტორები რამდენიმე სახისაა და სხადასხვა მნიშვნელოვან ფუნქციას ასრულებენ.

გამე და გლიცინი

ცნს-ში შემაკავებელი სინაპსების უმრავლესობაში ნეიროტრანსმიტერებს წარმოადგენენ გამე და გლიცინი.

გამე 1950-იან წლებში იქნა აღმოჩენილი. შემაკავებელი სინაპსების დაახლოებით 1/3 იყენებს მას ნეიროტრანსმიტერად. ასეთ სინაპსებს ქმნიან ზოლიანი სხეულის პროექციული და ნათხემის პურკინეს უჯრედები.

საინტერესოა, რომ B6 ვიტამინის ნაკლებობა მკვეთრად ამცირებს გამე-ის სინთეზს. შესაბამისად, მისი სინთეზისათვის, ისევე როგორც ორგანიზმის სხვა მნიშვნელოვანი ფუნქციებისთვის, აუცილებელია ორგანიზმში B6 ვიტამინის ადექვატური რაოდენობა.

გამე-ერგულ სინაპსებში ორი ტიპის რეცეპტორებს ვხვდებით. ესენია გამე-ა და გამე-ბ. ამ რეცეპტორების აქტივაცია იწვევს პოსტსინაპსური უჯრედის შიგნით Cl⁻ იონების შეჭრას, რაც, შესაბამისად, იწვევს პოსტსინაპსური უჯრედის შეკაებას.

გლიცინის რეცეპტორები არის ლიგანდდამოკიდებული Cl⁻-ის არხები, რომლებიც ხელს უწყობენ უჯრედის შიგნით Cl⁻-ის ანიონების შესვლას და, შესაბამისად, პოსტსინაპსური ნეირონის ინჰიბირებას. ანუ გლიცინი წარმოადგენს შემაკავებელ ნეირომედიატორს.

მაშასადამე, ძირითად ამაგზნებელ ნეიროტრანსმიტერს ამინომჟავა გლუტამატი წარმოადგენს, ხოლო ძირითად შემაკავებელს – გამე და გლიცინი.

ბიოგენური ამინები

ბიოგენური ამინები ბევრ ფუნქციას არეგულირებენ როგორც ცენტრალურ, ასევე, პერიფერიულ ნერვულ სისტემაში. ქვევით ფუნქციებში ფართო ჩართულობის გამო, ბიოგენურ ამინების ფუნქციონირებაში რაიმე დეფექტის წარმოშობა ფსიქიკურ დაავადებებთანაა დაკავშირებული. ასეთი სინაპსების ფარმაკოლოგია კრიტიკულად მნიშვნელოვანია ფსიქოთერაპიაში, მედიკამენტოზური მკურნალობისას, ვინაიდან ეს მედიკამენტები მოქმედებენ ამ ნეიროტრანსმიტერების სინთეზზე, რეცეპტორთა მიერ მათი შეკავშირების უნარზე და კატაბოლიზმზე. ბევრი მედიკამენტი მოქმედებს ბიოგენური ამინების გარდაქმნის გზებზეც.

ბიოგენურ ამინებში არჩევენ 5 ნეიროტრანსმიტერს:

ესაა სამი კატეჟოლამინი – დოფამინი, ნორეპინეფრინი (ნორადრენალინი), ეპინეფრინი (ადრენალინი) და, ასევე, ჰისტამინი და სეროტონინი.

* ცილების სინთეზისათვის აუცილებელი 20 ამინომჟავიდან 11-ის სინთეზი ხდება ორგანიზმში. მათ არა-ესენციურ ამინომჟავებს უწოდებენ. დანარჩენი 9 ამინომჟავა კი აუცილებლად საკვებთან ერთად უნდა მიიღოს ადამიანმა. მათ ესენციურ ამინომჟავებს უწოდებენ.

დოფამინი

დოფამინი ტვინის სხვადასხვა რეგიონშია წარმოდგენილი, თუმცა ყველაზე დიდი რაოდენობით ის შავ სუბსტანციაში გვხვდება. დოფამინი შეუცვლელ როლს თამაშობს სხეულის მოძრაობების კოორდინაციაში. პარკინსონის დაავადებისას დოფამინერგული ნეირონები განიცდიან დეგენერაციას, რაც არღვევს დოფამინის სინთეზის პროცესს, შედეგად კი იხსნება დოფამინის შემაკავებელი გავლენა ბაზალური განვლიების ნეირონებზე და მიიღება მოტორული დისფუნქცია, რაც გამოიხატება ტრემორში, რიგიდობაში და აკინეზიაში.

მიიჩნევა, რომ გარდა მოძრაობისა, დოფამინი ჩართულია მოტივაციაში, ჯილდოს მოპოვების პროცესში ქმედების გაძლიერებაში და გადაწყვეტილებების მიღებაში.

დოფამინერგული სინაპსები ცნს-ში ნარკოტიკების ერთ-ერთ სამიზნეს წარმოადგენს.

დოფამინი მოთავსებულია აქსონურ დაბოლოებაში, სინაპსურ ბუშტუკებში. ერთი მხრივ, სინაპსურ ნაპარალში გადმოღვრის შემდეგ, დოფამინი იწვევს შესაბამის პოსტსინაპსურ ეფექტს. მეორე მხრივ, ნერვულ პროცესების ნორმალურად ფუნქციონირებისათვის, სინაპსურ ნაპარალში გადმოღვრილი დოფამინი „უკან უნდა დაბრუნდეს“ პრესინაპსში, შემდგომ ანალოგიურ პროცესებში მონაწილეობის მისაღებად. „დაბრუნება“ ხდება გადამტანი ნივთიერების – კო-ტრანსპორტერის საშუალებით. ნარკოტიკული ნივთიერებების სამიზნეს სწორედ ეს კო-ტრანსპორტერი წარმოადგენს – ისინი კავდებიან. შედეგად, კი დოფამინი გროვდება სინაპსურ ნაპარალში და ევლარ ბრუნდება უკან, ნერვულ დაბოლოებაში. ასე მოქმედებს მაგ. კოკაინი, ამფეტამინი. ეს უკანასკნელი ნორეპინეფრინის კო-ტრანსპორტერის შეკავებასაც იწვევს.

გამოყოფა რა სინაპსურ ნაპარალში, დოფამინი უკავშირდება პოსტსინაპსურ რეცეპტორებს, რომელთა გააქტივება იწვევს სხვადასხვა სახის კომპლექსურ ქცევას. მაგ. მოგრძო ტვინში დოფამინერგული რეცეპტორების გააქტივება იწვევს ლებინების შეკავებას. ამიტომაც, ამ რეცეპტორების ანტაგონისტები გამოიყენება როგორც მედიკამენტოზური საშუალებები ლებინების გამოსანევეად, მონამელის და, ასევე, ნარკოტიკების გადაჭარბებული დოზით მიღების შემთხვევაში.

ნორეპინეფრინი

ნორეპინეფრინი, იგივე ნორადრენალინი ნანახია ცისფერ ლაქაში, რომელიც დიფუზურად პროეცირდება წინა ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურაში. ის მონაწილეობს ძილ-ღვიძილის რეაქციებში, ყურადღების პროცესში და კვებით რეაქციებში. ნორადრენერგული ნეირონებით ავტონომიურ ნერვულ სისტემაში წარმოდგენილია სიმპატიკური განვლიები. ნორადრენალინი წარმოიქმნება დოფამინისგან. იგი ნერვულ დაბოლოებაში სინაპსურ ბუშტუკებშია მოთავსებული. ნერვული გადაცემისას სინაპსურ ნაპარალში მოხვედრილი ნორეპინეფრინი უკუმიიტაცება ნორეპინეფრინის გადამტანის მიერ და გადაიტანება კვლავ პრესინაპსურ დაბოლოებაში. იგივე გადამტანს, ასევე, შესწევს დოფამინის უკუმიტაცების უნარიც.

ეპინეფრინი

ეპინეფრინი ანუ ადრენალინი უფრო მცირე რაოდენობითაა ნანახი ტვინში, ვიდრე სხვა კატექოლამინები. ადრენერგული ნეირონები არეგულირებენ სუნთქვის და კარდიალურ ფუნქციას. მიუხედავად იმისა, რომ ეპინეფრინიც დოფამინიდან წარმოიშობა, მისი სინთეზისთვის აუცილებელი ფერმენტი მხოლოდ ნორადრენერგულ ნეირონებშია ნანახი.

ნორეპინეფრინისა და ეპინეფრინისა შესწევთ α - და β -ადრენორეცეპტორებზე მოქმედების უნარი. არჩევენ ორი ტიპის α (α_1 , α_2) და სამი ტიპის β (β_1 , β_2 და β_3) ადრენერგულ რეცეპტორებს.

ჰისტამინი

ჰისტამინი, ძირითადად, ჰიპოთალამუსის ნეიროტრანსმიტერს წარმოადგენს. ჰისტამინის ფუნქციებიდან განსაკუთრებულადაა ზაზგასასმელი ალერგიულ რეაქციებში მისი მონაწილეობა. საკმეისა, რომ ალერგიული რეაქციებისას ან ქსოვილების დაზიანებისას ჰისტამინი პირდაპირ ხედება სისხლის ნაკადში და ამწვავებს პროცესს.

სეროტონინი

სეროტონინი ნანახია მოგრძო ტვინში, ხიდის უბნის ნაკერის ბირთვებში და ტვინის ლეროში.

ნანახია სეროტონინის რეცეპტორების სხვადასხვა ტიპი და, ამავე დროს, საკმაოდ დიდი რა-

ოდენობით. მათი უმრავლესობა მეტაბოტროპულია. ნეიროფარმაკოლოგიაში სეროტონინი გამოჩენულ ნეიროტრანსმიტერად ითვლება. ის მონაწილეობს მნიშვნელოვან ფუნქციებში. სხვაგვარად მას „ბედნიერების ჰორმონსაც“ უწოდებენ. მისი ნაკლებობისას თავს იჩენს დეპრესია, შფოთვა, ძილ-ღვიძილის და კვებასთან დაკავშირებული პრობლემები.

ანტიფსიქოზური პრეპარატების უმეტესობა, რომელიც მიმართულია დეპრესიის და შფოთვის წინააღმდეგ, სეროტონინის ნეირონულ გზებზე ახდენს ზემოქმედებას. მათ სამიზნეს სეროტონინ-ერგული რეცეპტორები წარმოადგენს. ისინი იწვევენ სეროტონინის მსგავს ეფექტებს და ახდენენ მდგომარეობის დარეგულირებას.

მცირე მოლეკულური ზომის ნეიროტრანსმიტერების მოქმედება გაცილებით სწრაფია, ვიდრე ნეიროპეპტიდების. ნეიროპეპტიდები, ისევე როგორც ბიოგენური ამინები და სხვა მცირე მოლეკულური ზომის ნეიროტრანსმიტერები გრადუალურად მოქმედებენ და მოქმედების მიმდინარეობას უწყობენ ხელს.

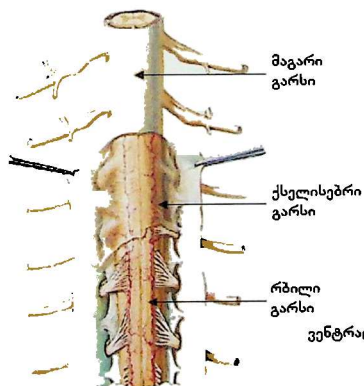
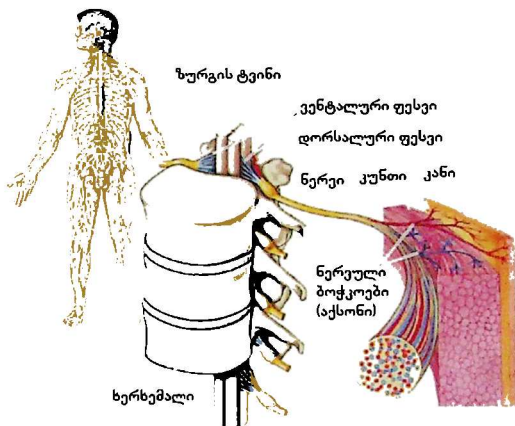
თავი 7. ზურგის ტვინი რეზლექსი

ცენტრალურ და პერიფერიულ ნერვულ სისტემას ფუნქციები მკაცრად აქვთ გადანაწილებული. ცნს-ის ფუნქციას წარმოადგენს ინფორმაციის მიღება და გადაშუაება, ამ ინფორმაციის ანალიზი და საპასუხო ინფორმაციის გენერირება. მისგან განსხვავებით, პერიფერიული ნერვული სისტემის ფუნქცია მხოლოდ ინფორმაციის გატარებაა.

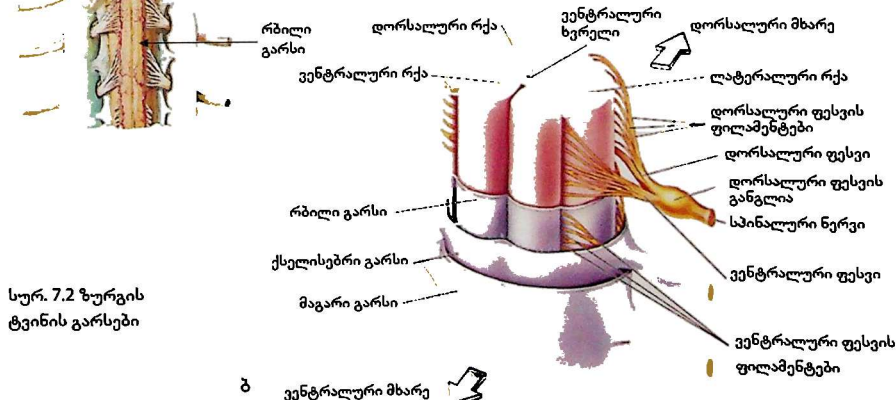
უკვე აღინიშნა, რომ ცენტრალური ნერვული სისტემა ანატომიურადაც და ფუნქციურადაც იყოფა ორ ნაწილად: თავის ტვინი და ზურგის ტვინი.

ზურგის ტვინი მოთავსებულია ხერხემლის არხში (სურ. 7.1).

სურ. 7.1 ხერხემლის არხში მოთავსებული ზურგის ტვინი და მისგან გამომავალი სომატური ნერვი. წითელი ფერით აღნიშნულია აფერენტული – სენსორული, ხოლო ლურჯი ფერით – ეფერენტული – მოტორული ბოჭკოები.



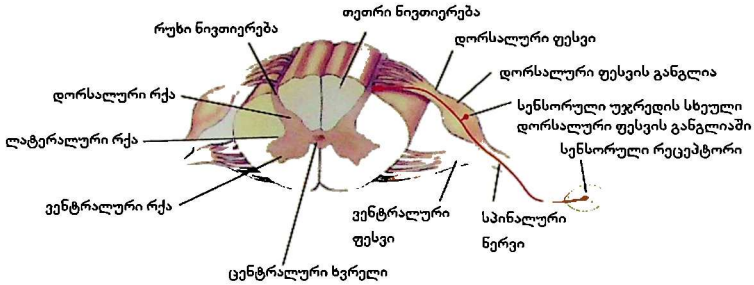
ზრდასრული ადამიანის, ისევე, როგორც სხვა ხერხემლიანი ცხოველების, ზურგის ტვინს აქვს სეგმენტური აგებულება. სულ 31 სეგმენტია, აქედან – 8 კისრის, 12 გულმკერდის, 5 წელის, 5 გავის და 1 კუდუსუნის. ზურგის ტვინი დაფარულია სამი გარსით: რბილი გარსი, რომელიც უშუალოდ აკრავს ზურგის ტვინს, ქსელივბრი გარსი და მაგარი გარსი (სურ. 7.2). მაგარი გარსით დაფარულია, ასევე, თავისა და ზურგის ტვინიდან გამომავალი ნერვები.



სურ. 7.2 ზურგის ტვინის გარსები

ბ ცენტრალური მხარე

განივი ზურგის ტვინის ნივთიერებას უჭირავს ცენტრალური მდებარეობა, მისი ფორმა ლათინურ H-ს ჰგავს, შუაში კი ხერელია.



სურ. 7.3 ზურგის ტვინის განივი განაკვეთის სქემატური გამოსახულება

რუხი ნივთიერება შეიცავს ნეირონთა სხეულებს, დენდრიტებს, ბოჭკოებს, გლიურ უჯრედებს და კაპილარებს. ზურგის ტვინის შემადგენელი ნეირონების ნაწილი გაფანტულია რუხ ნივთიერებაში, ნაწილი კი ქმნის სხვადასხვა სიდიდის უჯრედულ გროვებს ანუ ბირთვებს.

რუხ ნივთიერებას აქვს სამი სხვადასხვა ფორმის ნაწილი, რომელსაც რქებს უწოდებენ. ესენია დორსალური, ვენტრალური და ლატერალური რქები. ზურგის ტვინის მთელ სიგრძეზე ეს ნაწილები ქმნიან სვეტებს.

რუხ ნივთიერებაში ფუნქციის მიხედვით ორი ტიპის ნეირონია მოთავსებული – შუამდებარე და მამოძრავებელი ანუ მოტონეირონი. შუამდებარე ნეირონების სხეულები მოთავსებულია დორსალურ რქაში, ხოლო მამოძრავებელი ნეირონების სხეულები – ვენტრალურ და ლატერალურ რქებში.

თეთრი ნივთიერება შედგება სხვადასხვა სიგრძის მიელინინი და უმიელინო ნერვული ბოჭკოებისგან. ისინი ზურგის ტვინის ყოველ სეგმენტში ერთიანდებიან და ორივე მხარეს, გამოდიან დორსალური და ვენტრალური ფილაგენტების სახით, რომლებიც, თავის მხრივ, იკრიბება და ერთიანდება დორსალურ და ვენტრალურ ფესვებში (სურ. 7.3; 7.4).

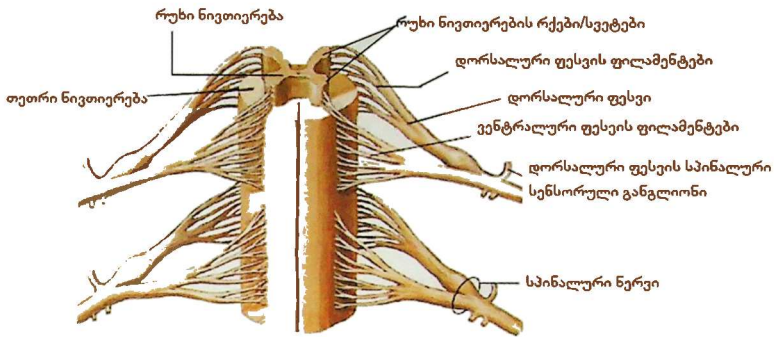
დორსალურ ფესვში გადის ცნს-ს აფერენტები, ანუ ის აქსონები, რომლებიც პერიფერიაზე მიღებულ ინფორმაციას ატარებენ ზურგის ტვინისკენ. ამიტომაც, იმ ნეირონებს, რომელთაც ეს აქსონები ეკუთვნის, მგრძნობიარე ანუ სენსორულ ნეირონებს უწოდებენ, ხოლო თვით ამ აქსონებს – სენსორულ ნერვულ ბოჭკოებს. აღსანიშნავია, რომ სენსორული ნეირონების სხეულები ზურგის ტვინის გარეთ, დორსალური ფესვის შემადგენლობაში არსებულ სპინალურ სენსორულ განგლიაშია მოთავსებული. სტრუქტურული ტიპის მიხედვით სენსორული ნეირონები ფსევდონიპოლარულია – სხეული სპინალურ სენსორულ განგლიონშია, აქსონის ერთი ნაწილი პერიფერიისკენაა მიმართული, ხოლო მეორე ნაწილი შედის ზურგის ტვინში.

ვენტრალურ ფესვში მოთავსებული აქსონები ცნს-ის ეფერენტებს წარმოადგენენ. ისინი ნერვულ იმპულსებს ატარებენ ზურგის ტვინიდან პერიფერიაზე და სათანადო კუნთების ამოქმედებას იწვევენ. ამიტომაც, მათ მამოძრავებელ ანუ მოტორულ ნერვულ ბოჭკოებს უწოდებენ.

ვენტრალური და დორსალური ფესვები, ხერხემლის არხიდან გამოსვლის შემდეგ, სპინალურ კვანძებთან ახლოს ერთდებიან და შერეული ნერვების სახით მიემართებიან პერიფერიაზე (კანი, კუნთი, სახსარი) (სურ. 7.3; 7.4)

თეთრ ნივთიერებაში ბოჭკოები ქმნიან თავის ტვინიდან ჩამოშვალ და ზურგის ტვინიდან ამაველ გზებს.

სხვადასხვა სეგმენტის ნეირონების დამაკავშირებელ ბოჭკოებს/გზებს პროპრიოსპინალურ გზებს უწოდებენ.



სურ. 7.4 ზურგის ტვინის სეგმენტური აგებულება

რეფლექსი

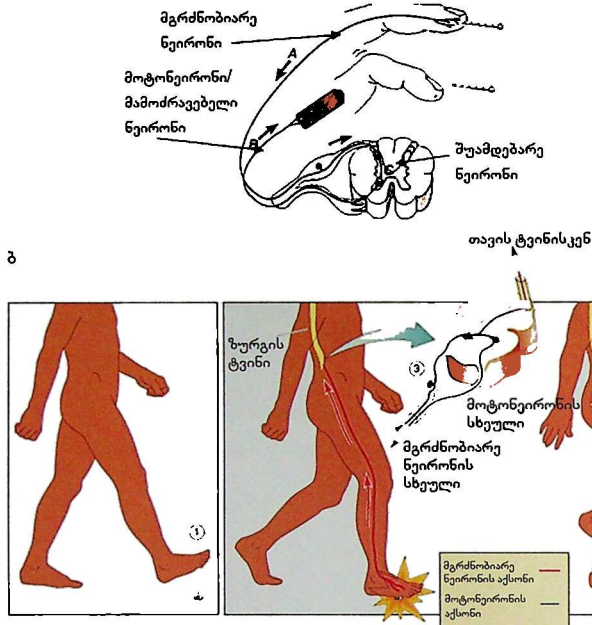
ცენტრალური ნერვული სისტემის ამოქმედებას, უპირველეს ყოვლისა, იწვევს ის ნერვული იმპულსები, რომლებიც ორგანიზმის გარეგანი თუ შინაგანი გაღიზიანების შედეგად აღმოცენდება და პერიფერიული ნერვების გზით ზურგის ან თავის ტვინს მიაღწევს. გარეგან გაღიზიანებას ეკუთვნის კანის გაღიზიანება შეხებით, წნევით, დაზიანებით, ტემპერატურით, თვალის გაღიზიანება სინათლის სხივით, ყურის გაღიზიანება ბგერით და სხვა. შინაგან ფაქტორებს მიეკუთვნება სისხლძარღვთა კედლის გაღიზიანება სისხლის წნევის მომატების შედეგად, საჭმლის მომნელებელი მილის გაღიზიანება საკვებით და სხვა. გარეგან და შინაგან გაღიზიანებაზე ორგანიზმის საპასუხო რეაქცია მუდამ ერთნაირი არაა და დამოკიდებულია გაღიზიანების რაობასა და ინტენსივობაზე. ზოგ გაღიზიანებას ერთი რომელიმე ორგანოს ამოქმედება მოჰყვება, ზოგ კი – რამდენიმესი.

ცენტრალური ნერვული სისტემის რეაქციას, რომელიც გარეგანი ან შინაგანი გაღიზიანების საპასუხოდ აღმოცენდება და ერთი ან რამდენიმე ორგანოს ამოქმედებით გამოვლინდება, რეფლექსი ეწოდება.

სიტყვა „რეფლექსი“ „არეკელას“ ნიშნავს. როგორც სინათლის სხივი აირეკლება სარკიდან, ისე ტვინში მისული აგზნება „აირეკლება“ საპასუხო რეაქციის გამოსაწვევად. რეფლექსური მოქმედების პრინციპი პირველად აღწერა ფრანგმა მეცნიერმა რენე დეკარტმა მე-17 საუკუნეში, ხოლო ტერმინი „რეფლექსი“ შემოიღო ჩეხმა ფიზიოლოგმა ირჟი პროხასკამ (1749-1820).

რეფლექსური რეაქცია რეალიზდება რეფლექსურ რკალში (სურ. 7.5 ა,ბ). ნერვული ელემენტებისაგან შექმნილ ჯაჭვს, რომელსაც ნერვული იმპულსი გაივლის რეფლექსის რეალიზაციის დროს, რეფლექსურ რკალს უწოდებენ.

რეფლექსური რკალი შედგება სამი კომპონენტისგან: მგრძნობიარე ნეირონი, შუამდებარე ნეირონი და მოტორეორნი.



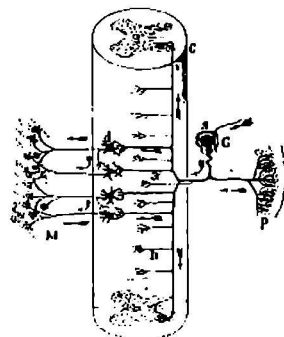
სურ. 7.5 ა. უმარტივესი რეფლექსური რკალი. ბ. ① ადამიანი ფეხს ადგამს ჭიკარტზე. ② ჭიკარტი აზიანებს კანს და ეს სიგნალი აფერენტული ბოჭკოს საშუალებით მიიღწევს ზურგის ტვინს (წითელი ისარი). ③ ზურგის ტვინში ეს ინფორმაცია გადაეცემა შუამდგომარე ნეირონებს, რომელთა ნაწილი ბოჭკოებს აგზავნის თავის ტვინში, სადაც ხდება ტკივილის აღქმა. შუამდგომარე ნეირონების მეორე ნაწილი კი სინაპსით უკავშირდება მოტონეირონებს, რომლებიც ინფორმაციას აგზავნიან კუნთამდე (ლურჯი ისარი). ④ მოტორული ბრძანება იწვევს კუნთის შეკუმშვას და ფეხის მოცილებას დაზიანების ადგილიდან.

გალიზიანებიდან რეფლექსური რეაქციის გამოვლენამდე აგზნებამ უნდა გაიაროს რეფლექსური რკალი. ეს გარკვეულ დროს საჭიროებს, რომელსაც ფარულ ანუ ლატენცურ პერიოდს უწოდებენ. ლატენცური პერიოდი სხვადასხვა რეფლექსისთვის სხვადასხვაა და იგი დამოკიდებულია რეფლექსური რკალის სიგრძეზე, გალიზიანების ინტენსივობასა და რკალის შემადგენელი ნეირონების ფუნქციურ მდგომარეობაზე.

თუკი ნერვული ქსოვილის აგზნებადობის ხარისხი მაღალია, მაშინ გალიზიანების ამპლიტუდის ზრდასთან ერთად იზრდება რეფლექსური რეაქციის ინტენსივობა. ამ მოვლენას რეფლექსის გრადაციას უწოდებენ.

მარტივი რეფლექსის სუფთა სახით გამოწვევა შეუძლებელია. ამის მიზეზი კი არის ის გარემოება, რომ სათანადო რეფლექსური რკალი სხვა რეფლექსურ რკალს ააგზნებს და შესაძლოა მან მთელი ზურგის ტვინი მოიცვას. ასე რომ, სუსტი გალიზიანებაც კი შედარებით რთულ რეფლექსს. გალიზიანების გაძლიერების საპასუხოდ იზრდება რეფლექსის სიროულმეც.

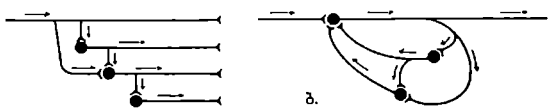
ცნს-ში აგზნების პროცესის გაერცელებას ერთი რომელიმე უბნიდან მეორეზე აგზნების ირადიაციას უწოდებენ. ის განპირობებულია ცნს-ში არსებული მგრძნობიარე ნეირონების



სურ. 7.6 კოლატერალთა სისტემა

კოლატერალთა სისტემის არსებობით: ზურგის ტვინში შემაჯალი მგრძნობიარე ნეირონები ზურგის ტვინის მთელ სიგრძეზე იძლევიან განშტოებებს ანუ კოლატერალებს, რითაც ისინი აკავშირებენ ზურგის და თავის ტვინის რეფლექსურ რკალებს ერთმანეთთან და იქმნება მორფოლოგიური საფუძველი აგზნების ფართო გავრცელებისთვის (სურ. 7.6).

ძლიერი აფერენტული გალიზიანების შეწყვეტის შემდეგ, არცთუ იშვიათად, ადგილი აქვს რეფლექსური რეაქციის გაგრძელებას დროში, ანუ რეფლექსების შემდეგმოქმედებას. მაგ. კუნთის აფერენტული გალიზიანების შეწყვეტის შემდეგ კუნთის შეკუმშვა მაინც ხდება. ამას საფუძვლად უდევს მრავლობითი ჯაჭვური კავშირები და შეკრული ნეირონული წრეები, რომლებიც რაფაელ ლორენტე დე ნოს მიერ იქნა ნანახი XX საუკუნის პირველ ნახევარში (სურ. 7.7).



სურ. 7.7. ა. მრავლობითი ჯაჭვური კავშირები. ბ. შეკრული ნეირონული წრეები.

თავი 8. ავტონომიური ნერვული სისტემა

როგორც მე-2 თავში იქნა განხილული, ნერვული სისტემა იყოფა ცენტრალურ და პერიფერიულ ნაწილებად. პნს წარმოადგენს ცნს-დან გამომავალ ნერვებს, რომლის ერთი ნაწილი ავტონომიური ნერვული სისტემა (ანს).

ანს-ის სახელწოდება წარმოსდგება ბერძნული სიტყვისგან „Autonomia“, რაც დამოუკიდებლობას ნიშნავს. სომატურისგან განსხვავებით, ის უნებლიედ, ავტომატურად, ჩვენი ცნობიერებისგან დამოუკიდებლად არეგულირებს შინაგანი ორგანოების მუშაობას. მას გააჩნია ქსოვილისა და ორგანოს მართვის კომპლექსური ფუნქცია. ანს წარმოადგენს პერიფერიული ეფერენტული გზების ერთიანობას, რომლებიც გაივლიან ცნს-ის გარეთ მდებარე ნერვულ კვანძებს და საბოლოოდ უკავშირდებიან ეფექტორულ ორგანოებს.

ანს აინერვირებს და არეგულირებს სეკრეტორულ ჯირკვლებს (სანერწყვე, საოფლე, საცრემლე და სხვა), გულის კუნთს და სისხლძარღვებს (სისხლის წნევის კონტროლის მიზნით), ბრონქებს (სისხლში ჟანგბადის შემცველობის დარეგულირების მიზნით), ღვიძლს, საჭმლის მომნელებელ სისტემას, პანკრეასს და, შესაბამისად, მათ მომწოდებელ და მეტაბოლურ ფუნქციებს, თირკმელს, შარდის ბუშტს, მსხვილ და სწორ ნაწლავებს. იგი, ასევე, უზრუნველყოფს როლს თამაშობს გენიტალიების და რეპროდუქციული ორგანოების მოქმედებაზე სექსუალური ქცევის პროცესში (სურ.8.1; სურ.8.2)

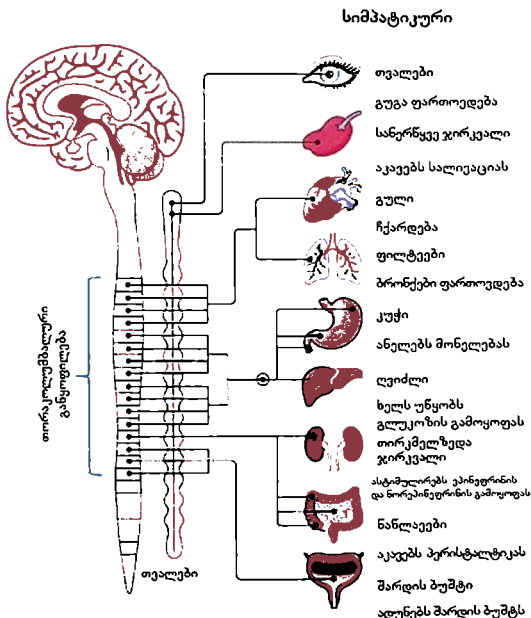
ცოცხალ ორგანიზმში ცალკეული ორგანოების, ქსოვილების და უჯრედების ნორმალური ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია ისეთი მახასიათებლების მეტნაკლებად ერთ დონეზე შენარჩუნება, როგორიცაა ტემპერატურა, ოსმოსური წნევა, აქტორი რეაქცია (PH) და სხვა. სწორედ ანს იღებს თავის თავზე ამ ფუნქციას, რასაც პარავადის უნივერსიტეტის პროფესორმა ვალტერ კენინმა (1871-1945) ავტონომიური ნერვული სისტემის პომეოსტაზური ფუნქცია უწოდა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ანს ნერვულ კონტროლს ახორციელებს ორგანიზმის შინაგან გარემოზე ანუ პომეოსტაზზე.

ავტონომიური ნერვული სისტემის უკეთეს გასაგებად ის უნდა განვიხილოთ ორ სხვადასხვა – ანატომიურ და ფუნქციურ ქრილში.

ანს-ში ანატომიურად სამ განყოფილებას არჩევენ: კრანიალურს (თავის ტვინის ნაწილი – ტვინის ღერო), თორაკოლუმბალურს (ზურგის ტვინის გულმკერდის პირველი სეგმენტიდან წელის მე-4 სეგმენტამდე) და საკრალურს (ზურგის ტვინის გავის განყოფილება) (სურ.8.1, სურ.8.2). ამასთან, აღსანიშნავია, რომ არცერთი (!) ნეირონი არ იღებს სათავეს ზურგის ტვინის ცერვიკალური (კისრის) განყოფილებიდან.

ანს-ის ნეირონები ფუნქციურად ორ სხვადასხვა სისტემას ქმნიან: სიმპატიკურს და პარასიმპატიკურს. სიმპატიკური სისტემა სათავეს იღებს ცნს-ის თორაკოლუმბალური (სურ.8.1), ხოლო პარასიმპატიკური – კრანიალური და საკრალური განყოფილებებიდან (სურ.8.2).

სურ. 8.1. ავტონომიური ნერვული სისტემა – შინაგანი ორგანოების სიმპატიკური ინერვაცია.

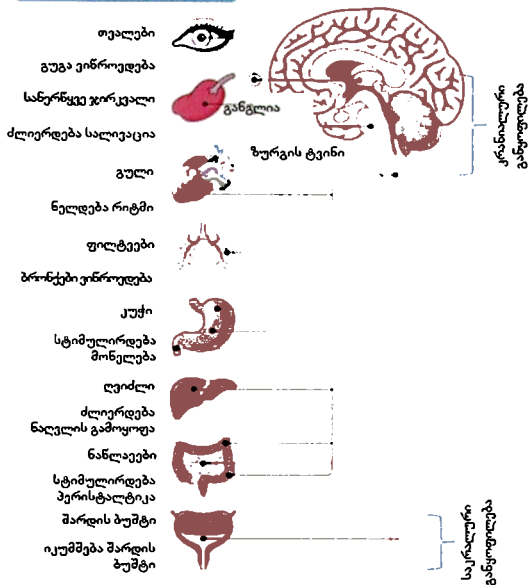


პარასიმპატიკური

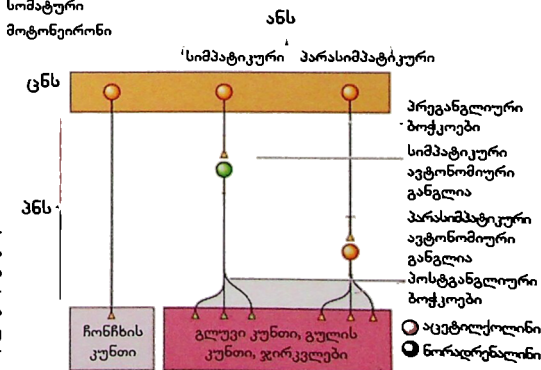
შინაგანი ორგანოების უმრავლესობა ორივე ტიპის ავტონომიურ ნერვს იღებს; ამასთან, მათზე ამ ორი ნერვის ფიზიოლოგიური მოქმედება თითქმის ყოველთვის ერთმანეთის ანტაგონისტური ანუ საინანაღმდეგო ხასიათისაა. სიმპატიკური ნერვული სისტემა უფრო აქტიურია კრინისული სიტუაციების დროს და ორგანიზმის ინტენსიურ აქტივობას უწყობს ხელს, ხოლო პარასიმპატიკური – პირიქით, ანელებს ბევრ ფუნქციას და ძირითადად ისეთი პროცესების რეგულირებას ახდენს, როგორიცაა საჭმლის მონელება, ზრდა, იმუნური პასუხები და ენერგიის დაზოგვა. უმეტეს შემთხვევებში, მათი მოქმედება რეციპროკულია როცა ერთის მოქმედება მოჭარბებულია, მეორის მოქმედება უფრო შენელებულია და პირიქით. სიმპატიკური სისტემა ორგანიზმის მცისიერ მობილიზებას ახდენს სიტუაციაში ადაპტაციისათვის, მაშინ, როცა პარასიმპატიკური ნერვული სისტემა მუშაობს ნელა, ხანგრძლივი დადებითი ეფექტისთვის. ანს-ის ამ ორი განყოფილების რეციპროკულ დამოკიდებულებას კი ცნს არეგულირებს.

სომატური ნერვული გზა მნიშვნელოვნად განსხვავდება ავტონომიურისგან. მართალია, ორივე მათგანი სათავეს ცნს-დან იღებს, მაგრამ სომატური პერიფერიული სისტემა მონოსინაპსურ გზებითაა წარმოდგენილი, ანუ შეიცავს ერთ ნეირონს, რომელიც უშუალოდ მთავრდება ეფექტორულ ორგანოზე. ავტონომიური ბოჭკოები, ერთი გამონაკლისის გარდა, არასდროს უკავშირდებიან ეფექტორულ ორგანოს პირდაპირ. ისინი ყოველთვის სინაპსით გადაერთევიან მეორე ნეირონზე, რომლის აქსონიც უშუალოდ უკავშირდება ეფექტორულ ორგანოს (ჩონჩხის კუნთებს, კანს, სახსრებს) (სურ.8.3), ანუ ანს-ის გზები დისინაპსურია. მეორე ნეირონები სხეულები თავს იყრის ცნს-ის გარეთ განლაგებულ კვანძებში – ავტონომიური განგლიოზში. ამ გარემოების გათვალისწინებით, პირველ ნეირონს, რომელსი სხეულიც ცნს-შია მოთავსებული, უწოდებენ პრე-განგლიურს, ხოლო მეორეს, რომლის სხეულიც უშუალოდ ამ განგლიოზშია მოთავსებული – პოსტგანგლიურს.

სურ.8.3 სომატური და ავტონომიური ნერვული სისტემის ნეირონების განაწილება ცნს-ში და ანს-ში. სომატური პერიფერიული ნეირონი პირდაპირ უკავშირდება ჩონჩხის კუნთს, სახსარს და კანს. ვიდრე ანს-ის ნეირონები სამიზნეს მიაღწევენ, მაშამდე გადართევიან მეორე ნეირონზე, რომელთა სხეულებიც ავტონომიურ განგლიანშია მოთავსებული.



სურ. 8.2 ავტონომიური ნერვული სისტემა – შინაგანი ორგანოების პარასიმპატიკური ინერვაცია.



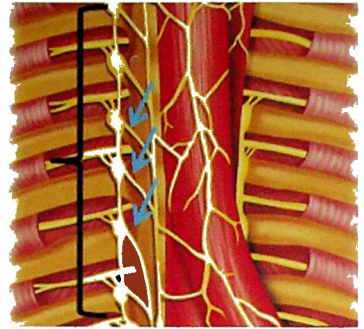
სიმპატიკური სისტემა

სიმპატიკურ ნერვულ სისტემაში ავტონომიური განგლიების უმეტესობა ხერხემლის პარალელურადაა განლაგებული ორმხრივად და პარავერტებრალური („ვერტებრა“ ხერხემალი) კვანძების სახელითაა ცნობილი. თითოეული ასეთი კვანძი მეორეს უკავშირდება ნერვული ბოჭკოებით და ქმნიან სიმპატიკურ წველს (სურ.8.1, სურ.8.4), რომელიც წყვილ წარმონაქმნს წარმოადგენს ქალას ფუძიდან გავის განყოფილებამდე.

სიმპატიკური პრეგანგლიური ბოჭკოების მხოლოდ მცირე ნაწილი პარავერტებრალურ კვანძებს გაივლის მეორე ნეირონზე გადართვის გარეშე, ტოვებს მას და მთავრდება ხერხემლის წინ განლაგებულ პრევერტებრალურ კვანძებში, რომლებიც, როგორც წესი, არა წყვილი, არამედ კენტი წარმონაქმნებია. მათ სხვაგვარად კოლატერალურ განგლიებს უწოდებენ.

სიმპატიკური წველის ხერხემალთან ახლოს მდებარეობა განაპირობებს იმ ფაქტს, რომ სიმპატიკურ განყოფილებაში პრეგანგლიური ნეირონები მოკლეა, ხოლო პოსტგანგლიური – გრძელი.

სიმპატიკური წველი



სურ. 8.4 ცისფერი ისარი აჩვენებს ხერხემლის პარალელურად განლაგებული სიმპატიკური სისტემის პარავერტებრალურ კვანძების, რომლებიც ქმნიან სიმპატიკურ წველს.

პარასიმპატიკური სისტემა

პარასიმპატიკური სისტემის პრეგანგლიური ნეირონები მოთავსებულია თავის ტვინის ღეროში და ზურგის ტვინის გავის განყოფილებაში. ცნს-დან გამოსვლის შემდეგ მათი აქსონებიც პოსტგანგლიურ ნეირონებზე გადაერთვება ავტონომიურ განგლიაში, რომლებიც, განსხვავებით სიმპატიკური სისტემისაგან, განლაგებულია არა ხერხემლის ახლო მიდამოებში, არამედ ეფექტორული ორგანოს სიახლოვეს – ტერმინალურ განგლიაში, ან უშუალოდ ეფექტორული ორგანოს კედელში – ინტრამურალურ კვანძებში.

აღსანიშნავია, რომ სიმპატიკური პოსტგანგლიური ნეირონების სხეულები უხედაა დატოტვილი დენდრიტებით, პარასიმპატიკური პოსტგანგლიური ნეირონები კი ძალიან ცოტა დენდრიტს შეიცავენ, რაც გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ სიმპატიკურ პოსტგანგლიურ ერთ ნეირონს მრავალი პრეგანგლიური ნეირონი უკავშირდება, ხოლო პარასიმპატიკურ პოსტგანგლიურ ერთ ნეირონს – უმეტესად მხოლოდ ერთი, ან იშვიათად – რამდენიმე. ფიზიოლოგიური თვალსაზრისითაც, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სიმპატიკური ნერვული სისტემა უფრო სწრაფ მოქმედებასთანაა დაკავშირებული და ორგანიზმის სრულ და მყისიერ მობილიზებას ემსახურება, პარასიმპატიკური სისტემის მოქმედება კი დროშია განვლილი და ნელი პროცესია.

ცხრილში მოყვანილია სიმპატიკური და პარასიმპატიკური ანს-ის ურთიერთსაწინააღმდეგო მოქმედების რამდენიმე მაგალითი:

	სიმპატიკური	პარასიმპატიკური
გულის მოქმედება	ახშირებს და აძლიერებს	ასუსტებს
სისხლძარღვები	ავიწროვებს	აფართოებს ზოგიერთ ორგანოში
კუჭის წვენის გამოყოფა	ასუსტებს	აძლიერებს
თვალის გუგა	აფართოებს	ავიწროვებს

ცხრილი 8.1 სიმპატიკური და პარასიმპატიკური ანს-ის ეფექტები ერთსა და იმავე ორგანოზე

სიმპატიკური და პარასიმპატიკური სისტემების ანტაგონიზმი აბსოლუტური არაა! ზოგჯერ ადგილი აქვს სინერგიზმს, ანუ ეს ორი სისტემა ერთი მიმართულებით მოქმედებს. მაგალითად შეიძლება დასახელოდეს საშარდე სისტემაზე ამ ორი სისტემის გავლენა. მოშარდვის პროცესი საკმაოდ რთული მექანიზმით ხასიათდება. მის რეგულაციაში ჩართულია მთლიანი ნერვული სისტემა. შარდსადენის გარეთა სფინქტერის მოქმედება რეგულირდება სიმპატიკური ნერვული სისტემის (სნს) მოქმედებით, შიდა სფინქტერის – სიმპატიკური და შარდის განდენის კუნთის (დეტრუზორი) კი – პარასიმპატიკური სისტემის გავლენით. როცა შარდის ბუშტი ივსება, სიგნალი მიდის ცნს-ში, იქიდან კი ჯერ სნს-ის გავლენით, რომელიც ჩვენს ნებას ემორჩილება, იხსნება გარეთა სფინქტერი, შემდეგ კი უკვე სიმპატიკური სისტემის გავლენით უნებლიედ ხდება შიდა სფინქტერისა და პარასიმპატიკურის გავლენით – დეტრუზორის რელაქსაცია, რასაც თან სდევს შარდის გამოდენა. ანუ სიმპატიკური და პარასიმპატიკური ნერვული სისტემის მოქმედება ერთმანეთს აესხება.

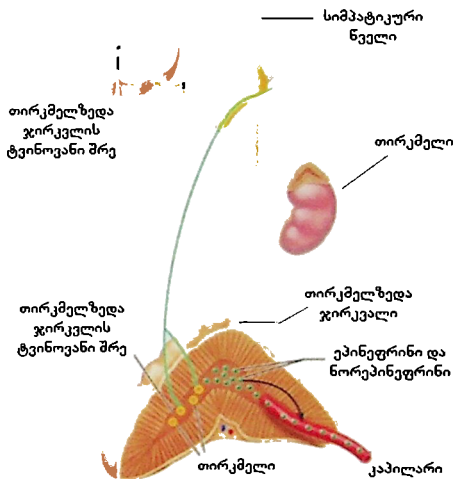
ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ თითქმის ყველა ორგანო ღებულობს ორივე ტიპის ინერვაციას. აღმოჩნდა, რომ არსებობს ორგანოები, რომლებიც ღებულობენ მხოლოდ ერთი ტიპის ინერვაციას. თირკმელზედა ჯირკვლის ტვინოვანი შრე, საოფლე ჯირკვლები, თმის ფოლიკულებზე მიმაგრებული გლუვი კუნთები (რომელთა შეკუმშვითაც „ბატის კანი“ მიიღება) და არტერიული სისხლძარღვების უმეტესობა ღებულობენ მხოლოდ სიმპატიკურ ინერვაციას, ხოლო საცრემლე ჯირკვლები მხოლოდ პარასიმპატიკურს. განსაკუთრებით ხაზგასასმელია ის ფაქტიც, რომ თირკმელზედა ჯირკვლის „ტვინოვან შრეს“ სიმპატიკური ბოჭყოვანი გამონაკლისის სახით პირდაპირ, მეორე ნივრთზე გადართვის გარეშე უკავშირდებიან (სურ.5), რაც საგარაუდოდ, გამოწვეული რეაქციების სისწრაფეს უზრუნველყოფს.

ღებულობს რა სიმპატიკურ ინერვაციას, თირკმელზედა ჯირკვლის „ტვინოვანი შრე“ თავად თამაშობს დიდ როლს სიმპატიკური რეაქციების გამოწვევაში. კერძოდ, ის სისხლში გადაისვრის ადრენალინსა და ნორადრენალინს (იგივე ეპინეფრინსა და ნორეპინეფრინს), რის შედეგადაც გამოიწვევა სიმპატიკური რეაქციების მთელი რიგი – გულისცემის სისხლის გაძლიერება, ოფლის გამოყოფა, სისხლში გლუკოზის დონის მომატება, კუნთების გაძლიერებული მომარაგება სისხლით, კანის შენითლება და სხვა.

აგზნების გადაცემა ავტონომიური სისტემის სინაპსებში იგივე მექანიზმით ხორციელდება, როგორც სიმპატიკურში. კერძოდ, აგზნებისას პრესინაპსური დაბოლოებიდან გამოიყოფა ფიზიოლოგიურად აქტიური ნივთიერება – მედიატორი ანუ ტრანსმიტერი, რომელიც ჩაიღვრება სინაპსურ ნაპრალებში. ის აქ უკავშირდება პოსტსინაპსური მემბრანის ქემორეცეპტორულ მოლეკულებს და იწვევს მემბრანის განვლადობის გაზრდას გარკვეული იონების მიმართ, რასაც მოჰყვება შესაბამისი პოსტსინაპსური პასუხები.

ავტონომიური ნერვული სისტემის მედიატორები / ტრანსმიტერები

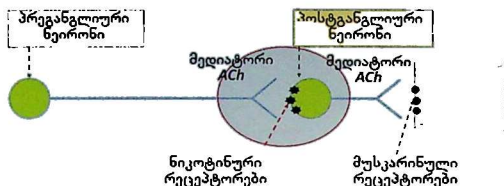
ავტონომიური ნერვული სისტემის ტრანსმიტერებს წარმოადგენს აცეტილქოლინი და ნორადრენალინი. ამასთან, აცეტილქოლინი წარმოადგენს პარასიმპატიკური სისტემის, როგორც პრე-, ისე პოსტგანგლიური ნივრთების მედიატორს (სურ.8.6). შესაბამისად ამ ნივრთებს ქოლინერგულს უწოდებენ. სიმპატიკურ სისტემაში კი აცეტილქოლინის მხოლოდ პრეგანგლიური



სურ. 8.5 თირკმელზედა ჯირკვლის ტვინოვანი შრის სიმპატიკური ინერვაცია

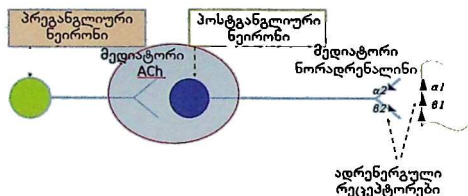
ნეირონები გამოყოფენ, ე.ი. ისინი ქოლინერგულია, ხოლო პოსტგანგლიურის ტრანსმიტერს, წარმოადგენს ნორადრენალინი და მათ ადრენერგული ნეირონები ეწოდებათ (სურ.8.7).

პარასიმპატიკური სისტემა



სურ. 8.6 პარასიმპატიკური ნერვული სისტემის პრე- და პოსტგანგლიური ნეირონების ურთიერთგანლაგება – სქემატური გამოსახულება.

სიმპატიკური სისტემა



სურ. 8.7 სიმპატიკური ნერვული სისტემის პრე- და პოსტგანგლიური ნეირონების ურთიერთგანლაგება – სქემატური გამოსახულება.

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ავტონომური ნერვული ბოჭკოს მოქმედების ეფექტები არა მარტო ტრანსმიტერზეა დამოკიდებული, არამედ პოსტსინაპსური მემბრანის რეცეპტორთა თავისებურებებზეც. ასე, მაგ. ქოლინერგული რეცეპტორები 2 ტიპისაა (სურ. 8.6): ნიკოტინური ანუ N-ქოლინორეცეპტორები, რომელიც მოთავსებულია პოსტგანგლიური ნეირონის სომაზე, და მუსკარინული ანუ M-ქოლინორეცეპტორები, რომელიც მოთავსებულია ეფექტორულ ორგანოში (სურ.8.6);

ორი ტიპისაა, ასევე, ადრენერგული რეცეპტორები – α და β ადრენორეცეპტორები (სურ.8.7), რომლებიც მოთავსებულია როგორც პოსტსინაპსურ, ისე პრესინაპსურ მემბრანაზე. პოსტსინაპსურ მემბრანაზე მოთავსებულია $\alpha 1$ და $\beta 1$ რეცეპტორები, ხოლო პრესინაპსურ მემბრანაზე – $\alpha 2$ და $\beta 2$ რეცეპტორები. პრესინაპსურ მემბრანაზე განლაგებულ $\alpha 2$ და $\beta 2$ ადრენორეცეპტორებს – აუტორეცეპტორებს უწოდებენ.

ზოგიერთ ორგანოში მხოლოდ ერთი ტიპის რეცეპტორია მოთავსებული – ან α ან β , ზოგ-ში კი – ორივე ერთად. მაგ. სისხლძარღვთა კედლები შეიცავს ორივე ტიპის ადრენორეცეპტორებს. ნორადრენალინის დაკავშირება α ადრენორეცეპტორებთან იწვევს არტერიოლების შევიწროვებას და წნევის მომატებას, ხოლო β რეცეპტორებთან მისი დაკავშირება – არტერიოლების გაფართოებას. გულის კუნთში და ბრონქებში მხოლოდ β ადრენორეცეპტორებს ვხვდებით. ნორადრენალინი ამ შემთხვევაში იწვევს ბრონქების გაფართოებას და გულისცემის სიხშირის მომატებას.

ავტონომიური ნარკული სისტემის ბოჭკოების ფუნქციური მახასიათებლები

ავტონომიური ნერვული სისტემის პერიფერიული ბოჭკოები თვისობრივად არ განსხვავდება სომატური ბოჭკოებისგან, თუმცა კი ფიზიოლოგიურ მახასიათებლებს შორის რაოდენობრივი განსხვავება შეიმჩნევა. კერძოდ, ავტონომიურ ბოჭკოებში სომატურთან შედარებით დაბალია, მაგ. აგზნებადობის ხარისხი და აგზნების გატარების სისწრაფე. ამასთან, ორივე მახასიათებელი, პრეგანგლიურ ნეირონებთან შედარებით, კიდევ უფრო დაბალია პოსტგანგლიურ ბოჭკოებში.

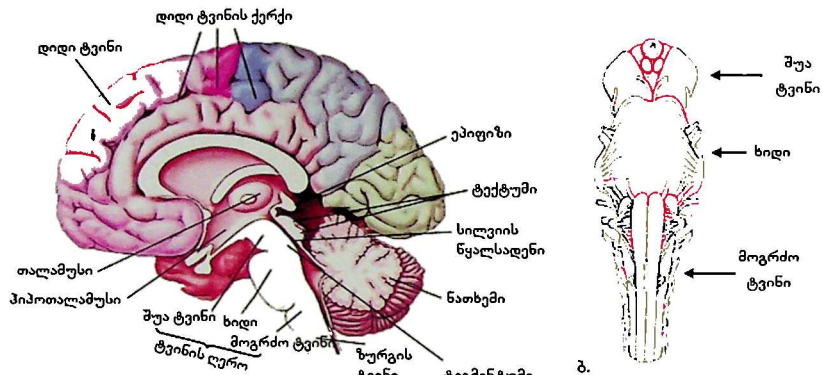
ავტონომიური სისტემის ტონური მოქმედება

ანს-ის ორივე განყოფილებას – სიმპატიკურსაც და პარასიმპატიკურსაც ახასიათებს **ტონური აქტივობა**, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათ სხვადასხვა ორგანოზე მუდმივი გავლენა აქვთ – ან აძლიერებენ ორგანოს მუშაობას, ან ასუსტებენ. მაგ. სიმპატიკური სისტემის ტონური მოქმედების გამო, ნორმალურ პირობებში სისხლძარღვები გარკვეული ხარისხით მუდმივად შევიწროებულია. პარასიმპატიკური სისტემის ტონური მოქმედების გამო კი გულის ავტომატური მოქმედება შედარებით ნელია.

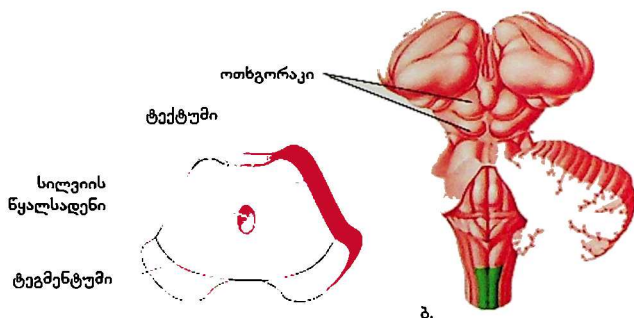
თავი 9. თავის ტვინის ღერო

თავის ტვინში არჩევენ შემდეგ მორფო-ფუნქციურ განყოფილებებს: ტვინის ღერო, ნათხები შუამდებარე ტვინი და დიდი ტვინი.

ტვინის ღერო, თავის მხრივ, სამი ნაწილისაგან შედგება: მოგრძო ტვინი, ხიდი და შუა ტვინი (სურ. 9.1).



სურ. 9.1 ა. თავის ტვინის სტრუქტურები. ბ. ტვინის ღერო, ვენტრალური ხედი

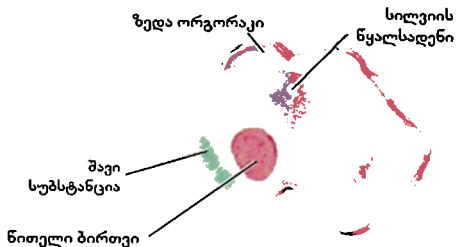


სურ. 9.2 ა. შუა ტვინის განივეთის სქემატური გამოსახულება ბ. მოგრძო ტვინის დორსალური ხედი.

ტვინის ღერო დიდი რაოდენობით შეიცავს ნერვულ უჯრედთა გროვებს, რომლებიც სხვადასხვა სასიცოცხლო ფუნქციას ემსახურება. მასთან არის დაკავშირებული ისეთი ფუნქციების რეგულირება, როგორიცაა სუნთქვა, სისხლის წნევა, გულის რიტმი, თვალის მოძრაობა.

ტვინის ღერო შუა ტვინის ზემოთ განლაგებულ სტრუქტურებს აკავშირებს ზურგის ტვინთან და პირიქით.

ტექტუმი შუა ტვინის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს. მას დორსალურად ფარავს ტექტუმი. მათ შორის სილვიის წყალსადენია, რომელიც თავის ტვინის მესამე და მეოთხე პარაკუტებს აკავშირებს ერთმანეთთან (სურ. 9.1 ა, 9.2 ა). ტექტუმზე ოთხი ბორცვია, რომელთაც ერთიანობაში ოთხგორაკს უწოდებენ (სურ. 9.2 ბ). ზედა ორი ცალკე მოიხსენიება, როგორც ზედა ორგორაკი, ხოლო ქვედა ორი – როგორც ქვედა ორგორაკი.



სურ. 9.3. შუა ტვინის ღრმა სტრუქტურების სქემა განივჭრილზე – ნითელი ბირთვი და შავი სუბსტანცია.

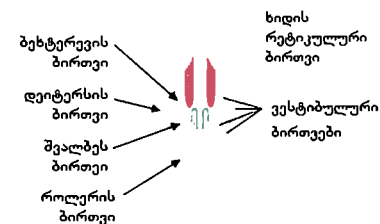
ზედა ორგორაკი აფერენტაციას იღებს თვალებიდან, ხოლო ეფერენტები თვალების კუნთების მოტონეირონებს უკავშირდება და, შესაბამისად, ზედა ორგორაკის ერთ-ერთ ფუნქციას თვალების მოძრაობის კონტროლი წარმოადგენს.

ქვედა ორგორაკი აფერენტაციას ყურიდან იღებს და მიღებულ აუდიტორულ ინფორმაციას თალამუსს გადასცემს.

ტემენტუმი ტვინის ყველაზე უფრო „ფერადი“ ნაწილია. ის შეიცავს ნითელ ბირთვს და შავ სუბსტანციას (სურ. 9.3). ორივე ეს სტრუქტურა ნებიითი მოძრაობების კონტროლში ჩართული.

ნითელი ბირთვი მოთავსებულია შუა ტვინში, ზედა ორგორაკის დონეზე. მას ტვინის ღეროს ე.წ. „მოტორულ“ ბირთვებს მიაკუთვნებენ. მისი აქსონები, ბირთვიდან გამოსვლისთანავე, გადადიან სანინალმდეგო მხარეზე და მიემართებიან ქვემოთ, ზურგის ტვინის შუამდებარე ნეირონებისკენ, რომლებიც, თავის მხრივ, სინაპსებით გადართვებიან მომხრელი კუნთების მოტონეირონებზე; შესაბამისად, ნითელი ბირთვი ემსახურება მომხრელი კუნთების შეკუმშვას.

შავი სუბსტანცია (სურ. 9.3) მოთავსებულია შუა ტვინში. შეიცავს მუქი ფერის პიგმენტს – მელანინს და აქვს მოშავო ფერი. სწორედ აქედან გამომდინარეობს მისი სახელწოდება. ამ უჯრედებში ხდება დოფამინის სინთეზი, ამიტომაც მათ დოფამინერგულ უჯრედებს უწოდებენ. შავი სუბსტანცია უმნიშვნელოვანეს როლს თამაშობს თვალების მოძრაობაში, კოორდინაციას უწევს თითების ზუსტ მოძრაობებს, ლეჭვის და ყლაპვის პროცესებს.



მოგრძო ტვინში, ხიდის საზღვარზე განლაგებულია ვესტიბულური ბირთვების ჯგუფი, რომელიც ოთხი ბირთვისგან შედგება: ზედა ანუ ბეზტერევის ბირთვი, ლატერალური ანუ დეიტრისის ბირთვი, მედიალური ანუ შვალბეს ბირთვი და ქვედა ანუ როლერის ბირთვი (სურ. 9.4). ამ ბირთვების ფუნქციას წარმოადგენს სივრცეში თავისა და ტანის მოძრაობის კონტროლი, რასაც ისინი ახორციელებენ ვესტიბულური რეცეპტორებიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე.

სურ. 9.4 ვესტიბულური ბირთვების განლაგება ტვინის ღეროში

ულ მოქმედებაში, პასუხისმგებელია დაძაბულობის და შვოთის ფიზიოლოგიურ რეაქციებზე.

ნაკერის ბირთვები სხვადასხვა ბირთვთა კომპლექსს წარმოადგენს, რომლებიც განლაგებულია ტვინის ღეროს შუა ხაზზე. მათ რეტკულურ ფორმაციას მიაკუთვნებენ. ნაკერის ბირთვების მედიატორს სეროტონინი წარმოადგენს. მათ სეროტონინერგული უჯრედები ეწოდებათ. ნაკერის ბირთვები, ისევე, როგორც ცისფერი ლაქა, ჩართულია თავის ტვინის ინტეგრაციულ მოქმედებაში და ძილ-ღვიძილის ციკლის რეგულაციაში.

ხიდი მოთავსებულია მოგრძო ტვინისა და შუა ტვინის შორის. მასზე გადის ზურგის ტვინიდან ამაველი და თავის ტვინიდან ჩამომავალი სენსორული და მოტორული ბოჭკოები, ასევე, ნათხების

ორი პემისფეროს დამაკავშირებელი ბოჭკოები. აქ იღებს სათავეს 12 წყვილი კრანიალური ნერვიდან ოთხი.

მოგრძო ტვინისა და ხიდშია გადანაწილებული ბირთვები, რომლებიც ქმნიან სუნთქვის ცენტრს.

რეტოკულური ფორმაცია

ტვინის ღეროს ცენტრალურ ნაწილში მთელს სიგრძეზე გასდევს რეტოკულური ფორმაცია. ის სხვადასხვა ფორმისა და ზომის ნეირონებითაა წარმოდგენილი, რომელთა სხეულები არ ქმნიან მკვეთრად შემოსაზღვრულ გროვებს. ეს უჯრედები მეტნაკლებად თანაბრად არიან განაწილებულები მთელ სტრუქტურაში. მათი აქსონები და დენდრიტები ისეა ერთმანეთში გადახლართული, რომ ქმნიან ერთგვარ ბადისებრ სტრუქტურას, ამიტომაც მას ბადებრივ ანუ რეტოკულურ ფორმაციას უწოდებენ.



ბ.



სურ. 9.5 ა. რეტოკულური ფორმაცია ტვინის ღეროში. ბ. რეტოკულური ფორმაციის ბირთვები

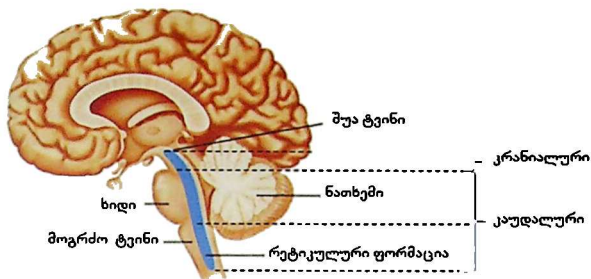
რეტოკულური ფორმაცია აკონტროლებს ისეთ სასიცოცხლო პროცესებს, როგორიცაა სუნთქვა, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ფუნქციონირება, საჭმლის მონელება და ძილი.

რეტოკულურ ფორმაციას არ გააჩნია საკუთარი რეცეპტორული ფარგალი, ამიტომაც მისი გააქტივება არ ხდება მხოლოდ რომელიმე, ერთი მოდალობის გამღიზიანებლით. თავის ტვინის ზედა სტრუქტურებისკენ ამავალი ნებისმიერი გზა კოლატერალურად იძლევა რეტოკულური ფორმაციის დონეზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ ნებისმიერი ტიპის აგზნება – იქნება ეს მექანიკური, თერმული, მხედველობითი, ქიმიური თუ სხვა – ამ სტრუქტურის გააქტივებასაც იწვევს.

რეტოკულური ფორმაციიდან გამომავალი ბოჭკოები ვრცელდება, როგორც აღმავალი (თავის ტვინის უფრო მაღლა მდებარე განყოფილებებისკენ), ასევე დაღმავალი მიმართულებით (ზურგის ტვინისკენ). ისინი ცნს-ის სხვადასხვა უბანს უკავშირდება და ზოგად ზემოქმედებას ახდენს მათზე. ამიტომაც რეტოკულურ ფორმაციას არასპეციფიურ დიფუზურ სისტემას მიაკუთვნებენ.

ტვინის ღეროს განყოფილებების შესაბამისად, რეტოკულური ფორმაცია პირობითად შეიძლება სამ ნაწილად დაყოს – მოგრძო ტვინის, ხიდის და შუა ტვინის (სურ. 9.6). ფუნქციურად, შუა ტვინის რეტოკულურ ფორმაციას ხიდის და მოგრძო ტვინის ფორმაციისგან განსხვავებული დატვირთვა გააჩნია. შესაბამისად, რეტოკულურ ფორმაციაში ორ ფუნქციურ განყოფილებას არჩევენ: კაუდალურს ანუ ქვედა ნაწილს, რომელიც მოიცავს მოგრძო ტვინის და ხიდის რეტოკულურ ფორმაციას და კრანიალურს ანუ ზედა ნაწილს, რომელიც მოიცავს შუა ტვინის რეტოკულურ ფორმაციას (სურ. 9.6).

ექსპერიმენტულად პირველად ამერიკელმა მეცნიერმა ჰორაც მეგუნიმ აჩვენა, რომ კაუდალური ნაწილის რიტმული გაღიზიანება იწვევს სპინალური რეფლექსების ზოგად შეკავებას – კავდება როგორც მომხრელი, ისე გამშლელი კუნთების მოქმედება. სანაწილმდევო ეფექტი მიიღება კრანიალური (ზედა) ნაწილის რიტმული გაღიზიანებით – ამ შემთხვევაში, პირიქით, ადგილი აქვს სპინალური რეფლექსების ზოგად გააღვივებას.



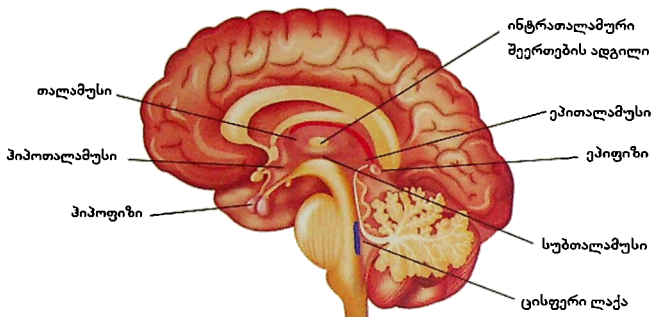
სურ. 9.6 რეტიკულური ფორმაციის ფუნქციური განაწილება კრანიალურ (შუა ტვინის) და კაუდალურ (მოგრძო ტვინის და ხიდის) განყოფილებებში

შუა ტვინის რეტიკულური ფორმაციიდან დიდი ტვინის ქერქში ამაველი ბოჭკოები უშუალოდ, ან თალამუსზე სინაპსურად გადართვის შემდეგ მიემართებიან დიდი ტვინის ქერქისკენ. 1949 წელს ზემოხსენებულმა ჰორაც მეგუნიმ და იტალიელმა ჯუზეპე მორუციმ აჩვენეს, რომ შუა ტვინის და ხიდის საზღვარზე მოთავსებული რეტიკულური ფორმაციის რიტმული გაღიზიანება ქერქის აგზნებადობის მომატებას იწვევს. ასეთ მდგომარეობაში მძინარე ცხოველი იღვიძებს. ამიტომაც ამ რეგიონს „ამაველი გამააქტივებელი რეტიკულური ფორმაცია“ უწოდეს. მისი დაზიანებისას ცხოველი ეარდება კომაში.

მიჩნეულია, რომ შუა ტვინის და ხიდის საზღვარზე მოთავსებული რეტიკულური ფორმაცია ცნობიერებაზე პასუხისმგებელი.

თავი 10. შუამდებარე ტვინი ენდოკრინული სისტემა

შუამდებარე ტვინი თავის ტვინში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფუნქციურ ადგილს იკავებს. ის მოიცავს შემდეგ სტრუქტურებს: თალამუსი, ჰიპოთალამუსი, ჰიპოფიზი ანუ ტვინის ქვედა დანამატი, რომელიც ჰიპოთალამუსის გაგრძელებას წარმოადგენს, ეპითალამუსი, რომლის ძირითად სტრუქტურას წარმოადგენს ეპიფიზი ანუ ტვინის ზედა დანამატი და სუბთალამუსი (სურ.10.1).

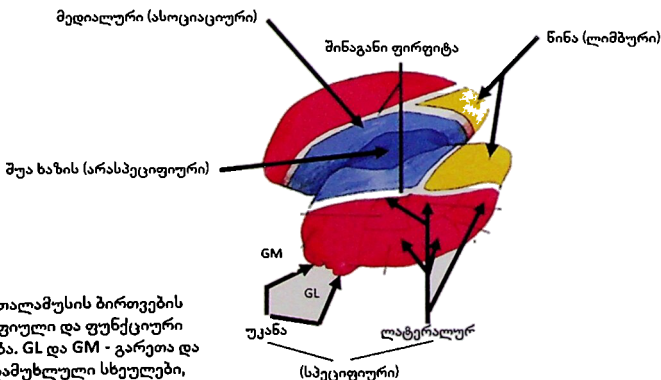


სურ.10. 1. შუამდებარე ტვინის სტრუქტურები

თალამუსი

თალამუსს დიდი ტვინის ქერქის კარიბჭეს უწოდებენ. არცაა გასაკვირი, რადგან ნებისმიერი ინფორმაცია, რომელსაც ორგანიზმი სხვადასხვა გარემოდან ორგანოდან იღებს (ცნოსვითი ინფორმაციის გარდა), დიდი ტვინის ქერქს თალამუსზე გავლით აღწევს.

თალამუსი დიდი რაოდენობით შეიცავს ნერვულ უჯრედთა გროვებს ანუ ბირთვებს. მასში 40-ზე მეტ ბირთვს არჩევენ, რომელთაც ტოპოგრაფიული განლაგების მიხედვით ხუთ ჯგუფად ყოფენ: წინა, უკანა, ლატერალური, მედიალური და შუა ზაზის ბირთვები (სურ.10.2). ამ ბირთვებში არსებული ნეირონები განსხვავდება ერთმანეთისგან როგორც ფუნქციით, ისე აფერენტული და ეფერენტული კავშირებით. შესაბამისად, არჩევენ ბირთვების ოთხ ჯგუფს: სპეციფიურს, არასპეციფიურს, ასოციაციურს და ლიმბურს.



სურ.10.2. თალამუსის ბირთვების ტოპოგრაფიული და ფუნქციური განაწილება. GL და GM - გარეთა და შიგნითა დამუხლული სხეულები, შესაბამისად.

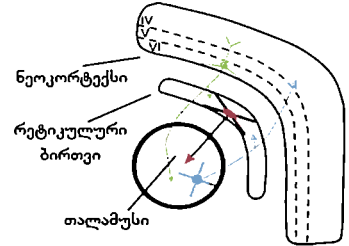
სპეციფიური ბირთვების სახელით ისეთ ბირთვებს აღნიშნავენ, რომელთა ნეირონებიც მხოლოდ გარკვეული ტიპის რეცეპტორთა გალიზიანების საპასუხოდ აქტივდებიან. ასეთი ნეირონები ჩართულია იმ ნერვულ გზებში, რომელიც ემსახურება რომელიმე ერთი მოდალობის შეგრძნების (მაგ. მხედველობა, სმენა და სხვა) გატარებას. შესაბამისად, ამ ბირთვებიდან ნამოსული ნერვული ბოჭკოები ქერქის მხოლოდ განსაზღვრულ უბანში პროეცირდებიან. თვით უჯრედებს კი, რომელთა საშუალებითაც ხდება სათანადო რეცეპტორიდან მოსული იმპულსაციის გაგზავნა ქერქისკენ, **სარელეო** ანუ გადამრთველ ნეირონებს უწოდებენ. სპეციფიური ბირთვები, ძირითადად თალამუსის უკანა და ლატერალურ განყოფილებებშია განლაგებული. უკანა განყოფილებაში მოთავსებული გარეთა და შიგნითა დამუხლული სხეულები, რომლებშიც თავმოყრილია მხედველობის და სმენის სარელეო უჯრედები. ლატერალურ განყოფილებაში მოთავსებული ბირთვები კი ემსახურება კანკუნთოვანი შეგრძნების, ასევე, ტკივილისა და თერმული შეგრძნების გატარებას. სპეციფიური ბირთვების ერთიანობა ქმნის **თალამუსის სპეციფიური ბირთვების სისტემას**.

თალამუსის **არასპეციფიური ბირთვების** ნეირონები უშუალოდ არ ემსახურებიან რომელიმე ერთი მოდალობის შეგრძნების გატარებას. მათ დიდი მნიშვნელობა ენიჭებათ ორგანიზმის ზოგადი რეაქციებისათვის. აღნიშნული ბირთვების გააქტივება ხდება ნებისმიერი მოდალობის გამღიზიანებით, ვინაიდან ნებისმიერი მოდალობის შემგრძნობი ნეირონები თალამუსის დონეზე იძლევიან კოლატერალს. ასეთი კოლატერალები სინაპსით უკავშირდებიან არასპეციფიური ბირთვების ნეირონებს და მათ აგზნებს ინევექს. არასპეციფიური ბირთვები განლაგებულია თალამუსის შუა ხაზზე და მათი აქსონები დიფუზურად პროეცირდება დიდი ტვინის ქერქში. ამ ბირთვების ერთობლიობა ქმნის **თალამუსის არასპეციფიური ბირთვების სისტემას**.

ასოციაციურ ბირთვებში ერთიანდება თალამუსის ყველა ის ბირთვი, რომელთა ნეირონები პროეცირდება დიდი ტვინის ქერქში არა დიფუზურად, არამედ გარკვეულ ზონებში. თუმცა, განსხვავებით სპეციფიური ბირთვებისგან, მათ არ გააჩნიათ საკუთარი რეცეპტორები. ასეთი ნეირონები აქტივდება თალამუსის სხვა ბირთვებიდან და, აგრეთვე, თავის ტვინის სხვა განყოფილებებიდან მოსული იმპულსებით.

ლიმბური ბირთვები ლოკალიზებულია თალამუსის წინა ნაწილში და სხვა ბირთვებიდან გამოყოფილია ე.წ. შინაგანი ფორფიტის განშტოებით. ეს ბირთვები მჭიდროდაა დაკავშირებული თავის ტვინის ლიმბურ სისტემასთან, ამიტომაც, სავარაუდოდ, ისინი ჩართული უნდა იყვნენ ემოციებში. გარდა ამისა, კლინიკური და ექსპერიმენტული მონაცემებით ნაჩვენებია, რომ ისინი პიოკაპშთან ერთად ეპიზოდურ მეხსიერებაში არიან ჩართული.

თალამუსს გვერდიდან თხელი ფორფიტის სახით ფარავს **რეტიკულური ბირთვი** (სურ.10.3), რომელიც არ აგზავნის ქერქში აქსონებს, თუმცა ის თავად იღებს ქერქიდან მომავალ ბოჭკოებს. დღემდე მიმდინარეობს დებატები და რეტიკულური ბირთვის ზუსტი დანიშნულება ჯერჯერობით უცნობია.



სურ.10.3 თალამუსის, რეტიკულური ბირთვის და ნეოკორტექსის სქემატური გამოსახულება, სათანადო კავშირებით.

შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლი. ჰორმონები

შუამდებარე ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურის ფუნქციიდან გამომდინარე, აუცილებელია განვიხილოთ ორგანიზმში არსებული ჯირკვლოვანი სისტემა.

ჯირკვალი არის ორგანო, რომელიც გამოიმუშავებს გარკვეული ტიპის ნივთიერებას, რომლის საშუალებითაც გავლენას ახდენს ორგანიზმის ცხოველმყოფელობაზე.

არჩევიან სამი ტიპის ჯირკვალს: **ენდოკრინულს**, **ეგზოკრინულს** და **შერეულს**.

ეგზოკრინულ ანუ გარეგანი სეკრეციის ჯირკვლებს გააჩნიათ სადინარი და გამოიმუშავებულ ნივთიერებებს ღრუ ორგანოებში ამ სადინარის საშუალებით გამოყოფენ. მათგან განსხვავებით, **ენდოკრინულ ჯირკვლებს** სადინარი არ გააჩნიათ და ისინი გამოიმუშავებულ ნივთიერებებს პირდაპირ სისხლში, ანუ შინაგან გარემოში გამოყოფენ. ამიტომაც მათ **შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლებს**

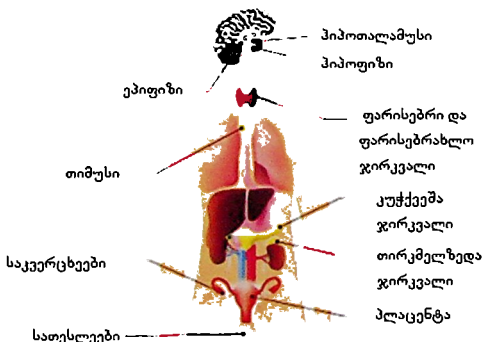
უნოდებენ. ენდოკრინული ჯირკვლები მაღალი აქტივობის მქონე ნივთიერებებს – **ჰორმონებს** გამოიმუშავენ, რომლებიც გავლენას ახდენენ ორგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლიზმზე და შეუძლიათ გამოიწვიონ ქსოვილების, როგორც ფუნქციური, ისე სტრუქტურული ცვლილებები.

შერეულ ჯირკვალს ორივე ტიპის ჯირკვლის ფუნქცია გააჩნია. ასეთია კუჭქვეშა ჯირკვალი – **პანკრეასი**, რომელიც, როგორც ენდოკრინული ჯირკვალი, სისხლში გამოჰყოფს ინსულინს და გლუკაგონს, ხოლო, როგორც ეგზოკრინული ჯირკვალი, სადინარით გამოჰყოფს საჭმლის მომნელებელ ფერმენტებს.

ინფორმაციას ორგანიზმის მოთხოვნილებების შესახებ რეცეპტორები ცნს-ს აფერენტული ნერვული ბოჭკოების საშუალებით აწვდიან. აქ ეს ინფორმაცია გადამუშავდება და „ბრძანება“ საპასუხო რეაქციის შესახებ ეფექტორულ ორგანოებს მიეწოდება ეფერენტული ბოჭკოების მეშვეობით, ანუ ხდება ორგანოთა **ნერვული რეგულაცია**. აღსანიშნავია, რომ ორგანოთა დაბალანსებული და სრული რეგულირებისათვის ორგანიზმს კიდევ ერთი დამატებითი მარეგულირებელი მექანიზმი – **ჰუმორული რეგულაცია** გააჩნია, რომელიც სწორედ ჰორმონების საშუალებით ხორციელდება. ნერვული და ჰუმორული რეგულაციის გაერთიანებულ ცენტრს **ჰიპოთალამუსი** წარმოადგენს.

ჰიპოთალამუსის ნერვული ელემენტები და ნეიროჰორმონები ორგანოთა მუშაობას სისხლძარღვების გზით არეგულირებენ: ისინი ცვლიან ენდოკრინული ჯირკვლების მომმარაგებელი სისხლძარღვების ტონუსს – აფართოებენ ან ავიწროებენ მათ. შესაბამისად, მათი მოქმედება სუსტდება ან ძლიერდება. გამონაკლისს წარმოადგენს თირკმელზედა ჯირკვლის ტვინოვანი შრე, რომლის ნერვული რეგულაცია უშუალოდ სიმპატიკური ნერვის საშუალებით ხორციელდება.

ორგანიზმში იდენტიფიცირებულია ათი ენდოკრინული ჯირკვალი, რომელთა ჰორმონები განსხვავებულ ფუნქციას ასრულებენ (სურ.10.4). ესენია: თავად **ჰიპოთალამუსი**, **ჰიპოფიზი** ანუ ტვინის ქვედა დანაშატი, **ეპიფიზი** ანუ ტვინის ზედა დანაშატი, **თირეოიდული** ანუ ფარისებრი ჯირკვალი, **პარათირეოიდული** ანუ ფარისებრახლო ჯირკვალი, **თიმუსი** ანუ მკერდუკანა ჯირკვალი, **თირკმელზედა ჯირკვალი**, **პანკრეასი** ანუ კუჭქვეშა ჯირკვალი, **საკვერცხეები** და **სათესლეები**.



სურ. 10. 4 ენდოკრინული ჯირკვლები

ყვითელი სხეული და **პლაცენტა** წარმოადგენენ დროებით ენდოკრინულ ჯირკვლებს. ყვითელი სხეული წარმოიქმნება ოვულაციის შემდგომ და გამოიმუშავეს ჰორმონ **პროგესტერონს**, რომელიც ხელს უწყობს ორსულობის დადგომისათვის საჭირო პირობების შექმნას, ხოლო **პლაცენტა** ორსულობის პერიოდში გამოიმუშავეს ორსულობის ნორმალური მიმდინარეობისთვის, მშობიარობისთვის და ლაქტაციის მომზადებისთვის საჭირო სხვადასხვა ჰორმონს.

ჰიპოთეზა

ჰიპოთეზა თავის ტვინის მეტად მცირე ნაწილია – ტვინის მთელი მასის მხოლოდ 1%, თუმცა მას უმნიშვნელოვანესი ფუნქციები აქვს, რომელთა გარეშეც წარმოუდგენელი იქნებოდა ორგანიზმის ნორმალური ფუნქციონირება.

ჰიპოთეზა მთავრდება უშუალოდ თალამუსის ვენტრალურად, მასში ანატომიურად, პირობითად, რამდენიმე ნაწილს გამოყოფენ: **პერივენტრიკულური, მედიალური, ლატერალური, დორსალური, წინა და უკანა ნაწილებს**, ასევე, **ცენტრალური ბირთვებს**. თითოეული ეს ნაწილი დაკავშირებულია თავის ტვინის სხვადასხვა განყოფილების როგორც სომატურ და ავტონომიურ ცენტრებთან, ასევე, შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლებთან. ასეთი მრავალრიცხოვანი კავშირების გამო ჰიპოთეზა-მუსი წარმოადგენს სომატური, ენდოკრინული და ენდოკრინული ფუნქციების მნიშვნელოვან ცენტრს. შესაბამისად, იგი არეგულირებს არაერთ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან ფუნქციას.

ჰიპოთეზა-მუსის წინა ნაწილი მჭიდროდაა დაკავშირებული ანს-ის პარასიმპატიკურ, ხოლო უკანა ნაწილი – სიმპატიკურ ნაწილთან. ის მთლიანად აკონტროლებს ავტონომიური ნერვული სისტემის მოქმედებას. მაგ. თუ თქვენ საფრთხე გეშეშებათ, ჰიპოთეზა-მუსი წარმოშობს ორგანიზმის შესაბამის პასუხს. ამ დროს ავტონომიური ნერვული სისტემის მიერ იზრდება გულსისხლძარღვების სისხლძარღვების წნევა კუნთებში, იმისათვის, რომ ადამიანმა შეძლოს გაქცევა. მეორე მხრივ, მაგ. იმისათვის, რომ წარმართოს მონელების პროცესი, სწორედ ჰიპოთეზა-მუსის გავლენით იზრდება სისხლის წნევა ნაწლავებში და მათი პერისტალტიკა, რომელიც უფრო ნელი და დროში გაწელილი პროცესია.

ჰიპოთეზა-მუსის ნეირონების აქსონები მიერმართება 1. ტვინის ღეროს სტრუქტურებისკენ 2. შუამდებარე და დიდი ტვინის სხვა სტრუქტურებისკენ და 3. ჰიპოფიზისკენ.

ჰიპოთეზა, რომელიც წარმოადგენს ჰიპოთეზას

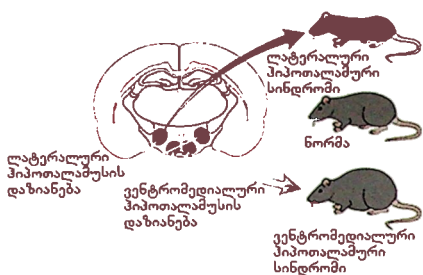
ჰიპოთეზა-მუსის ნერვული კომპლექსები ერთმანეთისგან მეტნაკლებად იზოლირებულია. ამიტომაც, მისი სხვადასხვა უბნის დაზიანება ან ელექტრული გაღიზიანება პრინციპულად სხვადასხვა ეფექტს იწვევს.

ლატერალური ჰიპოთეზა-მუსი მდებარეობს **შინაგანი ცენტრი**, რომლის სტიმულაციაც კვებითი რეაქციების აღმოცენებას იწვევს, ხოლო დაზიანება განაპირობებს აფაგიას – საკვებზე უარის თქმას (სურ.10.5ა), რის შედეგადაც ვითარდება ლატერალური ჰიპოთეზა-მუსის სინდრომი, მისთვის დამახასიათებელი ანორექსია.

საპირისპირო ეფექტი მიიღება **ვენტრომედიალური ჰიპოთეზა-მუსის** იმ უბანზე ზემოქმედებისას, რომელიც **სიმამლის ცენტრის** სახელითაა ცნობილი: ამ უბნის ელექტრული გაღიზიანება თრგუნავს კვებით რეაქციებს, ხოლო დაზიანება კვების გაძლიერებას იწვევს (სურ.10.5ა), რის შედეგადაც ვითარდება **ვენტრომედიალური ჰიპოთეზა-მუსის** სინდრომი.

მედიალური ჰიპოთეზა-მუსი გარდამავალ რგოლს წარმოადგენს ნერვულ და ენდოკრინულ სისტემებს შორის. მასში გვხვდება ისეთი ნერვული კომპლექსები, რომლებიც ალიქვამენ სისხლის და თავზურგტვინის სითხის უმნიშვნელოვანეს პარამეტრებს: ტემპერატურას, წნევას, ელექტროლიტების შემცველობას და ა.შ. მაშასადამე, ეს ნეირონები აკონტროლებენ შინაგანი აირის მუდმივობას ანუ ჰომეოსტაზს. მედიალური ჰიპოთეზა-მუსის კიდევ ერთ ფუნქციას ჰიპოფიზის მოქმედების რეგულაცია წარმოადგენს.

დადგენილია, რომ ჰიპოთეზა-მუსის **ლატერალური და დორსალური ნაწილების** გაღიზიანება იწვევს, ასევე, რეაქციას, რომელიც უზრუნველყოფს შეტევზე გადასვლას თავდაცვის დროს. რაც შეეხება ჰიპოთეზა-მუსის **ცენტრალურ ბირთვებს**, მათი გაღიზიანებისას პირიქით, შეტევაზე გადასვლის ნაცვლად, შიშის რეაქციები წარმოიქმნება და გაქცევის სურვილი იზრდება. ორივე შემთხვევა თვითგადარჩენას ემსახურება, ოღონდ ინდივიდი ირჩევს სხვადასხვა გზას: პირველ შემთხვევაში – შეტევას, მეორე შემთხვევაში კი – გაქცევას.



სურ. 10.5 შეცვლილი კვებითი აქტივობა და წონა ჰიპოთალამუსის ბილატერალური დაზიანებისას

ჰიპოთალამუსი, როგორც შინაგანი სეკრეციის ჯირკვავი

ჰიპოთალამუსი შინაგანი სეკრეციის ჯირკვალსაც წარმოადგენს და, შესაბამისად, თავადაც გამოიმუშავებს ორი ტიპის ჰორმონს. ესენია: ნეიროჰორმონები და გამმეები/შემაკავებელი ჰორმონები. აქ აუცილებლად ხაზი უნდა გავსვას იმ გარემოებას, რომ ნეიროჰორმონებს ჰიპოთალამუსი მხოლოდ გამოიმუშავებს, მაგრამ არ გამოჰყოფს (!) მათ. ნეიროჰორმონების გამოყოფა ხდება ნეიროჰიპოფიზის მიერ, რაც ქვემოთ უფრო დეტალურად იქნება განხილული. რაც შეეხება გამმეებს და შემაკავებელ ჰორმონებს, ისინი გამოიმუშავდება და, ასევე, გამოიყოფა უშუალოდ ჰიპოთალამუსის მიერ და ასრულებენ ან მასტიმულირებელ ან შემაკავებელ როლს ადენოჰიპოფიზის ჰორმონებისთვის. ადენოჰიპოფიზი კი, თავის მხრივ, ჰორმონებით არეგულირებს სხვა ენდოკრინული ჯირკვლების მოქმედებას.

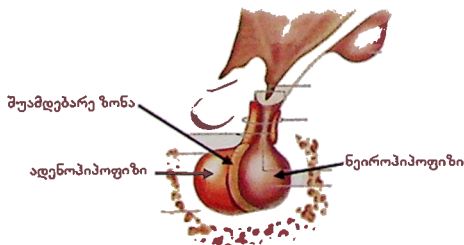
ნეიროჰორმონებს მიეკუთვნება ვაზოპრესინი და ოქსიტოცინი.

ვაზოპრესინი ანუ ანტიდიურეზული ჰორმონი არეგულირებს წყლის დონეს ორგანიზმში, ასევე, სისხლის მოცულობას და სისხლის წნევას. როცა მცირდება ორგანიზმში ვაზოპრესინის გამოყოფა, ან ითრგუნება თირკმელზე მისი პერიფერიული მოქმედება, ვითარდება დაავადება – უმაქრო დიაბეტი. ამ დროს პაციენტებს ახსიათებთ წყლის გადამეტებული სმა – პოლიდიფსია და, ასევე, მოჭარბებული შარდვა – პოლიურია.

ოქსიტოცინი არეგულირებს ქცევას და რეპროდუქციული სისტემის მოქმედებას. ის ძლიერ მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს საშვილოსნოს კედლის კუმშვის უნარზე, ამიტომ მისი გამოყოფა სისხლში ძლიერდება ორსულობის ბოლო პერიოდში და მშობიარობის დროს.

ჰიპოფიზი

ჰიპოფიზი ჰიპოთალამუსის ქვეშ მდებარე ძალიან პატარა, მაგრამ მნიშვნელოვანი ფუნქციებით დატვირთული სტრუქტურაა. ის, პრაქტიკულად, ჰიპოთალამუსის გაგრძელებას წარმოადგენს და ცნობილია ტვინის ქვედა დანამატის სახელით. ინონის სულ 0.5 გრამს და მასში სამი ნაწილი განიჩევა: წინა ნაწილია ადენოჰიპოფიზი – ჯირკვლოვანი სტრუქტურა, რომელიც შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლებს მიეკუთვნება; უკანა ნაწილია ნეიროჰიპოფიზი – ნერვული ელემენტებისგან აგებული სტრუქტურა და მათ შორის არსებული შუამდებარე ზონა (სურ.10.6), რომელიც წარმოადგენს თხელ „ფირფიტას“ ის ადენოჰიპოფიზს და ნეიროჰიპოფიზს გამოჰყოფს ერთმანეთისგან.



სურ.10.6 ჰიპოფიზი

ადენოპიოფიზი, ძირითადად, ისეთ პორმონებს გამოიმუშავებს, რითაც არეგულირებს სხვა ენდოკრინული ჯირკვლების მოქმედებას. ასეთებია **თიროტროპული პორმონი** (ფარისებრი ჯირკვლის მიერ პორმონების გამოყოფის სტიმულატორი), **გონადოტროპული პორმონები** (ქალსა და მამაკაცში სასქესო ჯირკვლების მოქმედების მარეგულირებელი პორმონები) და **ადრენოკორტიკოტროპული პორმონი**, რომელიც თირკმელზედა ჯირკვლის ქერქული წილის პორმონების (კორტიკოიდების) გამოყოფას ასტიმულირებს.

ადენოპიოფიზის მიერ მთელი ცხოვრების მანძილზე გამომუშავდება **სომატოტროპინი** ანუ **ზრდის პორმონი**, რომელიც ადამიანის ზრდას უწყობს ხელს, თუმცა კი ზრდასრულობის ასაკში სხეულის მატება სიმაღლეში უკვე აღარ ხდება.

ზრდის პორმონის ფუნქციის დარღვევა ცხოვრების ნებისმიერ ეტაპზე შეიძლება მოხდეს. თუ მისი ფუნქციის დაქვეითება ანუ ჰიპოფუნქცია თავს იჩენს ბავშვობის პერიოდში, მაშინ ადგილი აქვს სხეულის ზრდის შეფერხებას და ვითარდება ე.წ. **ქონდრისკაცია**. თუ ამავე ასაკში ადგილი აქვს ჰიპერფუნქციას, მაშინ ადამიანი შეიძლება 2.4-2.5 მ-მდეც გაიზარდოს, რასაც **გიგანტიზმი** ეწოდება (სურ.10.7ა). იმ შემთხვევაში, თუკი ზრდის პორმონის ჰიპერფუნქცია ზრდასრულ ასაკში გამოვლინდება, მაშინ შეიძლება სხეულის მხოლოდ ცალკეული ნაწილები გაიზარდოს, მაგ. კიდურები, ხელის მტევნები, ტერფები, ცხვირი, ქედა ყბა, ენა, რაც **აკრომეგალიის** სახელით არის ცნობილი (სურ.10.7, ბ).



ბ.



გ.

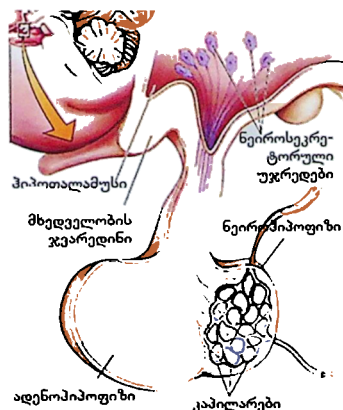


დ.



სურ.10.7. სომატოტროპინის რეგულაციის მოშლა. ა. გიგანტიზმი – ჰიპერფუნქცია ბავშვობის ასაკში; ბ. აკრომეგალიით დაავადებული მორის ტიე – „ფრანგი ანგელოზი“. ფოტო გადაღებულია 1940 წელს; გ. ბავშვობაში ის სრულიად ნორმალური ბავშვი იყო. 17 წლიდან კი დაეწყო ჰიპოფიზის ფუნქციის მოშლა, რაც შეეხო ზრდის პორმონს. დ. ტიე წარმოადგენს ცნობილ ანიმაციური ფილმის – „შრეკის“ პროტოტიპს.

ზემოთ ვახსენეთ, რომ ჰიპოთალამუსის ნეიროპორმონები – ვაზოპრესინი და ოქსიტოცინი უშუალოდ ჰიპოთალამუსის მიერ კი არ გამოიყოფა, არამედ ისინი სისხლში მხოლოდ პიოფიზის საშუალებით ხვდებიან. სწორედ **ნეიროპიოფიზის** საშუალებით გადადიან ისინი სისხლში, ანუ ნეიროპიოფიზი, ფაქტობრივად, არაპირდაპირი გზით მონაწილეობს ნეიროსეკრეციაში. მასზე უზგადაა ჰიპოთალამუსიდან მომავალი აქსონების სინაპსები (სურ. 10.8). ჰიპოთალამუსის ნეირონების მიერ გამომუშავებული პორმონები აქსონის ბოლო სიგრძეზე გადაიტანება ევზიკულების საშუალებით ნეიროპიოფიზში. მიიღწევს რა აქსონის დაბოლოებას, ევზიკულები გროვდებიან აქსონის დაბოლოებაში. საჭირო დროს ეს ევზიკულები იხსნებიან სინაპსურ ნაპრალებში და პორმონები გადადიან სისხლში. ანუ, ნეიროპიოფიზი წარმოადგენს ჰიპოთალამუსის მიერ გამომუშავებული ნეიროპორმონების დაგროვების და მათი სისხლში გამოყოფის ადგილს.



სურ.10.8 ნერვული ელემენტებით დატვირთული ნეიროპიოფიზი, სადაც ხდება სისხლში ვაზოპრესინის და ოქსიტოცინის გამოყოფა.

ჰიპოთეზის შუამდებარე ზონა გამოიმუშავებს მელანოციტ-მასტიმულირებელ ჰორმონს, რომელიც ულტრაიისფერი სხივების გავლენით კანში მდებარე მელანოციტებში ასტიმულირებს მელანინის – კანის შავი პიგმენტის წარმოქმნას.

ეპიფიზი

ეპიფიზი ანუ ტვინის ზედა დანამატი ნეიროენდოკრინული ჯირკვალაა. მასში გამოიმუშავდება ჰორმონი მელატონინი, რომელიც ჩართულია დღეღამურ ანუ ცირკადულ რიტმებში.

თავი 11. დიდი ტვინის ქერქი

დიდი ტვინი, რომელიც ორი ნახევარსფეროსგან – ჰემისფეროსგან შედგება, გონების და ინტელექტის ორგანოს წარმოადგენს. მოსაზრება იმის შესახებ, რომ აზროვნება დაკავშირებული იყო ტვინის პარაკუჭებთან, შეიცვალა მე-17 საუკუნეში, როდესაც ნევროლოგების მიერ დადგინდა, რომ ცნობიერება თვით ტვინის ფუნქციაა და არა პარაკუჭების.

დიდი ტვინის ქერქი მიმღებლობს სხვადასხვა სახის გამლზიანებელს – **ექსტეროცეპტულს** (მხედველობის, სმენის, ყნოსვის, გემოვნების, კანის რეცეპტორებიდან), **პროპრიოცეპტულს** (კუნთის, მყესის, სახსრის რეცეპტორებიდან), **ინტეროცეპტულს** (მინაგან ორგანოთა რეცეპტორებიდან); უზრუნველყოფს ნებისმიერი შეგრძნების ინტეგრაციას (ანალიზი და სინთეზი). ის წარმოადგენს მოტორულ და სეკრეტორულ რეაქციების „გამშვებს“, რეფლექსური მოქმედების უმაღლეს დონეს, უზრუნველყოფს მიზანმიმართულ ქცევას და განაპირობებს სხვადასხვა ფსიქიკურ პროცესს.

დიდი ტვინის ამოკვეთის შედეგად ძალი ცოცხლობს რამდენიმე ნეონადს, თუმცა მას ერლევეა პირობითი რეფლექსები, მხედველობითი, სმენითი და ყნოსვითი შეგრძნებები. ცხოველს უმეტესად სძინავს. ვერ უვლის გვერდს დაბრკოლებას. დამოუკიდებლად ვერ ჭამს; მაიმუნი დიდი ტვინის გარეშე 26 დღე ცოცხლობს. მას, წინა ჩამოთვლილ დარღვევებთან ერთად, დამატებით ერლევეა ლოკომოციის უნარი. რაც შეეხება ახალშობილებს, დიდი ტვინის დაზიანების შემთხვევაში, აქვთ წოვის უნარი, შიმშილი არ აღიძვბთ, მე-4 კვირას ვითარდება კრუნჩხვები, დაქვეითებულია მხედველობა და სმენა, უმოძრაოები არიან, გვიან ავლენენ ტირილის უნარს და უმეტესად სძინავთ.

დიდი ტვინის ჰემისფეროები დაფარულია ქერქით (cortex), რომელიც იყოფა ორ ნაწილად: **ახალი ქერქი** და **ლიმბური ქერქი**. ახალი ქერქი არეგულირებს დროით და სივრცით ურთიერთობებს გარემოსთან, პასუხისმგებელია ფორმალურ-ლოგიკურ აზროვნებაზე და განაპირობებს სტერეოტისტიკულ შესაძლებლობებს.*

ლიმბური ქერქი ჩართულია ემოციების მართვაში, მოტივაციაში, დასწავლასა და მეხსიერებაში, ასევე, მიზანმიმართულ მოქმედებაში.

დიდი ტვინის ქერქი ჰემისფეროების გარეთა შრეა. მისი სისქე 1.5 – 4.5 მმ-ია და შეიცავს დენდრიტებს, აქსონებს და ნეირონთა სხეულებს, არის რუხი შეფერილობის, ქმნის მრავალ ნაოჭს, რომლებიც ერთმანეთისგან გამოყოფილია ღარებით. მასში უჯრედები შრეებადაა განლაგებული.

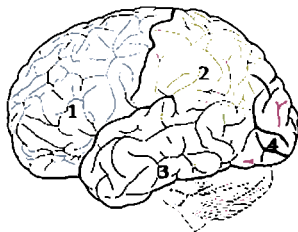
დიდი ტვინის ქერქში არჩევენ **ოთხ ნილს** (სურ. 11.1): **შუბლის** ანუ **ფორინტალურს** (1), **თხემის** ანუ **პარიეტალურს** (2), **საფეთქლის** ანუ **ტემპორალურს** (3) და **კეფის** ანუ **ოქციპიტალურს** (4).

დიდი ტვინის ქერქში ფორმით მრავალფეროვან ნეირონებს ვხვდებით, რომელთაგან, ძირითადად, სამ ტიპს გამოყოფენ:

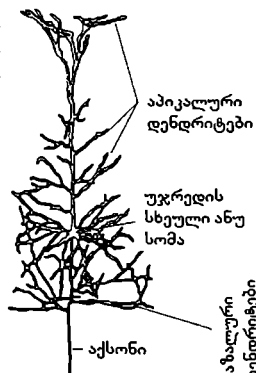
პირამიდულ, ვარსკვლავისებურ და კალათისებურ ნეირონებს.

პირამიდული ნეირონი უხვადაა დატოტილი დენდრიტებით. მასში დენდრიტების ორი ნილს გარჩევა შეიძლება (სურ. 11.2). **აპიკალური დენდრიტები** ნეირონის წვეროსკენაა მიმართული, ხოლო **ბაზალური** – ფუძისკენ.

ვარსკვლავისებურ და კალათისებურ ნეირონებს სახელწოდების შესაბამისი ფორმა აქვთ (სურ. 11.3).



სურ. 11.1. დიდი ტვინის ქერქის ნილბი: 1 – ფრონტალური ანუ შუბლის ნილი, 2 – პარიეტალური ანუ თხემის ნილი, 3 – ტემპორალური ანუ საფეთქლის ნილი, 4 – ოქციპიტალური ანუ კეფის ნილი.

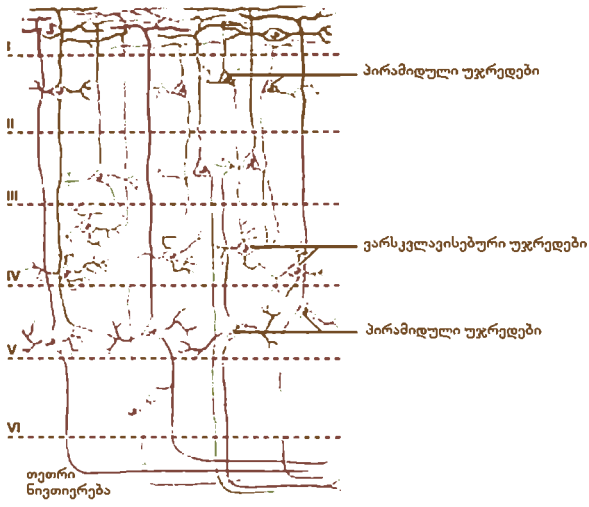


სურ. 11.2 ქერქის პირამიდული ნეირონი

* ობიექტის ფორმის აღქმა შეხებით, ვიზუალური ინფორმაციის გარეშე

უჯრედებს დიდი ტვინის ქერქში მკაცრად მონესრიგებული შრეობრივი განლაგება ახასიათებთ (სურ. 11.3).

თითოეული შრის ფუნქცია დაკავშირებულია მის კავშირებზე – აფერენტაციასა და ეფერენტაციასზე.

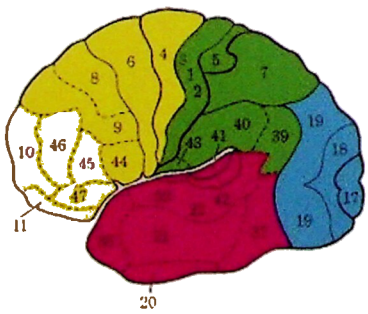


სურ. 11.3 დიდი ტვინის ქერქი 6-შრიანი სტრუქტურაა. მასში სხვადასხვა ტიპის უჯრედები სხვადასხვა შრეშია განლაგებული. ყველაზე დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია პირამიდული ნეირონები, IV შრეში კი დიდი რაოდენობით გვხვდება მცირე ზომის ვარსკვლავისებური ნეირონები

I, II და III შრეები განსაკუთრებით კარგადაა განვითარებული ქერქის მეორეულ, ასოციაციურ ველებში. მათ ინტეგრაციული ფუნქცია აკისრიათ.

IV შრეში განლაგებული ვარსკვლავისებური ნეირონები იღებენ სენსორულ აფერენტაციას. ისინი დიდი რაოდენობითაა მხედველობის, სომატოსენსორულ, გემოვნების და სმენის ქერქში. IV შრეს სხვაგვარად მარცვლოვან შრეს უწოდებენ, მიკროსკოპში მისი მარცვლოვანი შეხედულების გამო.

V-VI შრეებიდან სათავეს იღებენ ეფერენტები, რომლებიც ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურისკენ მიემართებიან.



სურ. 11.4 დიდი ტვინის ქერქის ველები

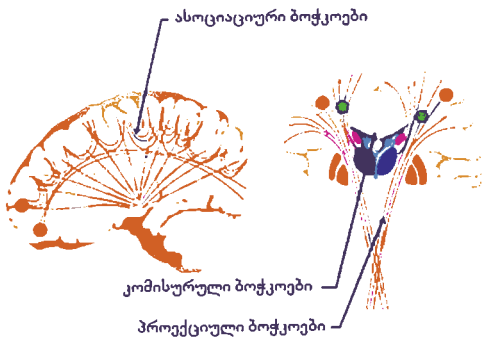
შრეობრივი განლაგება ცვალებადია სხვადასხვა უბანში. ამის მიხედვით დიდი ტვინის ქერქი დაყოფილია ველებად. ციტოარქიტექტონიკული (ანუ შრეობრივი) დანაწილება ემთხვევა ქერქის დანაწილებას ფიზიოლოგიური მახასიათებლების მიხედვით. ამ კუთხით გერმანელი ნევროლოგი კორბინიან ბროდმანი ქერქში არჩევდა 50 ველს (სურ. 11.4).

სხვადასხვა ციტოარქიტექტონიკის მქონე უბნებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავებების მიუხედავად, ყველა ქერქული უბნის სქემას გარკვეული საერთო გააჩნიათ. პირველი საერთო ნიშანია ის, რომ ყოველ ქერქულ შრეს გააჩნია საკუთარი შესავალი და გამოსავალი, ანუ ყოველი შრე იღებს აფერენტებს კონკრეტული სტრუქტურებიდან და აგზავნის ეფერენტებს, ასევე, მკაცრად განსაზღვრულ სამიზნე სტრუქტურაში; მეორე საერთო ნიშანი ისაა, რომ ყოველი უბნის ნეირონები სხვა ნეირონებს უკავშირდებიან როგორც პორიზონტალურ, ისე ვერტიკალურ სიბრტყეში. პორიზონტალურ სიბრტყეში ინტერნეირონების გრძელი აქსონები ერთმანეთთან აკავშირებს ქერქის სხვადასხვა უბანს; მესამე საერთო ნიშანს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ ანალოგიური ფუნქციების მქონე უჯრედებს გააჩნიათ ერთად თავმოყრის ტენდენცია.

აქსონების გავრცელების/„საბოლოო დანიშნულების ადგილის“ მიხედვით ქერქის პირამიდულ ნეირონებში განარჩევენ პროექციულ, კომისურულ და ასოციაციურ ნეირონებს და ისინი წარმოადგენენ როგორც აფერენტებს, ისე ეფერენტებს.*

ქერქის ეფერენტები სამი სახისაა (სურ. 11.5):

პროექციული პირამიდული ნეირონები პროეცირდება თავის ტვინის სტრუქტურებზე და ქმნიან კორტიკოთალამურ, კორტიკორეტკულურ და კორტიკოსპინალურ გზებს; **კომისურული პირამიდული ნეირონები** უკავშირდებიან მეორე ჰემისფეროს ნეირონებს, ხოლო **ასოციაციური პირამიდული ნეირონები** – იმავე ჰემისფეროს სხვადასხვა ხვეულის ნეირონებს.



სურ. 11.5 ქერქის აფერენტები და ეფერენტები

ქერქის აფერენტებიც სამი სახისაა (სურ.11.5): **პროექციული**, რომელიც მოდის ქერქვეშა სტრუქტურებიდან – თალამუსიდან და რეტკულური ფორმაციიდან და ქმნიან თალამოკორტიკალურ და რეტკულოკორტიკალურ გზებს; **კომისურული**, რომელიც მოდის მეორე ჰემისფეროს ქერქის ნეირონებიდან და ასოციაციური, რომელიც მოდის იმავე ჰემისფეროს სხვადასხვა ხვეულის ნეირონებიდან.

* მივაქციოთ ყურადღება „აფერენტისა“ და „ეფერენტის“ განმარტებას, აშკარად ქერქის მაგალითზე: ქერქის რომელიმე ხვეულისთვის აფერენტებს წარმოადგენენ იმ ნეირონთა აქსონები, რომელსაც ქერქის ეს კონკრეტული სტრუქტურა იღებს, ანუ რომელსაც მასში შეაქვს ინფორმაცია; ხოლო ეფერენტებს წარმოადგენს თავად ამ კონკრეტული სტრუქტურის ნეირონთა აქსონები, რომელთაც ეს სტრუქტურა სხვა სტრუქტურისკენ აგზავნის, ანუ მისგან გადის ინფორმაცია. ამიტომაც, როცა საუბარია აფერენტებზე და ეფერენტებზე, აუცილებლად უნდა მიეთითოს კონკრეტული სტრუქტურა, ვინაიდან ტერმინები – აფერენტი და ეფერენტი გვიჩვენებს კონკრეტული სტრუქტურის კავშირებს ცნ-ის სხვა სტრუქტურებთან და მიუთითებს ამ კავშირების მიმართულებას.

დიდი ტვინის ქერქის ელექტრული აქტიურობა

თავის ტვინის ელექტრული აქტიურობის დაწვრილებითი შესწავლა დაიწყო მე-20 საუკუნის 20-30-იან წლებში.

დიდი ტვინის ქერქი მაშინაც კი აქტიურია, როდესაც ორგანიზმი მოსვენებულ მდგომარეობაშია და ამ აქტიურობას ქერქის სპონტანური აქტიურობა ეწოდება.

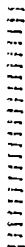
თავის ტვინის ქერქის ელექტრული აქტიურობის ჩანერგის ორი მეთოდი არსებობს: ელექტროკორტიკოგრაფია (ეკოგ) და ელექტროენცეფალოგრაფია (ეეგ).

ეკოგ წარმოადგენს ინვაზიურ მეთოდს, რომელიც ქერქის ელექტრულ პოტენციალებს აღრიცხავს უშუალოდ მისი ზედაპირიდან, ელექტროდების საშუალებით. გამოიყენება, ძირითადად, ნეიროქირურგიული ოპერაციებისას, ეპილეფსიის კერის დადგენის მიზნით, ან ექსპერიმენტულად, ცხოველებზე. ამ მეთოდით მიღებულ ჩანაწერს ელექტროკორტიკოგრაფია ეწოდება.

ეეგ არაინვაზიური მეთოდია და მისი ჩატარება ნებისმიერ დროსაა შესაძლებელი. ის აღრიცხავს თავის ტვინის ელექტრულ აქტიურობას, მხოლოდ ამ შემთხვევაში ელექტროდები თავსდება არა უშუალოდ ქერქზე, არამედ თავის კანზე. ამ მეთოდით მიღებულ ჩანაწერს ელექტროენცეფალოგრაფია ეწოდება.

ელექტროენცეფალოგრაფია ხასიათდება შედარებით დაბალსიხშიროვანი ჩანაწერით, რაც განპირობებულია თავის ქალას და კანის წინააღობით. ეკოგ ჩანაწერი კი მაღალსიხშიროვანია და მასში კარგად ფიქსირდება რხევათა ამპლიტუდა.

თანამედროვე ეეგ-თვის იყენებენ მულტიპოლარულ მრავალელექტროდიან მეთოდს (სურ. 11.6).



სურ. 11.6 ეეგ ჩანაწერა მულტიპოლარული მეთოდით

ელექტროენცეფალოგრაფიის შემადგენლობა დამოკიდებულია ორგანიზმის ფუნქციურ მდგომარეობასა და აღმრიცხველი ელექტროდების მდებარეობაზე.

მასზე არჩევენ რამდენიმე სახის რიტმს ანუ რხევას (ცხრილი 11.1 და სურ. 11.7).

რიტმი	სიხშირე	გამოვლენის პირობები
α – ალფა	8-13 ჰც	მოსვენების მდგომარეობაში, თვალდახუჭული
β – ბეტა	14-30 ჰც	თვალის გახელის ან გონებრივი დატვირთვისას
γ – გამა	>30 ჰც	აღრიცხება მინიმუმ 2 სხვადასხვა სახის გამლიზიანების ალქმის დროს, რაიმეზე კონცენტრაციისას
θ – თეტა	4-7 ჰც	აღრიცხება თვლემის და სწრაფი ძილის დროს, ასევე, ფიქრის და რაიმეზე კონცენტრირებისას
δ – დელტა	0.5-4 ჰც	ღრმა ძილის დროს

ცხრილი 11.1 თავის ტვინის რიტმები

ბ - ბეტა
14-30 ჰც

α - ალფა
8-13 ჰც

θ - თეტა
4-7 ჰც

δ - დელტა
0.3-4.5 ჰც

2
დრო, წმ

სურ. 11.7 ტვინის ელექტრული აქტივობის ტალღები

მოსვენების მდგომარეობაში მყოფი ადამიანის ეეგ, როდესაც მას თვალები დახუჭული აქვს, წარმოდგენილია რეგულარული რიტმით, რომლის სიხშირე 8-13 ჰც ფარგლებში მერყეობს. ამ რიტმს α - ალფა რიტმს უწოდებენ;

თვალის გახელის ან გონებრივი დატვირთვისას ეეგ-ში ქრება α - ალფა ტალღები და ევინდება უფრო მაღალი სიხშირის - 14-30 ჰც β - ბეტა ტალღები, რომელთაც შედარებით მცირე ამპლიტუდა გააჩნიათ;

კიდევ უფრო მაღალი სიხშირის რხევების აღმოცენებას აქვს ადგილი, როცა ერთდროულად ჩართულია მესხიერების და ყურადღების პროცესები და, ასევე, მაშინ, როდესაც ერთდროულად ხდება ორი სხვადასხვა გამლიზიანების ალქმა და ანალიზი, მაგ. ვიზუალური და აკუსტიკური გამლიზიანების ალქმა. ასეთი რხევები 30 ჰც სიხშირეზე მეტია, ზოგჯერ 100 ჰც-საც აჭარბებს და მას γ-გამა რიტმს უწოდებენ. γ-რიტმის წარმოშობის თეორიები შედარებით ახალია და მეცნიერებს დღესაც განსხვავებული სხვადასხვა მოსაზრება გააჩნიათ ამის შესახებ, თუმცა კი, ძირითადი შეთანხმება მაინც მიღწეულია. ადრე ამ რიტმს განიხილავდნენ, როგორც β2 ტალღებს;

არსებობს α და β რხევებზე კიდევ უფრო დაბალი სიხშირის და მაღალი ამპლიტუდის θ - თეტა და δ - დელტა რიტმები. θ - თეტა რიტმი - 4-7 ჰც-ია. ის აღმოცენდება ფიქრის, რამეზე კონცენტრაციის, ასევე, თვლემის და სწრაფი ძილის დროს. მკვეთრად გამოხატული ქერქული θ რიტმის „სიჭარბე“ ტვინის რომელიმე სტრუქტურის პათოლოგიაზე და ფუნქციურ დარღვევაზე მიუთითებს;

δ - დელტა რიტმი - 0.3 - 4.5 ჰც სიხშირისაა. ეს რიტმი ღრმა ძილის დროს შეინიშნება. მოზრდილი ადამიანის ეეგ იშვიათად შეიცავს δ ტალღებს.

ბავშვების და მოზარდების ელექტროენცეფალოგრამა დაბალსიხშირიანი და არარეგულარული რიტმით ხასიათდება.

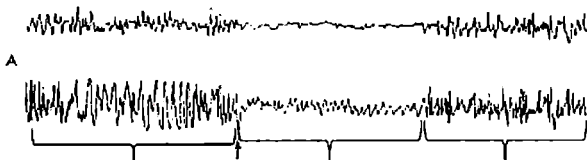
ქერქის სპონტანური აქტივობა ყველა რიტმის კომპლექსს წარმოადგენს. მას განაპირობებს თალამოკორტიკალური სისტემა - აფერენტული იმპულსაციის ძირითადი წყარო, რომელიც, თავის მხრივ, განუწყვეტლივ იღებს იმპულსაციას ავტომატური მოქმედების ცენტრებიდან: სუნთქვის ცენტრიდან, სისხლძარღვთა მამოძრავებელი ცენტრიდან და სხვა.

ქერქის რიტმული აქტივობის სიხშირე (ანუ სხვადასხვა რიტმის აღმოცენება) ორ ფაქტორზეა დამოკიდებული: აგზნების რევერბერაციაზე ქერქსა და თალამუსს შორის და აგზნების გატარების სისწრაფეზე.

ქერქსა და თალამუსს შორის კავშირი ხორციელდება კორტიკოთალამური და თალამოკორტიკალური გზების საშუალებით. აქ ადგილი აქვს აგზნების წრებრუნვას ანუ რევერბერაციას. ქერქის რიტმული აქტივობის სიხშირე დამოკიდებულია სწორედ იმაზე, თუ რამდენჯერ შემოვიღის აგზნება ნერვულ წრეს 1 წამის განმავლობაში. ეს კი, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ნერვული წრის სიგრძეზე, ანუ რაც უფრო მეტია ნეირონული წრის სიგრძე, მით დაბალია რიტმის სიხშირე და პირიქით.

ქერქის ელექტრული აქტივობის არარეგულარული ხასიათი განპირობებულია სხვადასხვა სიგარძის ნრების ერთდროული გააქტივებით.

ქერქის აქტივობაში ცალკეული პოტენციალების ამპლიტუდის სიდიდე დამოკიდებულია სინქრონულად აგზნებული უჯრედების რაოდენობაზე: რაც უფრო ბევრი უჯრედი აიგზნება, მით მეტია ამპლიტუდა. გამომდინარე აქედან, არჩევენ ქერქის სინქრონიზაციას და დესინქრონიზაციას. სინქრონიზაცია – ესაა ქერქის აქტივობის ისეთი სურათი, როცა დომინირებს დაბალი სიხშირის მაღალამპლიტუდიანი პოტენციალები, ხოლო დესინქრონიზაცია – ესაა ქერქის აქტივობის სურათზე



სურ. 11.8. ქერქის სინქრონიზაცია და დესინქრონიზაცია

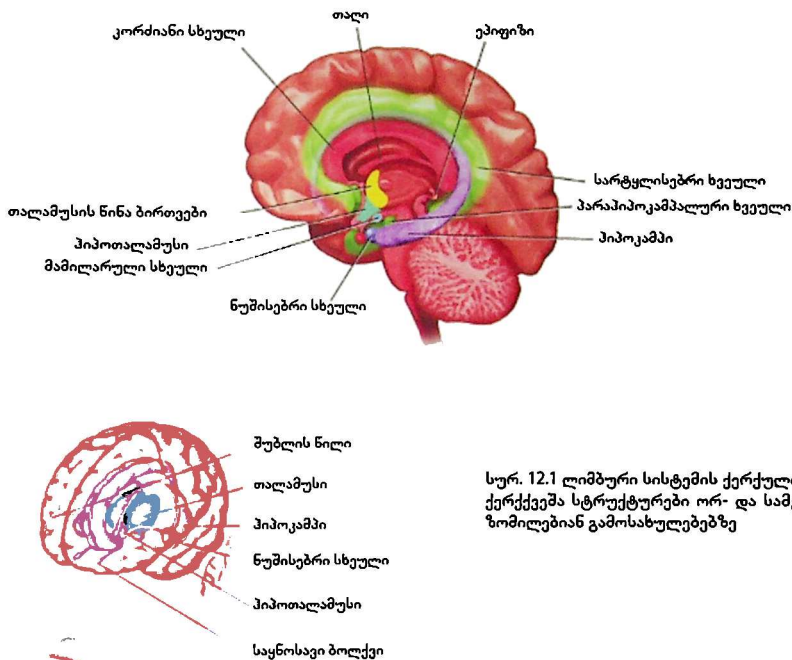
გამონეული პოტენციალები

რიჩარდ კატონმა ძალის თავის ტვინის კეფის ნაწილში მოთავსებული ელექტროდების საშუალებით აღრიცხა ელექტრული პოტენციალის ცვლილება თვალებზე სინათლის მინათებისას. მსგავს ცვლილებებს თანამედროვე ფიზიოლოგიაში **გამონეული პოტენციალები** ეწოდება. ის წარმოადგენს პოტენციალის ცვლილებას დიდი ტვინის ქერქში, რომელიც რეცეპტორის და მგრძნობიარე ნერვების ან ქერქქვეშა ბირთვების ერთჯერადი გაღიზიანებით აღმოცენდება.

გამონეული პოტენციალები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან კონფიგურაციით, რომელიც დამოკიდებულია გაღიზიანების მოძალობასა და ინტენსივობაზე, ქერქის ფუნქციურ მდგომარეობასა და აქტივობის აღრიცხვის უბანზე.

თავი 12. ლიმბური სისტემა

ლიმბური სისტემა წარმოადგენს თავის ტვინის სტრუქტურათა კომპლექსს, რომელიც პასუხისმგებელია ემოციებზე, მეხსიერების ჩამოყალიბებაზე და პომოსტაზის რეგულირებაზე.



სურ. 12.1 ლიმბური სისტემის ქერქული და ქერქქევა სტრუქტურები ორ- და სამგან-ზომილებიან გამოსახულებებზე

1937 წელს ამერიკელი ნეიროანატომი ჯეიმს პაპეცი შეეცადა აღენერა ის ნერვული სუბსტრატები, რომელიც ჩართული იყო ემოციების გენერირებაში. მან დაიწყო ჰემისფერების მედიალური ნაწილის სიდრმისეული შესწავლა. ტვინის ეს ნაწილი პირველად 1850 წელს ფრანგმა ნეიროანატომმა და ანთროპოლოგმა პოლ ბროკამ შეისწავლა. მან ნახა, რომ ტვინის მედიალური ზედაპირის რიგი სტრუქტურები ქერქული აგებულების იყო, მაგრამ ისინი მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა დიდი ტვინის ქერქისგან. ვინაიდან ეს არე ერთგვარად გამოყოფილი იყო ტვინის ლეროსგან, მას „დიდი ლიმბური წილი“ უწოდა („limbus“ ლათინურად „საზღვარს“ ნიშნავს). ლიმბურ წილში მან გააერთიანა სარტყლისებრი ხვეული, პარაჰიპოკამპალური ხვეული და ჰიპოკამპი. ბროკა თვლიდა, რომ ეს სტრუქტურები, საყნოსავ ბოლქვთან ერთად, ყნოსვის შეგრძნებაზე იყო პასუხისმგებელი. მიუხედავად იმისა, რომ ბროკას არ აუღწივინავს ამ წილის კავშირი ემოციებთან, დღეს სიტყვა „ლიმბური“ პირდაპირ ასოცირდება მასთან.

ლიმბური წილის ემოციებთან კავშირზე მოსაზრება პირველად პაპეცმა გამოთქვა. კერძოდ, მან აჩვენა, რომ სარტყლისებრი ხვეული, ჰიპოთალამუსი, მამილარული სხეულები, ჰიპოკამპი, თალამუსის წინა ბირთვები და თალი ქმნიან ემოციების ქერქული კონტროლის სუბსტრატს. ამ სტრუქტურების ერთობლიობას შემდგომში „პაპეცის წრე“ ეწოდა.

თანამედროვე შეხედულებით ლიმბურ სისტემაში არჩევენ ქერქულ და ქერქქევა სტრუქტურებს

* სარტყლისებრი ხვეული სამეცნიერო ლიტერატურაში მოიხსენიება როგორც ხვეულად, ისე ქერქად.

(სურ. 12.1), რომლებიც განლაგებულია დიდი ტვინის ქვედა ნაწილში ორმხრივად, თალამუსის მიმდებარედ.

ქერქულ სტრუქტურებს მიეკუთვნება სარტყლისებრი ხვეული, ჰიპოკამპი, პარაჰიპოკამპალური ხვეული, ინსულარული ქერქი და ორიბიტალური ფრონტალური ქერქი. ქერქვესა სტრუქტურებს კი წარმოადგენს საყნოსავი ბოლქვი, ჰიპოთალამუსი (მამილარულ სხეულთან ერთად), ნუშისებრი სხეული, სეპტალური ბირთვები და თალამუსის წინა და დორსომედიალური ბირთვები.

ემოციების ჩართული წინა ტვინის სტრუქტურები სხვადასხვა კომპლექსური ფუნქციების განხორციელებაშიც იღებენ აქტიურ მონაწილეობას. ესენია: მიზანმიმართული ქცევა, გადწყვეტილების მიღება, სოციალური ქცევა და მორალური მსჯელობა. ტვინის ეს რეგიონი ზიანდება ნარკოტიკების გავლენით. მათში მიმდინარე ცვლილებები უდევს საფუძვლად სხვადასხვა ფსიქიკურ დაავადებას.

ლიმბურ სისტემას მჭიდრო კავშირები აქვს ქერქის, საფეთქლის და შუბლის წილებთან. საფეთქლის წილიდან ხდება სენსორული ინფორმაციის გადაცემა ნუშისებრი სხეულსა და ჰიპოკამპზე, ხოლო შუბლის წილი არეგულირებს ლიმბური სისტემის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთქმედებას.

ემოცია

ემოცია ჩვენი ყოველდღიური ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია და მას კრიტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ადამიანის ქცევაში. ფრანგულად ის „აღლევებას“ ნიშნავს, თუმცა ემოცია არა მხოლოდ აღლევება, არამედ ადამიანის სუბიექტური რეაქციების ერთობლიობაა, რომლებიც სხვადასხვა ფაქტორების მოქმედების შედეგად აღმოცენდება და ადამიანის მიერ გამოიხატება, როგორც სიამოვნება ან უსიამოვნება, სიხარული, შიში, ზიზღი, გაოცება და სხვა. ჩამოთვლილი ემოციები წინა საუკუნის 70-იან წლებში პოლ ეკმანმა დააჯგუფა, როგორც ექვსი ძირითადი ემოცია, რომელიც უნივერსალურია ნებისმიერი კულტურის ადამიანში (სურ. 12.2). მოგვიანებით მან გააფართოვა ეს ჩამონათვალი და ძირითად ემოციებს დაემატა სიამაყე, სირცხვილი, უხერხულობა და აღლევება. დღეს ეს ჩამონათვალი კიდევ უფრო ფართოა.

ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნეში, მთელი რიგი მეცნიერები, დარვინისა და ფროიდის ჩათვლით, ცდილობდნენ აეხსნათ ტვინის როლი ემოციების წარმოშობასა და გამოვლინებაში. შესაბამისად, არსებობდა ემოციების წარმოშობის რამდენიმე თეორია.

სხვადასხვა სახის ემოცია ასოცირდება, ერთი მხრივ, სტერეოტიპულ სომატურ მოტორულ პასუხებთან – სახის მიმიკური და ჩონჩხის კუნთების პასუხებთან (სურ. 12.4,ბ), მეორე მხრივ კი – დამახასიათებელ ვისცერალურ (ავტონომიურ/ვეგეტატიურ) ეფექტებთან, რომლებიც სხვადასხვა განცდის დროს ემოციის შესაბამისად იცვლება.



გაბრაზება



უსიამოვნება



სიამოვნება



1. სიხარული



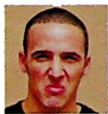
2. უსიამოვნება



3. შიში



შიში



ზიზღი



გაოცება



4. ზიზღი



5. გაბრაზება



6. გაოცება

ბ.

სურ. 12.2 ემოციები, გამოსატყუი ა) სახის მიმიკებით და ბ) პოზით

მოვიყვანოთ მარტივი მაგალითი. როცა რაიმე საინტერესო და დაძაბულ ფილმს ვუყურებთ, გარდა იმისა, რომ ჩვენი მიმიკური კუნთები დაძაბულობის შესაბამისად სახის გამომეტყველებას ცვლის და შეიძლება ემოცია სხეულთაც გამოეხატოთ, ხშირდება გულისცემა, მაღლა იწევს წნევა,

ძლიერდება ოფლის გამოყოფა, იზრდება კატეგორიზაციის შემცველობა სისხლში, ანუ ირღვევა ჰომეოსტაზი. მისი დარღვევა კი ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ემოციოგენურ ფაქტორს წარმოადგენს. მსგავს შემთხვევებში ადამიანი არა მარტო ემოციურ აგზნებას განიცდის, არამედ მას უჩნდება სათანადო მოტივაციაც.

მოტივაცია არის ცნს-ში ისეთი პროცესების აღქერა, რომლებიც მიმართულია ორგანიზმის ბიოლოგიური მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლად და, შესაბამისად, განაპირობებს ამ მოთხოვნილებათა რეალიზაციისათვის გამიზნული ქცევითი აქტის ნერვული მექანიზმების ორგანიზაციას. მოტივაცია-ემოციის უკეთ გააზრების მიზნით განვიხილოთ კვების მაგალითი: წვებით ქცევას ახორციელებს იმიტომ, რომ მას შია. ე.ი. კვებით ქცევა მოტივირებულია შიმშილით და, შესაბამისად, ამ შემთხვევაში მოტივაციის აღქერის მიზეზს შიმშილის ემოცია წარმოადგენს. როდესაც საკვებს ეუკეთებთ იგნორირებას, ეს ნიშნავს, რომ არ გვაქვს შიმშილის ემოცია (თუ სხვა რამ არაა ამ იგნორირების მიზეზი).

ემოციური და მოტივაციური ცენტრების აგზნების შედეგად ცნს-ში აქტივდება სპეციფიკური ნერვული კომპლექსი, რომელთა ერთობლიობა ადევნაბურ ქცევის გამშვებ მექანიზმს ანუ **დრაივს** წარმოადგენს. მაგ. მუშაობისას ადამიანი კარგავს წყალს. მას უჩნდება წყურვილის ემოცია და წყლის მიღების მოტივაცია. ამ დროს ხდება დრაივის ჩართვა, რომელიც "აიძულებს" ადამიანს მიიღოს წყალი, რათა აღდგეს ჰომეოსტაზი.

ქცევის განხორციელებას მოტივაციური მდგომარეობა განსაზღვრავს. უნდა აღინიშნოს, რომ მიზანდასახული ქცევა ეფექტურად სრულდება მოტივაციის ოპტიმალური დონის პირობებში. თუ მოტივაციის დონე ძალზე მაღალი ან ძალზე დაბალია, მიზანდასახული ქცევის წარმატებით რეალიზაცია ფერხდება. მოტივაციის საშუალო დონეს, როცა შეუფერხებლად და ყველაზე კარგად რეალიზდება მიზანდასახული ქცევა, **მოტივაციის ოპტიმუმი** ეწოდება. მაგ. სტუდენტები და მოსწავლეები გამოცდაზე იბნევიან; სპორტსმენები, ხშირად, ვარჯიშის დროს უკეთ ასრულებენ ილეთებს, ვიდრე ოფიციალურ შეჯიბრებებზე; ჯარისკაცები სასწავლო პოლიგონზე უკეთ მოქმედებენ, ვიდრე ბრძოლის დროს.

ჰიპოთალამუსი

საყოველთაოდ აღიარებულია და მრავალი კვლევით დადასტურებულია, რომ ემოციების ცენტრალურ მექანიზმებში მთავარ სტრუქტურას **ჰიპოთალამუსი** წარმოადგენს. ის აქტიურადაა ჩართული ჰომეოსტაზის ანუ შინაგანი არის მუდმივობის რეგულირებაში. სწორედ ჰიპოთალამუსია დრაივის ჩართვის ერთ-ერთი მთავარი მამოძრავებელი ძალა.

ჰიპოთალამუსი აფერენტულ იმპულსაციას იღებს სხვადასხვა წყაროდან (მაგ. ცთომილი ნერვიდან ის იღებს იმპულსაციას სისხლის წნევის შესახებ; რეტიკულური ფორმაციიდან – კანის ტემპერატურის შესახებ; ოპტიკური ნერვიდან – სინათლისა და სიბნელის შესახებ; პარაკუჭების მიმდებარე ნეირონებიდან – თავზურგტვინის სითხის შემადგენლობის შესახებ), რის საფუძველზეც ის არეგულირებს ავტონომიურ ნერვულ სისტემას, რომელიც, თავის მხრივ, არეგულირებს პულსს, წნევას, სუნთქვას ოფლის გამოყოფას და სხვა სიმპატიკურ და პარასიმპატიკურ ფუნქციებს.

ლიმბური სისტემის სხვა ნაწილებიდან და საყნოსავი ბოლქვებიდან მოსული ინფორმაციით ჰიპოთალამუსი არეგულირებს, ასევე, კვების პროცესს და სექსუალურ ქცევას.

ემოციას გააჩნია ორი მხარე: **სუბიექტური განცდა** და **გარეგნული გამოხატულება**. ჯერ კიდევ 1928 წელს, ჯეიმს ლანგმა ექსპერიმენტულად აჩვენა, რომ კატებში ჰიპოთალამუსის ელექტრულმა გაღიზიანებამ შეიძლება გამოიწვიოს აგრესიული ქცევა – განრისხების გარეგნული გამოხატულებით ან თავდაცვითი რეაქცია – შიშის გარეგნული გამოხატულებით.

ემოციის სუბიექტური განცდისთვის აუცილებელია ჰიპოთალამუსის კავშირი ნინა ტვინთან. თუ ეს კავშირი დარღვეულია, მაშინ განრისხებას არაკოორდინირებული ხასიათი აქვს და მას "ცრუ განრისხებას" უწოდებენ; ემოციის გარეგნული გამოხატულებისთვის აუცილებელია ჰიპოთალამუსის კავშირი შუა ტვინთან. თუ ეს კავშირი დარღვეულია, მაშინ ვერ ხერხდება "ცრუ განრისხების" გამოვლენაც კი.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ჰიპოთალამუსი ცენტრალურ როლს ასრულებს ემოციებში და მის ფუნქციებს წარმოადგენს ჰომეოსტაზის, კვების პროცესების, სექსუალური ქცევის და ენდოკრინული ჯირკვლების ფუნქციონირების რეგულაცია.

Hippocampus – ბერძნულად „ზღვის ცხენს“ ნიშნავს. ჰიპოკამპმა (სურ. 12.3) ეს სახელწოდება სწორედ ზღვის ცხენთან მისი ფორმის მსგავსების გამო მიიღო. ის ორი „რქისგან“ შედგება, რომელიც ქმნის რკალს ზემოდან ქვემოთ, ნუშისებრი კომპლექსისკენ. ჰიპოკამპს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მეხსიერების პროცესში. კერძოდ, ის ხელს უწყობს მოკლევადიანი მეხსიერების კონვერტირებას გრძელვადიანში. პაციენტებს, რომელთაც დაზიანებული აქვთ ჰიპოკამპი, უჭირთ ახალი ისტორიების დამახსოვრება, თუმცა შენარჩუნებული აქვთ ძველი მოგონებები.



სურ. 12.3 ა. ჰიპოკამპის მსგავსება ზღვის ცხენთან ბ. ჰიპოკამპის მდებარეობა ტვინის სილამდეში

ნუშისებრი სხეული

ნუშისებრი სხეული ანუ ამიგდალა ჰიპოკამპის ქვედა ნაწილის გაგრძელებას წარმოადგენს. ის, თავის მხრივ, მრავალი პატარა ბირთვისგან შედგება და სამ ანატომიურ და ფუნქციურ ნაწილად იყოფა: მედიალური, ბაზალატერალური და წინა/ცენტრალური ბირთვების ჯგუფი. ისინი მჭიდრო კავშირებს ამყარებენ დიდი ტვინის ქერქის სხვადასხვა ნაწილებთან, ჰიპოთალამუსთან და ტვინის ღეროსთან.

იღებს რა აფერენტებს დიდი ტვინის ქერქის სხვადასხვა უბნიდან, ამიგდალაზე ხდება სხვადასხვა სენსორული (მხედველობითი, აუდიტორული, ყნოსვითი და სხვ.) ინფორმაციის კონვერგენცია. მისი ნეირონები ემოციურ ხარისხს ანიჭებენ სენსორულ იმპულსებს და მართავენ კომპლექსურ ქცევას.

ამიგდალას კავშირები ჰიპოთალამუსთან და ტვინის ღეროსთან განაპირობებენ ემოციური ქცევის გამოხატვის სომატურ და ვისცერალურ ეფექტებს.

წინა საუკუნის 50-იანი წლების ბოლოს ლონდონის საუნივერსიტეტო კოლეჯში ჯონ დოუნერის მიერ პირველად იქნა ექსპერიმენტულად ჩავენები ამიგდალას როლი აგრესიულ ქცევაში. ნუშისებრი სხეულის ელექტრული სტიმულაცია ცხოველში იწვევს აგრესიას, ხოლო ამოკვეთა საერთოდ თრგუნავს მას და ცხოველს ძალიან „დამჯერეს“ ხდის. ამავდროულად, ამოკვეთის შედეგად ცხოველი ხდება ინდიფერენტული ისეთი სტიმულების მიმართ, რასაც შეიძლება ადრე შიში ან სექსუალური ლტოლვა გამოეწვია.

სარტყლისებური ხვეული

სარტყლისებური ხვეული (სურ. 12.1) ჩართულია ემოციისთვის მნიშვნელოვანი ფაქტორების მიმართ ყურადღების კონცენტრირებაში. ასევე, ჩართულია სუნთან და ტკივილთან ასოცირებულ მეხსიერებაში.

სტრუქტურა	ფუნქციებში ჩართულობა
პიპოთალამუსი	• ემოციები • ჰომეოსტაზის რეგულირება • კვება და სექსუალური რეაქციები • შიშის და თავდასხმა/თავდაცვის რეაქციები • ვეგეტატიური(ავტონომიური) ნერვული სისტემის რეგულირება • ენდოკრინული სისტემის რეგულირება • თავად წარმოადგენს ენდოკრინულ ჯირკვალს
ჰიპოკამპი	• ემოცია • დასწავლა • მეხსიერება
ნუშისებრი სხეული	• აგრესია • კვება • სექსუალური რეაქციები
სარტყლისებრი ხვეული	• ყურადღების კონცენტრირება • სუნთან და ტკივილთან ასოცირებული მეხსიერება

ცხრილი 12.1 ლიმბურ სისტემაში ჩართული სტრუქტურების ფუნქციები

ყურადღება არის გაცნობიერებული თუ გაუცნობიერებელი კოგნიტური პროცესი, რომელიც ფოკუსირდება ზოგიერთ გარეგან ან შინაგან სტიმულზე, სხვა ინფორმაციის სრული გადამუშავების ხარჯზე. ჯეიმს უილიამსის (1890) თანახმად, ყურადღება „ესაა გონების მიერ რამდენიმე თანადროული ობიექტიდან ან ფიქრების მატარებელიდან ერთ-ერთის მკაფიო და გამოხატული ფლობა“.

ყურადღება, როგორც „შერჩევითი“ პროცესი

ყურადღება, როგორც „შერჩევითი“ პროცესი, მიეკუთვნება კონკრეტული ინფორმაციის ან-ალბისთვის ნეირონული რესურსების განაწილებას იმ რესურსების ხარჯზე, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვა – ხელმისაწვდომი პარალელური ინფორმაციისთვის. აქ აუცილებელია ბრჭყალების გამოყენება, ვინაიდან უცნობია, რომელია ნაგულისხმევი აგენტი – ვინ თუ რა.

შერჩევითი ყურადღების ყველაზე კარგი მაგალითია სადღესასწაულო საღამო, სადაც მსმენელმა მრავალხმიან ხმაურში შეიძლება მხოლოდ ერთ ხმაზე გაამახვილოს ყურადღება, ხოლო დანარჩენი ხმები „გამორთოს“ ან „ჩაუწიოს“. ეს ეფექტი წინა საუკუნის 50-იან წლებში შეისწავლა ფსიქოლოგმა კოლინ ჩერიმ. ის საცდელ პირს ყურსასმენებით, ორივე ყურით ერთდროულად, ასმენინებდა ორ სხვადასხვა დიალოგს. პირს უნდა გამოეყო ერთ-ერთი მათგანი და, იმისათვის, რომ მას დაედასტურებინა მთავისი ყურადღება რომელიმე დიალოგის მიმართ, მცისვე უნდა გაემორებინა იგი. ამ ამოცანას საცდელი პირები წარმატებით ართმევდნენ თავს. თუმცა, როცა მათ ავალბდნენ მეორე დიალოგის რეპროდუქციას, ისინი მხოლოდ მცირე ნაწყვეტს იხსენებდნენ აღნიშნული დიალოგიდან. ჩერიმ საბოლოოდ დაასკვნა, რომ ყურადღების მექანიზმი სენსორული ინფორმაციის გადამუშავების საწყის დონეებზე ფილტრავს ე.წ. „დაუსწრებელ“ ინფორმაციას, ანუ იმ ინფორმაციას, რომელსაც არ მიაღწევს გონება.

მოუხედავად იმისა, რომ ყურადღების პროცესის ადრეული ეტაპი განსაზღვრავს იმას, თუ რა ინფორმაცია უნდა გადაეცეს დასამუშავებლად ტვინის ამა თუ იმ სტრუქტურას, გაირკვა, რომ გარკვეული ინფორმაცია „დაუსწრებელი“, ყურადღების გარეშე დატოვებული დიალოგიდან, მაინც ექვემდებარება გადამუშავებას, ვინაიდან ადამიანები მოგვიანო ეტაპზე იხსენებენ გარკვეულ ნაწყვეტებს, მაგ. სახელებს. ამის ასახსნელად მკვლევარების მიერ შემოთავაზებულ იქნა „გვიანი შერჩევის მოდელი“, რაც გულისხმობდა იმას, რომ ყურადღების გაფილტვრის მექანიზმი მხოლოდ მას შემდეგ იწყებს ამუშავებას, როცა ინფორმაციის გადამუშავების პროცესი ნერვული სტრუქტურების უფრო მაღალ დონეზე დასრულდება. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ყურადღების პროცესი უფრო მოგვიანო ეტაპზე იწყებს გაფილტვრის მექანიზმის ჩართვას. ფსიქოლოგმა ანე ტრაის-მანმა ივარაუდა, რომ გაფილტვრის სისტემა კონკურენტი სენსორული არხის მოქმედებას მხოლოდ ასუსტებს და ეს საკმარისი მოქმედება პროცესია. „დაუსწრებელი“ არხიდან მხოლოდ გამორჩეული ან რელევანტური ინფორმაცია (მაგ. სახელი) აღწევს ზღვარს შემდგომი გადამუშავებისთვის და საბოლოოდ აღწევს ცნობიერებას.

ყურადღების ფსიქოლოგიური თეორიები გადაიხედა შემდგომ, „შეგრძნების დატვირთვის“ გათვალისწინებით. რაც უფრო ტევადია ინფორმაცია, ანუ რაც უფრო მნიშვნელოვანია იგი, მით უფრო მეტი შანსი აქვს მას სხვა ინფორმაციაზე დომინირებისათვის.

ამდენად, ნეირონული რესურსების განაწილების მიხედვით, ინფორმაცია შეიძლება დაიშვას გადასამუშავებლად უფრო მაღალ დონეებზე, სადაც, საუარაუდოდ, მოქმედებს გვიანი შერჩევის მექანიზმი.

ენდომენური და ეგზომენური ყურადღება

ქცევითი კვლევების უმრავლესობა, მსგავსად ჩერის კვლევისა, მოიცავს ნებაყოფლობითი ყურადღების ამოცანებს. ექსპერიმენტატორის ინსტრუქციების მიხედვით, საცდელი პირი აბსოლუტურად გაცნობიერებულად ამახვილებს ყურადღებას ამა თუ იმ ამოცანაზე. ამ ტიპის ყურადღება

ცნობილია, როგორც ენდოგენური ყურადღება, რომელიც არის ნებაყოფლობითი და ემყარება საკუთარ მიზნებს, მოლოდინებს და ცოდნას.

აღნიშნულისგან განსხვავებით, ბუნებრივ გარემოში, უნებლიედ, ავტომატურად ხდება ყურადღების მიქცევა სტიმულებზე და ეს ფორმა ეგზოგენური ყურადღების სახელითაა ცნობილი. ეგზოგენური (ან უნებლიე) ყურადღება შესაბამეა იმ სიტუაციებს, როცა მოულოდნელი ხმაური, უეცარი ნათება, მოძრაობა ან სხვა გამოკვეთილი სტიმულები იწვევენ ყურადღების ფოკუსირებას ამ მოვლენაზე, სხვა მოვლენებზე ყურადღების დათრგუნვის ფონზე.

ენდოგენური ყურადღების მსგავსად, ეგზოგენური ყურადღება შესწავლილ იქნა სხვადასხვა ქცევით ექსპერიმენტში. მიუხედავად იმისა, რომ ორივე შემთხვევაში ფოკუსირება ხდება ერთ სტიმულზე, ამ ორ ფორმას შორის მნიშვნელოვანი ფუნქციური განსხვავებაა. პირველი განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ენდოგენურის შემთხვევაში წინასწარაა ცნობილი სტიმულის არსებობის შესახებ და ასე ხდება ყურადღების ფოკუსირება, ხოლო ეგზოგენურის შემთხვევაში ასეთი წინასწარი განწყობა არ არსებობს და ავტომატურად, უნებლიედ ხორციელდება ეს პროცესი. მეორე განსხვავებას წარმოადგენს დროის ფაქტორი. ენდოგენური ყურადღების შემთხვევაში, სამიზნე სიგნალის გადამუშავება იწყება ამ სიგნალის გამოჩენიდან 300 მსეკ-ის შემდეგ და გრძელდება რამდენიმე წამს, ან უფრო დიდხანს, იმ შემთხვევაში, თუკი სუბიექტი ამ სიგნალზე კვლავ ამახვილებს ყურადღებას. ამისგან განსხვავებით, ეგზოგენური ყურადღების მექანიზმების ამოქმედება გაცილებით უფრო სწრაფად – სიგნალის გამოჩენიდან 75 მსეკ-ის შემდეგ იწყება და რამდენიმე ასეული მსეკ-ის განმავლობაში გრძელდება. უფრო მეტიც, იმ პირებში, რომლებიც უფრო ნელა პასუხობენ სტიმულზე, პროცესი შეიძლება განმეორებით დაიწყოს სიგნალიდან 400-800 მსეკ-ის შემდეგ.

დაუფარავი და დაფარული ყურადღება

გარდა იმისა, რომ ყურადღება შეიძლება იყოს ენდოგენური და ეგზოგენური, ის შეიძლება იყოს, ასევე, დაუფარავი ან დაფარული. დაუფარავი ყურადღების შემთხვევაში ჩართულია თავი და თვალები, შესაბამისად, მხედველობითი და აუდიტორული პროცესები. დაფარული ყურადღების შემთხვევაში სტიმულზე ყურადღება გადაიტანება თავისა და თვალების მოძრაობის გარეშე. რუსმა ფსიქოლოგმა და კიბერნეტიკოსმა ალფრედ იარლუსმა პირველმა შეაფასა ხარისხობრივად სუბიექტის ფარული ყურადღება მზერაზე დაკვირვებით. სუბიექტებს ევალებოდათ დაეთვალიერებინათ სახვითი ხელოვნების ნიმუშები და ქანდაკებები. მან ნახა, რომ, საკვლევი პირები, ყოველგვარი ინსტრუქციის გარეშე, დაკვირვებას იწყებდნენ სახიდან და თვალებიდან, მაგრამ, როგორც კი ძილეოდით დავალება, დაედგინათ ასაკი, მზერა გადადიოდა სხეულზე და ტანსაცმელზე, რაც მიაწინებდა ამ ინფორმაციის მნიშვნელობაზე ამოცანის გადასაჭრელად.

ექსპერიმენტულად ფარული ყურადღება მე-19 საუკუნის ბოლოს იქნა აღწერილი გერმანელი ფიზიკოსის ჰერმან ფონ ჰელმჰოლცის მიერ. საკვლევი პირი ეკრანზე აფიქსირებდა მზერას და ამ დროს მოულოდნელად ჩნდებოდა ასოები. თუ ასო ჩნდებოდა მხედველობის არიდან მოპირებით და ამ დროს ყურადღება ამ მოპირებული არისკენ იყო გადატანილი, საკვლევი პირი გაცილებით უფრო ზუსტად ასდებდა ამ არეში გამოჩენილი ასოების რეპროდუქციას, ვიდრე მხედველობის არეში არსებულისას. ეს და მსგავსი ექსპერიმენტები ადასტურებენ, რომ გარემოს ცალკეული სტიმულების მიმართ ყურადღება დაუფარავად – თავის და თვალების მოძრაობით, თუ დაფარულად, მიმართულია ამ კონკრეტული სტიმულის მიმართ ყურადღების პროცესის გაუმჯობესებისკენ და ეს ხდება პარალელურად არსებული სხვა სტიმულების მიმართ ყურადღების პროცესის შესუსტების ხარჯზე.

ყურადღება სხვადასხვა სენსორული მოდალობების მიმართ

ყოველდღიურ ცხოვრებაში ხშირია შემთხვევები, როცა ორი სხვადასხვა მოდალობის სტიმული ერთდროულად ან დროში ერთმანეთთან ახლოს ჩნდება. ამ დროს შეინიშნება ტენდენცია იმისა, რომ ერთი მოდალობის მიმართ ყურადღება მოიცავს მეორესაც. მაგ. მეყვარე ძალი, მეგობრის ხმა და გამოხედვა, ახლადგამოცხვარი ხაჭაპურის ვიზუალი და სურნელი, ან სხვა მსგავსი ობიექტები განიხილება, როგორც მულტისენსორული ობიექტები.

სხვადასხვა სენსორულ მოდალობებზე ყურადღების განაწილება ლაბორატორიულადაც იქნა შესწავლილი. მაგ. თავის ქალაქიდან მოვლენასთან დაკავშირებული პოტენციალების (მძბ) მულტი-ელექტროდულმა ჩანერამ აჩვენა, რომ აუდიტორული სტიმულის საპასუხო მძბ გაცილებით უფრო ძლიერდებოდა, თუ მათი ჩანერის ადგილი ემთხვეოდა ვიზუალური სტიმულის ლოკაციას – უმნიშვნელო აუდიტორულ სტიმულზე ჩანერილი მძბ-ც კი იზრდებოდა ვიზუალური სტიმულის თანხლებით. მსგავსი შედეგები იქნა ნახაზი ვიზუალური და ტაქტილური, ასევე, აუდიტორული და ტაქტილური მოდალობების შემთხვევაში.

სუპრამოდალური კავშირის ბიოლოგიური მნიშვნელობა სივრცობრივი ყურადღებისას მარტივად ასახსნელია. კერძოდ, თუ ერთი მოდალობის მნიშვნელოვანი სტიმული რომელიმე კონკრეტულ ლოკაციაში იჩენს თავს და ამავე ლოკაციაში მას ემთხვევა სხვა რომელიმე მოდალობის უმნიშვნელო სტიმული, ამ შემთხვევაში, როგორც ჩანს, ეს მეორე სტიმულიც მნიშვნელოვანია და ემსახურება ობიექტის ბუნების ან მოვლენის უკეთ შეცნობას.

ყურადღების კონტროლის შესაძლო მექანიზმები

ლოგიკურია იმის წარმოდგენა, რომ ყურადღებას საფუძვლად უდევს გარკვეული ფორმის აღმასრულებელი კონტროლი. ამის გათვალისწინებით, ბევრი მკვლევარი ეცადა, მოეძებნა ის ნერვული მექანიზმი, რომელიც საფუძვლად უდევს ყურადღების მექანიზმს. მიუხედავად იმისა, რომ ნეირომეცნიერთა უმრავლესობა ითვალისწინებს ამას, თავად კონცეფცია ჯერ კიდევ პრობლემურ საკითხად ითვლება. აღსანიშნავია, რომ ტვინში ერთმანეთს გადაფარავენ ყურადღების მაკონტროლებელი და თავისა და თვლების მოძრაობების განმავირობებელი უბნები. ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ ყურადღების კონტროლი დაშენებულია იმ სისტემებზე, რომლებიც თავიდანვე ემსახურებოდა ობიექტისადმი და მოვლენებისადმი ორიენტაციას, რაც გადამწყვეტი იყო წარმატებული ქცევის განსახორციელებლად.

ნახევარსივრცის უშუალოდ ექვემდებარება

ტვინის ბევრი ფუნქცია უკავშირდება რომელიმე კონკრეტულ სტრუქტურას ან სტრუქტურათა სისტემას. მაგალითად, მხედველობის, სმენის, საყრდენ-მამოძრავებელი, ვისცერალური და მოტორული სისტემები წარმოადგენენ ანატომიურად და ფუნქციურად სპეციალიზირებულ უბნებს, რომლებიც შესაბამის ფუნქციას ასრულებენ. ამ კუთხით ყურადღებას არ ემსახურება რომელიმე ცალკეული სტრუქტურა ან სისტემა. მას არ გააჩნია გამოყოფილი ნერვული სუბსტრაქტი. თუმცა, კლინიკური მონაცემები მეტყველებენ იმაზე, რომ ტვინის სხვადასხვა უბნების დაზიანებას შეუძლია გამოიწვიოს სხვადასხვა ხასიათის და მექანიზმის ყურადღების დეფიციტი.

პირველი ცნობები ყურადღების შესახებ, ანატომიური კუთხით, მიღებულია ნევროლოგიურ პაციენტებზე დაკვირვებით. ფართოდაა გავრცელებული მარჯვენა თხემის წილის ქვედა ნაწილის და მიმდებარე რეგიონების დაზიანება, რომელიც პირველად იქნა აღწერილი წინა საუკუნის 40-იან წლებში. ამ დაზიანების შედეგად პაციენტი ვერ აღიქვამს საგნების და გარემოს მარცხენა მხარეს.

ერთი შეხედვით, შეიძლება იფიქროს ადამიანმა, რომ აქ მხედველობის პრობლემასთან გვაქვს საქმე. სინამდვილეში კი ამ კუთხით არანაირი პრობლემა არ არსებობს, ვინაიდან ვიზუალური სტიმულები უპრობლემოდ აღწევენ ქერქს. მთავარ პრობლემას წარმოადგენს ყურადღების და არა მხედველობის დეფიციტი.

დაზიანების ხარისხიდან და სიმძიმიდან გამომდინარე, შესაძლებელია პაციენტმა აღიქვას ობიექტი მარცხენა მხარეს, თუ ის სპეციალურად გაამახვილებს მასზე ყურადღებას, ან მოტივირებული იქნება მის დასახად. მაგ. მძიერ პაციენტს თუ დაუდებენ საქმელს მარცხენა მხარეს, ის აუცილებლად დაინახავს მას, ხოლო თუ პაციენტს დაზიანებული აქვს მხედველობის ქერქი, მაშინ ის ვერ ხედავს ობიექტებს კონტრალატერალურ მხარეზე.



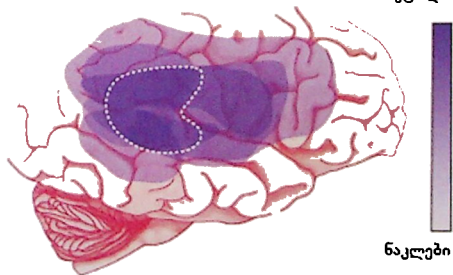
ბ.

სურ. 13.1 კლინიკური ტესტები მარცხენა ნახევარსიერის (პემისტერული) უგულბელყოფისას.
ა. პაციენტის მიერ შესრულებული ვიზუალური კოპირების ტესტი; ბ. მეხსიერებით დახატული საათი

სურ. 13.1-ზე ნაჩვენებია კლინიკური ტესტის შედეგები იმ პაციენტებში, რომელთაც დაზიანებული ჰქონდათ მარჯვენა თხემის წილის ქვედა ნაწილი. ერთ შემთხვევაში (ა) მათ დაეღუბა ეძლეოდათ ობიექტის გადახატვა, თუმცა ისინი ამ ობიექტის მხოლოდ მარჯვენა ნახევარს ხატავდნენ; მეორე შემთხვევაში (ბ) მათ თხოვდნენ, დაეხატათ საათი მეხსიერებით. ისინი ამ შემთხვევაშიც ხატავდნენ ნახევარს. ზოგჯერ იმასაც კი იხსენებდნენ, რომ თორმეტივე რიცხვი უნდა ყოფილიყო ციფერბლატზე, თუმცა თორმეტივეს ცალ მხარეს წერდნენ, ციფერბლატის ნახევარი კი ცარიელი რჩებოდა.

პაციენტებში ყურადღების შეფასების საინტერესო ტესტი ტარდება მოძრავი ობიექტის გამოყენებით. ტესტი ორეტაპიანია. პირველ ეტაპზე პაციენტის წინ დგება ექიმი და თხოვს მას, თითო თვალი გადაყოლოს. ამ შემთხვევაში პაციენტი ხედავს მოძრავ თითს მარცხენა მხარეზეც. ეს იმით აიხსნება, რომ მოძრაობა საკმაოდ ძლიერი სტიმულია ყურადღებისთვის. მეორე ეტაპზე, თუკი ექიმი უკვე ორ თითს აამოძრავებს ერთდროულად, მაშინ პაციენტები მხოლოდ ერთ მათგანს აფიქსირებენ – მას, რომელიც მარჯვენა მხარესაა. ეს ტესტი უჩვენებს, რომ მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსიერების შორის ირთვება კონკურენცია და აქ ადგილი აქვს ყურადღების დეფიციტს და არა სენსორულ (მხედველობის) დაზიანებას.

მეტი დაზიანება



ნაკლები დაზიანება

სურ. 13.2 ქერქის სხვადასხვა უბნის დაზიანება,
რომელიც იწვევს მარცხენა ნახევარსიერის უგულბელყოფის სინდრომს.

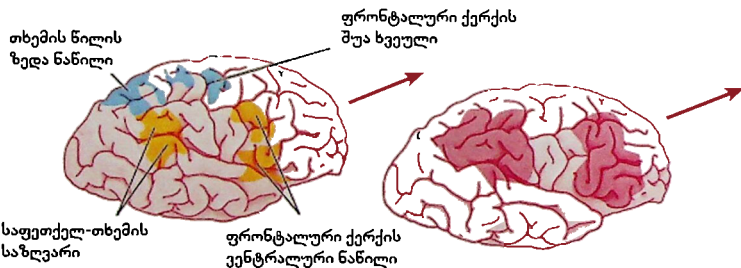
სურ. 13.2-ზე დიაგრამა უჩვენებს რვა პაციენტიდან მიღებულ ქერქის დაზიანების უბნებს მარჯვენა ნახევარსიერის სხვადასხვა პაციენტში უბნების დამთხვევის ხარისხი უფრო მუქადაა ნაჩვენები. მიუხედავად იმისა, რომ დაზიანებები შუბლის და თხემის წილებზე და საფეთქლის წილის ნაწილზე მოდის, ყველაზე უფრო მეტად ზიანდება მარჯვენა პემისტეროს თხემის წილის ქვედა ნაწილი (წყვეტილი ხაზით შემოსაზღვრული).

ყურადღების პროცესში ჩართული ტვინის სხვა სტრუქტურები მოსაზრებები ყურადღების პროცესის ბაზისის შესახებ

ზემოაღნიშნულის გარდა, ყურადღების დეფიციტი შეიძლება გამოიწვიოს, ასევე, ქერქის ფრონტალური ნილის იმ უბნების დაზიანებამაც, რომლებიც დაკავშირებულია თხემის ნილთან. როგორც წესი, შუბლის ნილის ამ რეგიონების ცალმხრივი დაზიანება დიდ გავლენას ახდენს ყურადღების მოტორულ ასპექტებზე, რაც რისკის ქვეშ აყენებს თვალების მოძრაობის დანაწილების პროცესს და თვალისა და კიდურების გადაადგილების უნარს კონტრალატერალურ სივრცეში. კერძოდ, პაციენტმა შეიძლება დაკარგოს დაზიანების კონტრალატერალური მხარისკენ თვალის გაყოლების და, შესაბამისად, ყურადღების მიმართვის უნარი. უფრო მეტიც, ასეთ პაციენტებს უჭირთ ერთი ამოცანიდან მეორეზე გადართვა და არააქტუალური ინფორმაციის იგნორირება.

ყურადღების კონტროლზე მოქმედებს, ასევე, ტვინის ღეროს გარკვეული უბნების დაზიანებაც, რომლებიც, აგრეთვე, დაკავშირებულია თხემის ნილთან.

პაციენტებიდან მიღებული ინფორმაცია გაამდიდრა ჯანმრთელ მოხალისეებზე ჩატარებულმა ტესტებმაც. ნანაბი იქნა, რომ ამოცანები, რომლებიც ითხოვენ ყურადღების ჩართვას, ერთდროულად ააქტივებენ ტვინის სხვადასხვა უბანს თხემის ნილის დორსალურ და შუბლის ნილის დორსოლატერალურ ნაწილში (სურ. 13.3). იგივე უბნები აქტიურდება სივრცეში ორიენტაციისას ან მაგ. ფერების დანახვისას. მოულოდნელი მოვლენის გამო ყურადღების უნებლიე გადატანა ასოცირდება მარჯვენა ჰემისფეროში შუბლისა და თხემის ნილის საზღვართან მყოფი თხემის ნილის ვენტრალური ნაწილის დამატებით აქტივაციასთან, რომელიც, თავის მხრივ, ააქტიურებს ფრონტალური ანუ შუბლის ნილის დორსალურ რეგიონებს. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით, **მაურიციო კორბეტამ და გორდონ შულმანმა** წამოაყენეს მოსაზრება, რომ ყურადღების პროცესი იმართება ორი, ფუნქციურად განსხვავებული სისტემის მიერ, რომელთაგან ერთი (ქერქის ინტრაპარიეტალური და შუბლის ნილის ზედა ნაწილები) ემსახურება ენდოგენურ, ხოლო მეორე – ეგზოგენურ ყურადღებას (თხემ-საფეთქლისა და შუბლის ნილის ვენტრალური ნაწილი, ძირითადად, მარჯვენა ჰემისფეროში).



ბ.

სურ. 13.3 ა. ყურადღების მართვის ქსელი კობერტასა და შულმანის მიხედვით. ლურჯად შეფერილი უბნები შეესაბამება დორსალურ შუბლ-თხემის უბნებს, რომლებიც, ძირითადად, ენდოგენური ყურადღებისას აქტივდებიან. ყვითელ ფერით ვენტრალური უბნებია მონიშნული, რომლებიც აქტივდებიან ეგზოგენური სტიმულებით და ორიენტაციის გადატანისას. ბ. დაზიანებული არეები ნახევარსივრცის უგულვებელყოფისას. წითელი ისარი მიუთითებს ტვინის წინა მხარეზე.

სურ. 13.3-ზე მონიშნული ასოციაციური ქერქის რეგიონები ზრდიან აქტივობას, როცა სუბიექტი რაიმეზე ამახვილებს ყურადღებას. გარდა ამისა, ისინი კიდევ ბევრ ფუნქციაში არიან ჩართულნი. ყურადღების ეს სავარაუდო ქსელი სუბიექტს აძლევს საშუალებას პარალელურ სტიმულებში გამოყოფს რელევანტური ინფორმაცია და შემდეგ გადაამუშაოს ის. ჩვეულებრივ, ადამიანი თავად ნყევტს, რაზე გაამახვილოს ყურადღება, ანუ ვუშვებთ „მე“-ს არსებობას, რომელიც ფოკუსირებას ახდენს ენდოგენურ ყურადღებაზე. ნეირობიოლოგიის გადასახედიდან რთულია იპოვო აღმასრულებელი მაკონტროლებელი სტრუქტურა, რომელიც აკონტროლებს ტვინის დანარჩენი უბნების

აქტივობას ყურადღების პროცესში. აღმასრულებელმა სისტემამ, ერთი მხრივ, ინფორმაცია უნდა მიიღოს ყველა იმ სისტემისა და ქვესისტემისგან, რომლებიც ჩართულია შინაგანი და გარე გარემოს აღქმის პროცესში; მეორე მხრივ, უნდა გაითვალისწინოს მესხიერებაში არსებული შესაბამისი ინფორმაცია და მოახდინოს მათი ინტეგრირება, რაც საბოლოოდ ადამიანის ეფექტური მდგომარეობის გამოხატვით უნდა დასრულდეს. გარდა ამისა, აღმასრულებელმა სისტემამ გადამუშავებული რესურსი უნდა მიმართოს სიერცემი ნებისმიერ ადგილას, ობიექტის ნებისმიერ კონკრეტულ ნიშანზე ან სცენაზე და თანაც, დროის ნებისმიერ მონაკვეთში. **კორბეტა** და **შულმანი** თვლიან, რომ აღნიშნული სტრუქტურები ბევრ ქერქულ და ქერქქვეშ სტრუქტურას უკავშირდებიან და ამით შეიძლება აიხსნას აღმასრულებელი სისტემის მოქნილობა, თუმცა, ფაქტი რჩება ფაქტად, რომ ერთადერთი „სისტემა“, რომელსაც შეუძლია სხვადასხვა დიაპაზონის შინაგანი და გარეგანი ინფორმაციის ინტეგრირება ოპტიმალური ქცევის გენერირებისთვის ნებისმიერ მომენტში, ესაა მთელი ტვინი და ნერვული სისტემა.

არსებობს მეორე მოსაზრებაც, რომ თითქმის მხოლოდ ცალკეული სტრუქტურებია პასუხისმგებელი გარკვეული ტიპის ინფორმაციის გადამუშავებაზე. თუმცა, არც ამით შეიძლება აიხსნას ყურადღების კონტროლის მექანიზმი.

საინტერესო მოსაზრებაა ე.წ. **რუქების არსებობა**. იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ ქერქული და ქერქქვეშ სტრუქტურები შეიცავენ უბნებს, რომლებიც სივრცის გარკვეულ მონაკვეთებს ან რაიმე მნიშვნელოვან თვისებას შეესაბამება. უმაღლესი ნეირონული აქტივობა, მათ შორის ამ უბნებში, ქმნის დე-ფაქტო პრიორიტეტების რუქებს, რაც განსაზღვრავს სუბიექტის მისწრაფებას. ვარაუდობენ, რომ ამ უბნების აქტივობაზე მოქმედებენ სენსორული სიგნალები, ობიექტის რელევანტურობა და მათი ადგილმდებარეობა, მოტივაცია, ემოცია, მოძრაობის დაგეგმვა და ა.შ. შედეგად, ყურადღებაზე ერთ უბანში (მაგ. მხედველობის არეში) შეიძლება გავლენა იქონიოს მთელმა რიგმა დამატებითმა ფაქტორებმა (ამ შემთხვევაში, არავიზუალურმა).

ყურადღების ფსიქოლოგიური და ნეირონული მექანიზმების გაგება გაცილებით დაიხვეწა ბოლო წლებში **ევგ** და **ფუნქციური მრტ**-ის გამოყენებით, რაც პირდაპირ აძლევს საშუალებას მკვლევარებს, დაინახონ ტვინის აქტივობა უშუალოდ ყურადღების პროცესში. მიუხედავად ამისა, დღესაც კი არ არსებობს ერთიანი შეხედულება ყურადღების პროცესის მექანიზმის შესახებ.

ტვინის კომპლექსური ფუნქციებიდან ერთ-ერთ უმთავრეს ფუნქციას წარმოადგენს წარსული ინფორმაციის შენახვის და შემდგომში მისი გაცნობიერებულად თუ ქვეცნობიერად რეპროდუქციის უნარი. ამ უნარის გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა წარსულის გახსენება და მომავლის წარმოდგენა.

პროცესს, რომლის საშუალებითაც ხდება ნერვული სისტემის მიერ ახალი ინფორმაციის და უნარების შექმნა და კონსოლიდაცია (განმტკიცება), **დასწავლა** ეწოდება. **მეხსიერება** კი უკვე შეძენილი ცოდნის და უნარების შენახვა და შემდგომში მისი აღდგენის უნარია. დასწავლა უჯრედულ და მოლეკულურ დონეზე მიმდინარეობს და ტვინის პლასტიურობას უკავშირდება. ჩვენ ვსწავლობთ და ვიმასხვრებთ სხვადასხვა ტიპის ინფორმაციას ან მოქმედებას. შინაარსით განსხვავებული ინფორმაცია და ქმედება ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურების მიერ და სხვადასხვა მექანიზმით რეგულირდება. უფრო მეტიც, ამ ინფორმაციის შენახვის ნეირონული გზა შეიძლება შეიცვალოს დროთა განმავლობაში.

მეხსიერების სახეები

მეხსიერების ორ ფორმას არჩევენ: **დეკლარაციულს** და **არადეკლარაციულს**.

დეკლარაციული მეხსიერება ინახავს და აღადგენს ისეთ ინფორმაციას, რომელიც შეიძლება ენით გამოითქვას (დეკლარაცია/დეკლარირება). ასეთ ფორმას წარმოადგენს მაგ. გეოგრაფიული მდებარეობების, ტელეფონის ნომრების და სიმღერის ტექსტის დამახსოვრება. გარდა ამისა, ჩვენ ვიმასხვრებთ სხვადასხვა მოვლენასთან დაკავშირებულ ინფორმაციას. მაგ. „ფიზიკის გამოცდა საკმაოდ რთულია“, „ცურვა ვისწავლე მაშინ, როცა 5 წლის ვიყავი“, „მეგობრის ქორწილში კარგად ვიცეკვე“ ანუ, დეკლარაციული მეხსიერება ფაქტების და მოვლენების დამახსოვრებას.

ის, რასაც ადამიანები მეხსიერებას უწოდებენ, წარმოადგენს სწორედ დეკლარაციულ მეხსიერებას. სიცოცხლის მანძილზე ჩვენ კიდევ უფრო მეტი რამის დამახსოვრება გვინევს. ეს მეორე კატეგორიაა, რომელიც **არადეკლარაციული** მეხსიერების სახელითაა ცნობილი და რომელიც რამდენიმე კატეგორიად იყოფა. ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი კატეგორიაა **პროცედურული** მეხსიერება, როდესაც ხდება სხვადასხვა მოქმედების/მოტორული აქტის დამახსოვრება სენსორული სტიმულის არსებობის შედეგად. მაგალითად შეიძლება მოიყვანოთ მუსიკალური ინსტრუმენტებზე დაკვრა, კალათში ბურთის ჩადება, ან ფეხსაცმელზე ზონარის შეკერა. ეს აქტები, ძირითადად, გაავტომატიებული ქცევის ფორმით მიმდინარეობს: ჩვენ ვსწავლობთ გარკვეული აქტის შესრულებას და შემდეგ უკვე დაუფიქრებლად, თითქოს ქვეცნობიერის დონეზე, ვასრულებთ ამ აქტს. ძალიან ძნელია და ხშირად შეუძლებელიცაა, ზუსტად აღწერო, თუ როგორ ასრულებ ამ მოქმედებას. თუკი ამაზე დაფიქრდებით, მაშინ შესაძლოა საერთოდ ვერ შევასრულოთ იგი. დეკლარაციულისგან განსხვავებით, არადეკლარაციული მეხსიერება – ესაა ჩვევების, უნარების და ქცევის მეხსიერება.

დეკლარაციული მეხსიერების სახეები

დროში ხანგრძლივობის მიხედვით არჩევენ დეკლარაციული მეხსიერების სამ სახეს: **მყისიერს**, **მოკლევადიანს** და **გრძელვადიანს**.

მყისიერი მეხსიერება – ესაა ტვინის უნარი, შეინარჩუნოს და დაიმასხვროს გამოცდილება დაახლოებით 1 წამის განმავლობაში. მაგ. თვალის ნახტომისებურ მოძრაობას ერთი წერტილიდან მეორეზე ადამიანი წამში 3-4-ჯერ აკეთებს. ეს იმას ნიშნავს, რომ თვალი გამუდმებით აწვდის ტვინს წამიერ სურათს მხედველობის არეში მყოფი გარემოს შესახებ, მაგრამ ჩვენ აღვიქვამთ ამ გარემოს, როგორც სტაბილურს და არა დანაწევრებულს. მიუხედავად ამისა, თუ დავუზუსტებთ თვალს, თავისუფლად შევძლებთ აღვიდგინოთ ბოლო წამში დანახული სურათი.

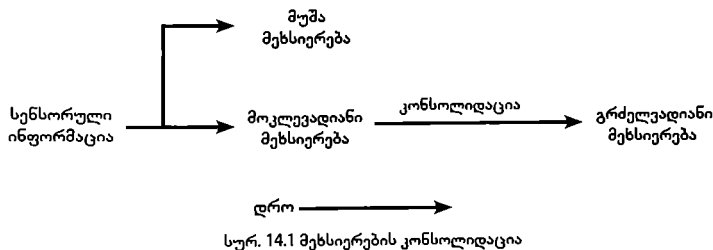
ინფორმაციის საკმაოდ დიდი რაოდენობა ტვინის მიერ დროებით ინახება მხოლოდ რამდენიმე საათის განმავლობაში. ეს **მოკლევადიანი** მეხსიერებაა. ის ძალიან ფაქიზია და ადვილად შეიძლება

დაიკარგოს, მაგ. თავის ტრავმისას ან ელექტროკონვულსიური თერაპიისას, რომელიც გამოიყენება ფსიქიკური დაავადებების სამკურნალოდ. მაგრამ, იგივე ტრავმა და თერაპია გავლენას არ ახდენს გრძელვადიან მესხიერებაზე. ამ ფაქტმა წარმოშვა მოსაზრება, რომ ფაქტები და მოვლენები ინახება მოკლევადიანი მესხიერებაში და მათი მხოლოდ ნაწილი კონვერტირდება გრძელვადიანში მესხიერების კონსოლიდაციის შედეგად (სურ. 14.1).

მოკლევადიანი მესხიერების პარალელურად განიხილება **მუშა მესხიერება**, რომელიც ინფორმაციას ინახავს რამდენიმე წამიდან წუთამდე, ანუ იქამდე, ვიდრე მიზანი მიიღწევა. მოკლევადიანისგან განსხვავებით, მუშა მესხიერება შეზღუდული შესაძლებლობისაა და ხშირად გამეორებას მოითხოვს. მაგ. ტელეფონის ნომრის დამახსოვრება. ერთდროულად შესაძლებელია 7 ± 2 ციფრის დამახსოვრება, ისიც მანამ, სანამ ამ ნომერს არ გადავიტანთ ქაღალდზე, ან არ ჩაიწერთ მობილურ ტელეფონში, ანუ ვიდრე არ მივაღწევთ მიზანს.

მესამე კატეგორიას მიეკუთვნება **გრძელვადიანი მესხიერება**, რომელიც მთელი ცხოვრების მანძილზე შეძენილ ინფორმაციას ინახავს. მოკლევადიანი მესხიერება შეიძლება გადავიდეს გრძელვადიანში და ეს კონვერტაცია შეიძლება მოხდეს სრულიად შეგნებულად, ან ქვეცნობიერის დონეზე, გარკვეული მოქმედების/ინფორმაციის ხშირი გამეორებისას.

ნებისმიერი მესხიერების კვალი ტვინში, ანუ **ენგრამა** დამოკიდებულია ნეირონთა შორის სინაპსური კავშირების ეფექტურობაზე და ახალი სინაპსური კავშირების წარმოქმნასა და გადანაცვლებაზე.



არადექლარაციული მესხიერება და დასწავლის სახეები

არადექლარაციული მესხიერება მიიღწევა დასწავლის ორი ფორმით: არაასოციაციური და ასოციაციური დასწავლით.

არაასოციაციური დასწავლა იწვევს ცვლილებებს ქცევით პასუხში, რომელიც ყალიბდება დროთა განმავლობაში რომელიმე ტიპის ერთ სტიმულზე. არჩევენ არაასოციაციური დასწავლის ორ ფორმას: **ჰაბიტუაციას** – მიჩვევას და **სენსიტიზაციას** – მგრძნობელობის გაზრდას.

ჰაბიტუაციის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ შემდეგი სიტუაცია: რეკავს ტელეფონი და ვპასუხობთ. ნომერი შეეშალათ. თუ ეს რამდენჯერმე გამეორდა, მაშინ აღარ ვუპასუხებთ ტელეფონის ზარს და ყურადღებასაც აღარ მივაქცევთ. ან კიდევ, ეზოში თუ გამუდმებით ყფის ძალი, რაღაც დროის შემდეგ მისი ყეფა „აღარ გვესმის“.

სენსიტიზაცია განსხვავდება ჰაბიტუაციისაგან: ნაცვლად იგნორირებისა, აქ ხდება გარკვეული სტიმულის მიმართ მგრძნობელობის მომატება. მაგ. თუ საღამოხანს მიდიხარ ქუჩის ბნელ შესახვევში და ამ დროს გაიგონებ ფეხის ხმას, ან მანქანა შემოუხვევს, თქვენ გარკვეული შიში შეგიპყრობთ. შეეცდებით აუჩქაროთ ნაბიჯს და სწრაფად გაეცალოთ იქაურობას. რა არის ამის მიზეზი? ძლიერმა სტიმულმა – სიბნელემ გამოიწვია მგრძნობელობის გაზრდა სხვა ისეთი სტიმულების (ფეხის ხმა, მანქანის ხმა) მიმართ, რაც ჩვეულებრივ პირობებში ან უმნიშვნელოდ, ან საერთოდ არ გამოიწვევდა თქვენს ასეთ რეაქციას.

არაასოციაციური დასწავლისგან განსხვავებით, **ასოციაციური** ანუ **პირობითი** დასწავლისას ქცევა იცვლება ერთმანეთთან ასოცირებული, მინიმუმ ორი სტიმულის მოქმედებით.

არჩევენ ასოციაციური ანუ პირობითი დასწავლის ორ სახეს: **კლასიკურს** და **ინსტრუმენტულს**. **კლასიკური** პირობითი დასწავლის მაგალითია ე.წ. „პავლოვის რეფლექსი“. ვიდრე აღენიშნება „პავლოვის რეფლექსი“ გამოუმუშავების მექანიზმს, განვიხილოთ რეფლექსთა სახეები.

რეფლექსთა სახეები

წარმოშობის მიხედვით არჩევენ **თანდაყოლილ** და **შეძენილ რეფლექსებს**.

დაბადებისას ადამიანს გააჩნია უამრავი თანდაყოლილი რეფლექსი, რომელთა გამოვლენასაც ინდივიდუალური გამოცდილება არ სჭირდება და მათ პავლოვმა **უპირობო რეფლექსები** უწოდა. დროთა განმავლობაში ადამიანი იძენს გამოცდილებას და მას უწინდება ახალი რეფლექსები, რომელიც **პირობითი რეფლექსების სახელითაა** ცნობილი. აღსანიშნავია, რომ უპირობო რეფლექსები ყოველთვის დაბადებისთანავე არ ვლინდება. ამის მიზეზს წარმოადგენს ის, რომ მათთვის აუცილებელი ნერვული სუბსტრაქტი დაბადებისთანავე დიფერენცირებული არაა. მაგ. ბავშვი სიარულს იწყებს მხოლოდ 1-1.5 წლის ასაკში და არა დაბადებისთანავე.

პირობითი რეფლექსის ჩამოყალიბებას წინ უძღვის **საორიენტაციო რეფლექსი**: ნებისმიერი მოვალეობის უჩვეულო და არადადგინებული გამლიზიანებელი დამახასიათებელ რეაქციებს იწვევს ცხოველს და ადამიანს, რაც გამოიხატება ყურადღების გამახვილებაში, გამლიზიანებისკენ თავის, თვალების და ზოგჯერ მთელი ტანის მიბრუნებაში და ა. შ. ცხოველი არ ამჟღავნებს აგრესიას, პირიქით, მიდის გამლიზიანებისკენ და იწყებს მის „შესწავლას“ ასეთ რეფლექსს **საორიენტაციო რეფლექსს** უწოდებენ. პავლოვი მას „**რა არის რეფლექსი**“ უწოდებდა. უჩვეულო სტიმულის რამოდენიმეჯერ გამეორების შემთხვევაში, თუ საორიენტაციო რეფლექსი არ „დავირგვინდა“ ცხოველისთვის სასარგებლო აქტით, მაგ. კვებით, მაშინ ის აუცილებლად გაქრება, ანუ ის სტიმული, რომელიც იქცევა ცხოველის ყურადღებას, უკვე აღარ წარმოადგენს მისთვის ინტერესის ობიექტს. ცხოველი ეჩვევა გამლიზიანებელს და ამ ფაქტს **პაბიტუაცია** ეწოდება.

გამლიზიანებელი გვხვდება სამი სტატუსით: უპირობო, ინდიფერენტული და პირობითი. ამასთან, ინდიფერენტული და პირობითი გამლიზიანებელი არის ერთი და იგივე აგენტი, მხოლოდ სხვადასხვა დროს.

უპირობო გამლიზიანებელი ეწოდება ისეთ აგენტს, რომელიც იწვევს თანშობილ რეფლექსს. მაგ. საკვები არის უპირობო გამლიზიანებელი კვებით რეფლექსში. **ინდიფერენტული** ეწოდება ყველა იმ გამლიზიანებელს, რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში არ იწვევს რეფლექსს.

რაც შეეხება **პირობითი გამლიზიანებელს**, მისი განმარტების მიზნით უნდა განვიხილოთ კლასიკური პირობითი რეფლექსის გამოუმუშავების პროცესი: თუ უჩვეულო ანუ ინდიფერენტული გამლიზიანებლის მოქმედებას თან სდევს ცხოველისთვის ბიოლოგიურად მნიშვნელოვანი ეფექტი, მაშინ ეს უჩვეულო გამლიზიანებელი გადაიქცევა პირობითი გამლიზიანებლად. მაგ. თუ მძიერ ცხოველს წინასწარ სინათლეს (ინდიფერენტულ გამლიზიანებელს) აუწყებენ, მას რეაქცია არ მოჰყვება ცხოველის მხრიდან. ხოლო, თუ სინათლის ანთების შემდგომ ცხოველს რამოდენიმეჯერ საკვებსაც (ბიოლოგიურად მნიშვნელოვან ეფექტს) მისცემენ, მაშინ სინათლის ანთება ამ ცხოველისთვის გადაიქცევა **პირობითი გამლიზიანებლად**. ე. წ. პირობითი რეფლექსის გამოუმუშავებისათვის პირველ პირობას წარმოადგენს ინდიფერენტულ და უპირობო გალიზიანებათა შეუღლება, ოღონდ ისე, რომ ინდიფერენტული გამლიზიანებლის მოქმედება წინ უსწრებდეს უპირობო გამლიზიანებელს.

პირობითი რეფლექსის გამოუმუშავებისთვის მეორე აუცილებელ პირობას წარმოადგენს სათანადო მოტივაციის არსებობა. თუ ზემოაღნიშნულ სიტუაციაში ცხოველი მიიერთა არ იქნება, მაშინ პირობითი რეფლექსი ვერ გამოუმუშავდება.

პირობითი რეფლექსის გამოუმუშავებისას ინდიფერენტულ და უპირობო გალიზიანებათა მიმღებ ნერვულ კომპლექსებს შორის ახალი ფუნქციური ნერვული კავშირები მყარდება, რომელთაც **დროებით კავშირებს** უწოდებენ. ეს კავშირები მხოლოდ ინდივიდუალური გამოცდილების საფუძველზე იქმნება. თუ რეფლექსის განმტკიცების მომდევნო დღეებში ინდიფერენტულ გამლიზიანებელს არ მოჰყვება პირობითი გამლიზიანებელი, მაშინ დროებითი კავშირები შესუსტდება და საბოლოოდ გაქრება კიდევ, ხანგრძლივი უმოქმედობის შემთხვევაში კი პირობითი რეფლექსი ჩაქრება.

არჩევენ კლასიკური პირობითი რეფლექსის სამ ტიპს: **თანადროულს**, **გვიანს** და **მიმყოლს** ანუ კვალის პირობითი რეფლექსს.

პირობითი რეფლექსი **თანადროულია**, თუ ინდიფერენტულ გამლიზიანებელს რამდენიმე წამში თან ერთვის უპირობო გამლიზიანებელი და ეს რეფლექსი რამდენიმე წამშივე გამოვლინდება;

გვიანია პირობითი რეფლექსი, თუ პირობითი გამლიზიანებელი ინდიფერენტულ გამლიზიანებელს 50-60 წამის შემდეგ ერთვის თან და 50-60 წამის შემდეგ გამოვლინდება;

მიმყოლის ანუ კვალის პირობითი რეფლექსის შემთხვევაში პირობითი გამლიზიანებელი ინდიფერენტულ გამლიზიანებელს ერთვის ამ უკანასკნელის შეწყვეტიდან გარკვეული დროის შემდეგ, პირობითი რეფლექსი კი გამოვლინდება პირობითი გალიზიანების შეწყვეტიდან გარკვეული ხნის შემდეგ.

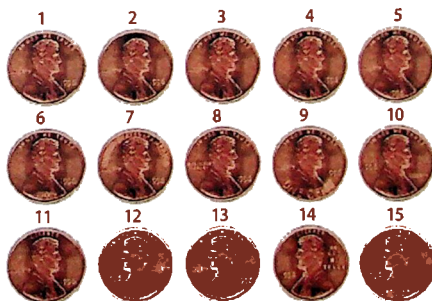
პირობითი რეფლექსი	უპირობო გამლიზიანებელი პირობითთან მიმართებაში	რეფლექსის ფარული პერიოდი
თანადროული	თითქმის თან ერთვის	მცირე
მოგვიანო	50-60 წმ შემდეგ ერთვის	50-60 წმ
მიმოყოლი/კვალის	უპირობო მოქმედებს პირობითის შეწყვეტიდან რამდენიმე ხნის შემდეგ	დიდი

ცხრილი 14.1 სხვადასხვა სახის პირობითი რეფლექსის მახასიათებლები.

ინსტრუმენტული პირობითი დასწავლა პირველად შესწავლილი იქნა კოლუმბიის უნივერსიტეტის ფსიქოლოგის **ედვარდ თორნდაიკის** მიერ 1890 წელს კატებზე. ასეთი ტიპის დასწავლისას ექსპერიმენტული ცხოველი საკვებს ჯილდოდ იღებდა იმ შემთხვევაში, თუ გაალებდა კარის სახელურს. მსგავსად პირობითი დასწავლისა, ინსტრუმენტული დასწავლის შემთხვევაშიც დასწავლა ხდება ორი სტიმულის შერწყმით, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ინსტრუმენტული დასწავლის დროს ერთი სტიმული გარკვეული ქმედებაა, რომელსაც ავტომატურად მოჰყვება მეორე სტიმული.

დავინყება

არცთუ ისე დიდი ხნის წინ ფსიქოლოგთა 84% თვლიდა, რომ ყველაფერი, რასაც ჩვენ ვსწავლობთ, პერმანენტულად ინახება გონებაში, თუმცა, არის დეტალები, რომელთა აღქმაც არ ხდება. მართალი აღმოჩნდა ის 16%, რომელსაც საწინააღმდეგო აზრი გააჩნდა: რომ არა დავინყება, ჩვენი ტვინი დაიმახსოვრებდა ბევრ უსარგებლო ინფორმაციას, რომელიც წუთიერად არის კოდირებული მყისიერ, მოკლევადიან და, აგრეთვე, გრძელვადიან მეხსიერებაში. მართლაც, ადამიანის ტვინის ძალიან კარგად შეუძლია დაივიწყოს უმნიშვნელო და უსარგებლო ინფორმაცია. მაგ. სურ. 14.2-ზე მოცემულია ერთცენტიანი მონეტის სხვადასხვა ვარიანტი. მონეტაზე „თავების“ მდებარეობის სხვადასხვა ვერსიია გამოსახული. მთავარი ყურადღება ექცევა მონეტის ყველაზე შესაშრევე დეტალს – თავის გამოსახულებას და შეუმჩნეველი რჩება მონეტის ის მცირე დეტალები, რითაც



სურ. 14.2 ერთცენტიანი მონეტის სხვადასხვა ვარიანტი

ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისგან. მიუხედავად ნაცნობი დიზაინისა, ძალიან ცოტა ადამიანს თუ შეუძლია გაარჩოს ავთენტური დიზაინი (სურ. 14.2-1). ცხადია, შესაძლებელია, რომ განმეორებითი ინფორმაცია (ყოველი შემდგომი ვერსიის შეუმჩნეველი დეტალი) არ იქნას შენახული მეხსიერებაში.

ამნეზია

მიუხედავად იმისა, რომ დაიცემა ნორმალური და აუცილებელი პროცესია, ის შეიძლება ნარ-მოადგენდეს პათოლოგიასაც, რომელიც **ამნეზიის** სახელწოდებითაა ცნობილი.

ნევროლოგიურ დაავადებას – ინსულტს, ხშირად თან სდევს ახალი (ინსულტისშემდგომი) მოგონებების რეპროდუქციის უუნარობა. ამნეზიის ამ ტიპს **ანტეროგრადული** ეწოდება. ხოლო, თუკი პაციენტს ძველი (ინსულტისწინა) ფაქტები ავიწყდება, მაშინ საქმე გვაქვს **რეტროგრადულ ამნეზიასთან**.

ანტეროგრადული და რეტროგრადული ამნეზია ხშირად ერთდროულად ვლინდება, მაგრამ, გარკვეული პირობების ფონზე, შეიძლება მხოლოდ ერთ-ერთი მათგანი გამოვლინდეს.

ცნობილია ამნეზიის მთელი რიგი ექსტრაორდინალური კლინიკური შემთხვევები. გარდა ამისა, ექსპერიმენტული კვლევები ვირთაგვებზე ნათელ სურათს იძლევა ამ პროცესში ჩართულ ნერვულ სტრუქტურებზე. დადგენილია, რომ ანტეროგრადულ და რეტროგრადულ ამნეზიაზე სხვადასხვა ანატომიური სუბსტრატია პასუხისმგებელი.

ანტეროგრადული ამნეზიისას ზიანდება შუამდებარე ტვინის შუა ხაზის და ქერქის საფეთქლის წილის მედიალური ნაწილის სტრუქტურები, კერძოდ კი ჰიპოკამპი და პარაჰიპოკამპალური ზეუ-ლი. ეს სტრუქტურები ჩართულია დეკლარაციული მეხსიერების საწყის ეტაპებზე. კერძოდ, ისინი პასუხისმგებელნი არიან ინფორმაციის დაფიქსირებაზე, მოკლევადიან შენახვასა და კონსოლიდა-ციაზე.

რაც შეეხება რეტროგრადულ ამნეზიას, ის გენერალიზებული დაზიანებების შედეგია, რომელ-იც ვითარდება ტრავმის ან ნეიროდეგენერაციული დაავადებების (მაგ. ალცჰაიმერის დაავადების) შედეგად.

გრძელვადიანი მეხსიერების სუბსტრატი

მრავალი წლის მანძილზე, კლინიკური შემთხვევების შესწავლის საფუძველზე, დადგენილ იქნა, რომ გრძელვადიანი მეხსიერების სუბსტრატი არ ემთხვევა მოკლევადიანი მეხსიერების სუბსტრატს.

აღმოჩნდა, რომ გრძელვადიან მეხსიერებაზე პასუხისმგებლობა დიდი ტვინის ქერქს ეკისრება. ის ხანგრძლივად ინახავს დეკლარაციული მეხსიერების სხვადასხვა ასპექტს.

იდეა იმის შესახებ, რომ მეხსიერების კვალი განანილებულია მთელ ქერქში, ეკუთვნის ამერ-იკელ ნეირომეცნიერს **კარლ ლეშლის**. მან ჩაატარა ასეთი ექსპერიმენტი: ვირთაგვებში, გარკვეული ამოცანის დასრულამდე და დასრულის შემდეგ, ერთმანეთისგან აცალკევებდა ქერქის სხვადასხვა უბანს (ნერვული კავშირების ჩაჭრით). როცა ნახა, რომ ამ ჩარევამ მეხსიერებაზე გავლენა არ იქონია, დაიწყო ცალკეული უბნების ამოკვეთა. შედეგად ნახა, რომ დასრულის და მეხსიერების დეგრადაცია დამოკიდებული იყო დაზიანებული ქერქის ფართობზე და, ასევე, დასასრული ამო-ცანის სირთულეზე.

გრძელვადიან მეხსიერებაზე, ძირითადად, ასოციაციური ზონებია პასუხისმგებელი. მაგ. თუ დაზიანდა ვერნიკეს ზონა, ადამიანი ვერ აკავშირებს ერთმანეთთან სიტყვებს და მათ მნიშვნელო-ბებს. როგორც ჩანს, ჰიპოკამპის მრავალრიცხოვანი კავშირები მეტყველებასთან დაკავშირებულ ქერქულ რეგიონებთან ემსახურება დეკლარაციული ინფორმაციის გადატანას ამ რეგიონებში და შემდეგ მათ შენახვას. იგივე პრინციპით, პაციენტებს, რომელთაც დაზიანებული აქვთ საფეთქლის წილი, ვერ ცნობენ ობიექტებსა და სახეებს, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ამ ტიპის ინფორმაცია სწორედ საფეთქლის წილში ინახება.

ადამიანში და, ასევე, ცხოველებში, ნებისმიერი მოდალობის პერიფერიული გალიზიანება საბოლოოდ დიდი ტვინის ქერქს აღწევს. დიდი ტვინის ქერქის იმ უბნებს, რომელთაც უშუალოდ უკავშირდება რაიმე მოდალობის მგრძნობიარე გზა, პირველად საპროექციო ზონებს უწოდებენ. სწორედ აქ ხდება სენსორული გზით მოსული ინფორმაციის აღქმა და საბოლოო ანალიზი. ივანე პავლოვი თვლიდა, რომ პერიფერიიდან მოსული ინფორმაციის ანალიზი რეცეპტორიდან იწყება, გაივლის თალამუსის სათელეო ბირთვებს და, საბოლოოდ, პირველად საპროექციო ზონაში მთავრდება. ასეთ სენსორულ სისტემას, რომელიც რომელიმე ერთი მოდალობის შეგრძნებას ემსახურება, მან ანალიზატორი უწოდა.

ზოგადად, სენსორული ინფორმაციის ნაწილი, რომელიც აფერენტული გზებით მოდის, სრულიად გაცნობიერებულია, თუმცა ამ ინფორმაციის ნაწილი ქვეცნობიერ დონეზე შეიგრძნობა ორგანიზმის მიერ და მასზე სათანადოდ პასუხობს.

ცნობიერებას ექვემდებარება გარეშე აღქმელი შეგრძნებები: სომატოსენსორული შეგრძნება ანუ კინესთეზია და ხუთი გრძნობა – ნაწანსნობა, გემოვნება, ყნოსვა, სუნა და მხედველობა.

ქვეცნობიერ დონეზე აღიქმება ვისცერალური (სისხლის წნევა, სისხლის pH და ჟანგბადის შემცველობა, თავზურგტვინის სითხის pH, ფილტვების ინჰალაცია, სისხლში შაქრის შემცველობა) და სომატური (კუნთების შეკუმშვა და მოღუნება) სტიმულები.

სომატოსენსორული შეგრძნება

სომატოსენსორული სისტემა ყველაზე მრავალფეროვანია გრძნობათა სისტემებს შორის. სხვადასხვა ტიპის რეცეპტორების საშუალებით ის ახდენს შეხების, წნევის, ვიბრაციის, კიდურების პოზიციის, სითბოს, სიცივის, ქაფილისა და ტკივილის შეგრძნებას. ეს რეცეპტორები მთელ სხეულშია გაბნეული და მათ მიერ აღქმული გარემოს ცვლილებები ნერვული იმპულსების სახით აღწევს ცნს-ს. ეს რთული ნეირობიოლოგიური სისტემა იყოფა სხვადასხვა ქვესისტემად, რომლებიც საკუთარი რეცეპტორებით არიან წარმოდგენილი პერიფერიაზე და, ასევე, განსხვავებული ცენტრალური გზები გააჩნიათ. მაგ. ერთი ქვესისტემა ემსახურება მსუბუქი შეხების, ვიბრაციის და წნევის შეგრძნებას და სათავეს იღებს კანში განლაგებული მექანორეცეპტორებიდან; მეორე ქვესისტემა იწყება კუნთებთან და სახსრებთან დაკავშირებულ სპეციალიზებულ რეცეპტორებში და პასუხისმგებელია პროპრიოცეფტიაზე – ადამიანის უნარზე, შეიგრძნოს საკუთარი სხეულის მდებარეობა სივრცეში; მესამე ქვესისტემა ცნს-ს აწვდის ინფორმაციას მტკივნეული სტიმულების, ტემპერატურის ცვლილების და, ასევე, შეხების შესახებ.

სომატოსენსორულ შეგრძნებას ანუ კინესთეზიას საფუძვლად უდევს ის ნერვული მექანიზმი, რომელიც სენსორულ ინფორმაციას იღებს მთელი სხეულიდან და ოთხ ტიპად იყოფა: მექანორეცეპტორული ანუ ტაქტილური (შეხების და წნევის) შეგრძნება; თერმორეცეპტორული (ტემპერატურის) შეგრძნება; პროპრიოცეფტია (სახსრებიდან, კუნთებიდან და მყესებიდან მომავალი იმპულსაციის შეგრძნება); ნოციცეპტორული (ტკივილის) შეგრძნება.

მექანორეცეპტორულ ანუ ტაქტილურ შეგრძნებას შეხებისა და სხეულზე წნევის მოქმედების შედეგად ტაქტილური რეცეპტორების გააქტიურება განაპირობებს. ისინი ექვსი სახისაა და სხეულის სხვადასხვა უბანშია განლაგებული: ზოგიერთი მათგანი ზედაპირულად, კანის ზედა შრეებში, თავისუფალი დაბოლოებების სახითაა წარმოდგენილი, ზოგი კი უფრო ღრმა შრეებშია მოთავსებული.

ადამიანს სხვადასხვა ტემპერატურული დონის აღქმის უნარი აქვს. ჩვენ აღიქვამთ გამყინავ სიცივს, სიცივეს, სიგრილეს, ინდიფერენტულ ტემპერატურას, სითბოს, სიცხეს და მწველ სიცხეს, ანუ გვაქვს თერმული ზემოქმედების გრადაციული აღქმის უნარი.

თერმული გრადაციის შეგრძნებას უზრუნველყოფს სამი ტიპის – სიცივის, სითბოს და ტკივილის რეცეპტორების სხვადასხვა ინტენსივობით გალიზიანება. ისინი განლაგებულია უშუალოდ კანქვეშ. აღსანიშნავია, რომ სიცივის რეცეპტორების რაოდენობა დაახლოებით 10-ჯერ აღემატება სითბოს რეცეპტორების რაოდენობას.

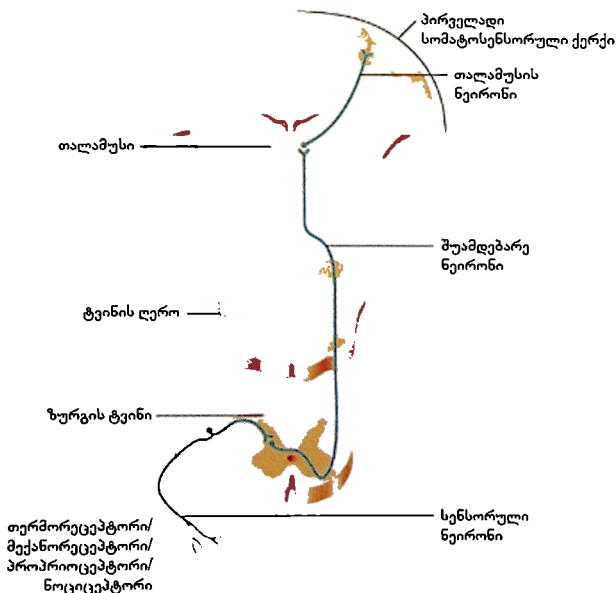
გამყინავი სიცივის დროს აქტიურდება მხოლოდ ტკივილის რეცეპტორები. თუ იმატებს ტემპერატურა, გააქტიურდება იწყებს სიცივის რეცეპტორები. როდესაც ტემპერატურა მიაღწევს

24°-ს, სიცივის რეცეპტორები მაქსიმალურად იგზნებიან. ტემპერატურის შემდგომ მატებასთან ერთად მათი შეგრძნების უნარი მცირდება და 40°-ზე საერთოდ ქრება. ამასთან, 30°-ზე ერთვებიან სითბოს რეცეპტორები. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად აქტივობა ჯერ იზრდება, შემდეგ მცირდება და საბოლოოდ წყდება 49°-ზე. ამასთან, დაახლოებით 43-45°-ზე კვლავ აქტიურდება ტკივილის რეცეპტორები. აღნიშნულ ტემპერატურაზე მოქმედებას იწყებენ სიცივის რეცეპტორებიც და ამ მოვლენას სიცივის რეცეპტორების პარადოქსულ რეაქციას უწოდებენ. ამ დროს ადამიანი, ნაცვლად სიცხისა, სიცივის შეიგრძნობს – „აყრჟოლებს“ და კანზე „ბატის კანი“ წარმოიქმნება. ამის მიზეზი სიცივის რეცეპტორების უფრო ზედაპირული განლაგებაა, რის გამოც ეს რეცეპტორები პირველები აღიქვამენ ტემპერატურის ცვლილებას და ქმნიან სიცივის შთაბეჭდილებას.

პროპრიოცეპტული შეგრძნება – ესაა სხეულის სხვადასხვა ნაწილების ურთიერთგანლაგების შეგრძნება სივრცეში, ანუ, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ესაა საკუთარი სხეულის მდებარეობის შეგრძნება სივრცეში, პროპრიოცეპტორებიდან მოსული იმპულსაციის საფუძველზე. **პროპრიოცეპტორები** – ესაა კუნთებზე, მყესებზე და სახსრებზე მოთავსებული რეცეპტორები, რომლებიც მუდმივად აგზავნიან ინფორმაციას თავის ტვინში სხეულის მდებარეობის შესახებ, რაც იძლევა კოორდინირებული მოძრაობების შესრულების საშუალებას.

ქერქის სომატოსენსორული ზონები

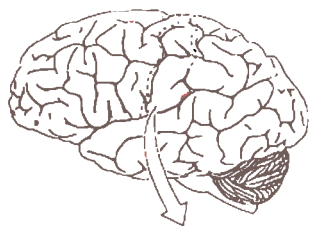
ნებისმიერი ზემოხსენებული შეგრძნების შემთხვევაში სომატოსენსორული ნეირონული გზა სამი ნეირონისაგან – სენსორული, შუამდებარე და თალამუსის ნეირონისაგან შედგება, რომელიც საბოლოოდ სომატოსენსორულ ქერქს აღწევს (სურ. 15.1). აღსანიშნავია, რომ მარჯვენა მხარეს აღქმული გარემოს ცვლილება მარცხენა ნახევარსფეროში მდებარე სომატოსენსორულ ქერქში მიემართება და პირიქით. ამის მიზეზი კი არის ის, რომ ზურგის ტვინის დორსალურ რქაში მდებარე შუამდებარე ნეირონები იქვე გადადიან კონტრალატერალურ მხარეზე და ამავე მხარეს აგრძელებენ გზას.



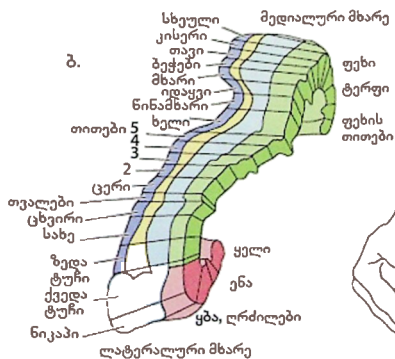
სურ. 15.1. სომატოსენსორული გზა

სომატოსენსორულ ქერქში არჩევენ პირველად, მეორად და ასოციაციურ ნაწილებს.

პირველადი სომატოსენსორული ქერქი (სურ. 15.2 ა,ბ) მოიცავს ბროდმანის პირველ, მე-2, მე-3ა და მე-3ბ ველებს. კვლევებით ნაჩვენებია იქნა, რომ ოთხივე ამ ზონაში სხეულის უკლებლივ ყველა ნაწილია წარმოდგენილი – პირველად სომატოსენსორულ ქერქს გააჩნია სომატოტოპური ორგანიზაცია (სურ. 15.2ბ). ამ სომატოტოპურ რუკაზე ფეხის, ტერფის, ტანის და თავის წარმომადგენლობები მედიალურადაა განლაგებული, ხოლო სახის ნაწილები – ლატერალურად. ამასთან, სახის ნაწილების და ხელის თითების წარმომადგენლობა გაცილებით დიდია ტანის და ფეხების წარმომადგენლობასთან შედარებით. ამიტომაც პომუნელუსზე (homunculus – ლათ. პატარა კაცი) სახე და ხელი ყოველთვის ფართოდ – დისპროპორციულად არის გამოსახული (სურ. 15.2გ).



პირველადი სომატოსენსორული ქერქი (SI)	☐ ველი 1 ☐ ველი 2 ☐ ველი 3ა ☐ ველი 3ბ
მეორადი სომატოსენსორული ქერქი (SII)	☐



სურ. 15.2. პირველადი საპროექციო ზონის სომატოტოპური ორგანიზაცია. ა. 1930 წელს, პაციენტებზე კვლევის შედეგად დადგენილი სომატოსენსორული ქერქის საზღვრები; ბ. დიაგრამა, რომელიც უჩვენებს სომატოსენსორული ქერქის სომატოტოპურ ორგანიზაციას. გ. დისპროპორციული პომუნელუსი.



მიუხედავად იმისა, რომ სომატოსენსორული ზონის სხვადასხვა უბნის ტოპოგრაფიული აგებულება მსგავსია, ყოველ უბანს განსხვავებული ფუნქცია გააჩნია. ექსპერიმენტულად ნაჩვენებია, რომ 1 და 3ბ ველის ნეირონები პასუხობენ კანის გაღიზიანებაზე/შეხებაზე, მაშინ, როცა 3ა ველის ნეირონები პასუხობენ პროპრიოცეპტორებიდან მოსულ გაღიზიანებას, მე-2 ველი კი ორივე ტიპის გაღიზიანებას იღებს.

პირველადი სომატოსენსორული ქერქიდან ინფორმაცია კიდევ უფრო „მაღალ“ ქერქულ საფეხურებზე მეორად სომატოსენსორულ ქერქსა (სურ. 15.2ა) და სომატოსენსორულ ასოციაციურ ზონაში გადადის.

მეორადი სომატოსენსორული ქერქი მოიცავს ბროდმანის მე-40 და 43-ე ველებს (თავი 11. სურ. 11.5). აქ ხდება პირველად ზონაში მიღებული სხვადასხვა სახის სენსორული ინფორმაციის კონვერგენცია. გასათვალისწინებელია, რომ პირველადის დაზიანების შემთხვევაში მეორადი სომატოსენსორული ქერქიც წყვეტს ფუნქციონირებას. ეს უკანასკნელი ორივე პემისფეროში მჭიდროდაა ერთმანეთთან დაკავშირებული. ამ ზონიდან ინფორმაცია ლიმბურ სტრუქტურებს – ნუშისებრ სხეულს და ჰიპოკამპს მიეწოდება, რაც ტაქტილური დასწავლის და მეხსიერების საფუძველს ქმნის.

სომატოსენსორული ასოციაციური ზონა მოიცავს ბროდმანის მე-5 და მე-7 ველებს (თავის

წილი). პირველადი სომატოსენსორული ქერქი ინფორმაციის ნაწილს სწორედ ამ ველებს გადასცემს. აქ ხდება მიღებული ინფორმაციის საბოლოო გაშიფვრა, უკვე გადამამუშავებული ინფორმაცია კი მოტოკორტექსს გადაეცემა.

სომატოსენსორული ასოციაციური ზონის ცალმხრივი და ორმხრივი დაზიანება განსხვავებულ ეფექტებს იძლევა. ცალმხრივი დაზიანების შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, თავს იჩენს ნახევარსივრცის უგულბეზყოფა, ბილატერალური ანუ ორმხრივი დაზიანების შემთხვევაში კი ადამიანი კარგავს კინესთეზიური გაღიზიანებით აღძრული სენსორული ინფორმაციის ინტერპრეტაციის უნარს.

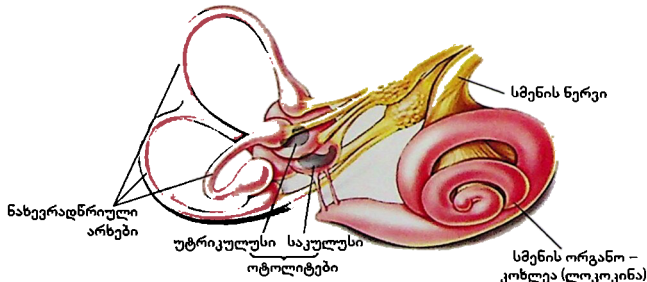
სომატოსენსორული ქერქის პლასტიურობა

რა ხდება პირველად სომატოსენსორულ ქერქში მაგ. ხელის რომელიმე თითის ამპუტაციის შემთხვევაში? უშუალოდ ამპუტაციის შემდეგ სომატოსენსორული ქერქის შესაბამის რეგიონში სენსორული პასუხი აღარ აღირიცხება, თუმცა, გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ, ეს რეგიონი მგრძნობიარე ხდება ამპუტირებული თითების გვერდით მდებარე თითების შეგრძნებაზე – „ცარიელ ადგილს“ ნელ-ნელა გვერდით მყოფი ზონების ფუნქცია ენიჭება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ადგილი აქვს ზრდასრული ნეოკორტექსის უჯრედების პლასტიურობას.

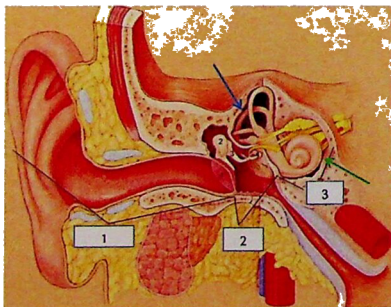
გრძნობათა ორგანიზმი

წონასწორობის შეგრძნება

ცნობიერებას დაქვემდებარებულ ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს შეგრძნებას წონასწორობის ანუ ვესტიბულური შეგრძნება წარმოადგენს, რომელიც ემსახურება ბალანსის შენარჩუნებას, სხეულის სხვადასხვა ნაწილების კოორდინაციას და სივრცეში ორიენტაციას. წონასწორობის შენარჩუნებაში არანაკლებ მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ პროპრიოცეფციით და მხედველობით აღქმული სიგნალები. ამ სიტუაციაში ადგილი აქვს სხვადასხვა მოდალობის სიგნალების ინტეგრაციას.



სურ. 15.3. ვესტიბულური აპარატის სტრუქტურა



სურ. 15.4. ყურის აგებულება: (1) გარეთა ყური, (2) შუა ყური, (3) შიგნითა ყური; ლურჯი ისარი მოუთითებს შიგნითა ყურში ჩამჯდარ ვესტიბულური აპარატზე, ზოლო მწვანე – სმენის ორგანოზე, ლოკოკინაზე. პატარა ციფრები: 1 – დაფის აპკი, 2 – ჩაქუჩი, 3 – გრდემლი, 4 – უზანგი, რომლებიც სმენის პროცესში იღებენ მონაწილეობას.

ვესტიბულური შეგრძნებას ემსახურება **ვესტიბულური აპარატი** (სურ. 15.3), რომელიც შიგნითა ყურის ძელოვან ლაბირინთშია ჩამჯდარი სმენის ორგანოსთან – **ლოკოკინასთან** ერთად (სურ. 15.4). ორივე მათგანი შიგნიდან მთლიანად ყელატინური სუბსტანციით – **ენდოლიმფითაა** ამოვსებული.

ვესტიბულური აპარატი მოიცავს შემდეგ განყოფილებებს: **სამ ნახევრადწრიულ არხს და ოტოლიტებს** – **უტრიკულუსს და საკულუსს**.

ნახევრადწრიული არხები ერთმანეთის მიმართ თითქმის პერპენდიკულარულადაა განლაგებული (სურ. 15.3) და შეიგრძნობენ კუთხურ აჩქარებას და, შესაბამისად, თავის მოძრაობას სამ სიბრტყეში ანუ სამ განზომილებაში.

ნახევრადწრიული არხების ერთი ბოლო ფართოვდება, რომლის ფუძეზე მოთავსებულია ვესტიბულური რეცეპტორები – **ნამწამოვანი უჯრედები**. თავის მოძრაობისას ენდოლიმფა გადაინაცვლებს თავის მოძრაობის საპირისპირო მხარეს, რასაც მოძრაობაში მოჰყავს ვესტიბულური რეცეპტორული უჯრედების ნამწამები, ეს კი იწვევს ვესტიბულური ნერვული დაბოლოებების დეპოლარიზაციას და გაერეცვლებადი აგზების წარმოშობას.

ნახევრადწრიული არხებისაგან განსხვავებით, უტრიკულუსი და საკულუსი ემსახურება თავის მდებარეობის შეგრძნებას თავის გადახრისას და ხაზოვან აჩქარებისას (მაგ. მატარებლით მგზავრობისას ჩვენ შევიგრძნობთ, რომ წინ მივდივართ, თუმცა თავი გაჩერებულია; ლიფტით მგზავრობისას შევიგრძნობთ, რომ მაღლა ავდივართ ან დაბლა ვეშვებით). ოტოლიტები შეიცავენ სენსორულ უბნებს, რომელთა თავზეც მოთავსებულია კალციუმის კარბონატის კრისტალები (აქედან წარმოსდგება სახელწოდებაც – ბერძნულად ოტოლიტი „ყურის ქვებს“ ნიშნავს). სენსორულ უბანში მოთავსებულია მრავალი რეცეპტორული უჯრედი, რომელთა ნამწამებიც, ასევე, გადაიხრებიან თავის სხვადასხვა მდებარეობისას ან ხაზოვანი აჩქარებისას.

სად მიდის და როგორ გადამუშავდება ვესტიბულური რეცეპტორების მიერ თავის მდებარეობის ან მოძრაობის შესახებ დაფიქსირებული ინფორმაცია? ნამწამოვან უჯრედებთან დაკავშირებული სენსორული ნეირონი ინფორმაციას თავის მდებარეობის ან მოძრაობის შესახებ გადასცემს ტვინის ღეროში მოთავსებულ **ვესტიბულურ ბირთვებს**, აქედან კი ნაწილი თალამუსის გავლით ხვდება ქერქში, ნაწილი მიდის **ნათხეში** (ზოხის რეგულირებისათვის), ნაწილის მეშვეობით კი ხდება თვალბრუნის მოძრაობის გაკონტროლება. ამას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან თავის მოძრაობას აუცილებლად ახლავს თან თვალბრუნის მოძრაობა, მხოლოდ საპირისპირო მიმართულებით. გარდა ამისა, ვესტიბულური ბირთვები პროექტირდებიან **ზურგის ტვინზეც**, რომლებიც, ერთი მხრივ, არეგულირებენ გამშლელი კუნთების მოტონირობებს, მეორე მხრივ კი უზრუნველყოფენ გამართულ ლოკომოციას.

ვესტიბულური სისტემა მონაწილეობს იღებს ავტომატურ რეფლექსურ რეაქციებში, რასაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ნორმალური ცხოვრებისათვის. ის, ასევე, მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სივრცით ორიენტაციაში. მისი საშუალებით ვადგენთ მოძრაობის მიმართულებას და შეგვიძლია გავარჩიოთ ეს მოძრაობა ჩვენს ირგვლივ მყოფი საგნების მოძრაობისაგან. მხედველობის სისტემასთან ერთად ვესტიბულური სისტემა უზრუნველყოფს ტვინისთვის მნიშვნელოვანი ინფორმაციის მიწოდებას სივრცეში სწორი ორიენტაციისა და ნავიგაციისთვის.

ყნოსვა და გემოვნება

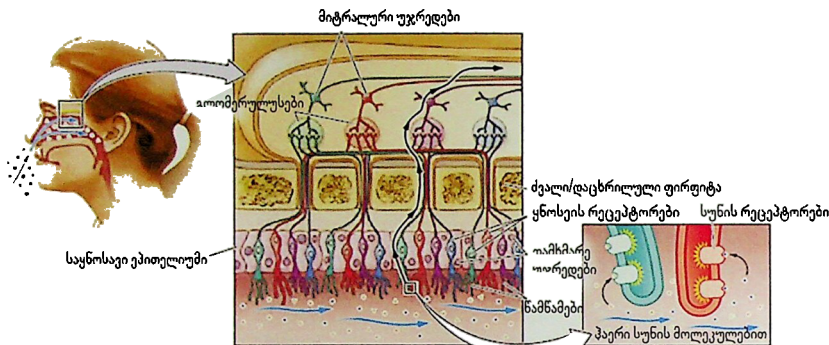
ყნოსვა და გემოვნება ორი ერთმანეთთან მჭიდროდ დაკავშირებული სენსორული შეგრძნებაა, რომელთა აღქმაც ხდება ყნოსვისა და გემოვნების სისტემებით. ორივე მათგანი გარემოში ქიმიურ ნივთიერებების შეცნობას ემსახურება. ყნოსვის სისტემა პაერში არსებულ სუნის მოლეკულებს შეიცნობს, ხოლო გემოვნების სისტემა – პირის ღრუში მოხვედრილ, წყალში ან ცხიმში ხსნად ქიმიურ ნივთიერებებს, რომლებიც იძლევიან ინფორმაციას მიღებული საკვების ხარისხზე, რაოდენობასა და უსაფრთხოებაზე. ყნოსვის სისტემა არა მარტო ყნოსვას, არამედ გემოვნებასაც ემსახურება.

მიუხედავად იმისა, რომ ეს ორი სისტემა დამოუკიდებლად აწვდის ტვინს სიგნალებს, საბოლოოდ ქერქში ამ ორი შეგრძნების აღქმა ერთად ხდება. თუ დაზიანდა ერთი, მეორე შეგრძნებაც „ზიანდება“ – ტვინი მასაც ვერ აღიქვამს. მაგ. თუ დაზიანდა ყნოსვა დაკარგა, ავტომატურად კარგავს გემოს შეგრძნებასაც. აღნიშნული სიმპტომები ხშირად აღენიშნებოდათ კოვიდაციენტებს.

ყნოსვის სენსორული სისტემა

ადამიანის ყნოსვის სისტემა იწყება ცხვირის ღრუდან (სურ. 15.5ა). მასში არჩევენ ზედა ნიჟარას, რომელიც შეიცავს სენსორულ ზონებს და გვერდით ნიჟარებს.

ცხვირის ღრუ შიგნიდან ამოფენილია ეპითელიუმით. 70 კგ წონის ადამიანში საყნოსავი ეპითელიუმის საერთო ფართობი დაახლოებით 10 სმ²-ს შეადგენს. თუმცა, ცოცხალ სამყაროში, განსხვავებული ცხოველების წესის გამო, ამ ფართობის სიდიდე ცვალებადია. ვირთავგას საყნოსავი ეპითელიუმს 15 სმ² უკავია, 3 კგ-იან კატას – 20 სმ², ხოლო ძაღლს – 150-170 სმ². ამასთან, მეძე-ბარ, ბლადპუნდის ჯიშის ძაღლებში ეს ფართობი 380 სმ²-ს შეადგენს.



სურ. 15.5 საყნოსავი სისტემის აგებულება

ყნოსვის შეგრძნება ასაკთან ერთად მცირდება. 20-დან 40 წლამდე ადამიანს შეუძლია სუნების 50-დან 75 %-მდე იდენტიფიცირება, მაშინ როცა 50-დან 70-წლამდე ადამიანი სუნების მხოლოდ 30-45%-ს შეიგრძნობს. ამის მიზეზი ჯერჯერობით არაა დადგენილი, თუმცა აღნიშნული ცვლილება მეტყველებს ორიდან ერთზე: ან ქვეითდება პერიფერიული მგრძნობელობა (რეცეპტორების დონეზე), ან იცვლება ყნოსვის ცენტრალური გზის სტრუქტურების აქტივობა.

ცხვირის ღრუს მემბრანაში მთავსებული ყნოსვის რეცეპტორების/ყნოსვის სენსორული ნეირონის ერთი ბოლო იხსნება ცხვირის ღრუში ლორწოვანში, ხოლო მეორე ბოლოდან გამოდის აქსონები – საყნოსავი ძაფები, რომლებიც გაივლის ზედა ნიჟარის დაცხრილული ფირფიტის ხერელებს, შედის საყნოსავ ბოლქვში და იქ განლაგებულ გლომერულურებში სინაპსურ კავშირებს ამყარებს მიტრალურ უჯრედებთან, რომელთა აქსონებიც ქმნიან ყნოსვის ნერვს. სხვადასხვა სუნზე სხვადასხვა გლომერულური რეაგირებს. ე. ი. ყნოსვითი შეგრძნების პირველი ანალიზი გლომერულურებიდან იწყება.

ტვინის მიერ სუნის აღქმამდე ნივთიერება შემდეგ გზას გადის: სუნის მქონე ქიმიური ნივთიერებები აღწევენ ცხვირის ღრუში, დიფუზიით იხსნიან ლორწოვან გარსში, კონტაქტს ამყარებენ რეცეპტორული უჯრედების ნაშაბებთან და ახდენენ მათ გაღიზიანებას. შედეგად მემბრანა დეპოლარიზდება, ამის შემდეგ კი გავრცელებადი აგზნება აღწევს საყნოსავ ბოლქვს, სადაც გლომერულურებში ხდება სუნის პირველი ანალიზი. საყნოსავი ბოლქვიდან სიგნალი, თალამუსზე გადართვის გარეშე, სამი მიმართულებით მიემართება: შუბლის წილის ფრონტალურ ქერქში, სადაც ხდება სუნის შეგრძნება; ჰიპოთალამუსში და ნუშისებრ სხეულში, სადაც ხდება სუნის ემოციური და მოტივაციური ასპექტების ჩამოყალიბება; ჰიპოკამპში, სადაც ხდება სუნების დამახსოვრება. სწორედ ჰიპოკამპია ის სტრუქტურა, რომელიც განაპირობებს სუნების მიმართ ხანგრძლივ მესხიერებას. იგი ახდენს სუნის მესხიერების კონსოლიდირებას დროის განმავლობაში და, შესაბამისად, ადამიანებში სუნის მიერ გამოწვეული ზედმინენითი ემოციური განცდებიც ამის შედეგია.

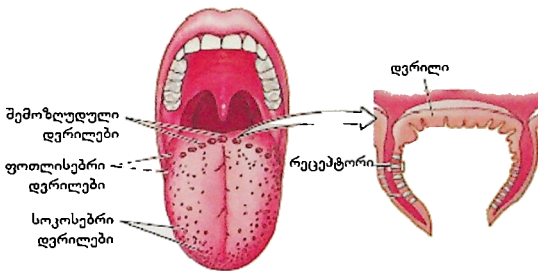
სუნების შეგრძნების დაკარგვას ანოსმია ეწოდება, ხოლო მომეტებულ მგრძნობელობას – ჰიპეროსმია.

გემონების სენსორული სისტემა

ადამიანს ხუთი სხვადასხვა გემოს აღქმა შეუძლია: მჟავე, მლაშე, ტკბილი, მწარე და უმამი (აღმოსავლური გემო). ჩამოთვლილი გემოების რეცეპტორები გარკვეული სისტემითაა ენაზე განლაგებული. სიტკბოს რეცეპტორები მოთავსებულია ენის წვერზე, სიმლაშის – ენის წვერზე და გვერდებზე, სიმჟავის – ენის გვერდებზე, სიმლაშის რეცეპტორების შიგნით, ხოლო სიმწარის რეცეპტორები – ენის უკანა ნაწილზე და რბილ სასაზე, უმამის რეცეპტორები ენის თითქმის მთელ ზედაპირზეა განლაგებული, უკანა ნაწილის გამოკლებით.

გემოს რეცეპტორები მოთავსებულია ენის **ღვრილებში**, რომელთა გააქტივებას პირის ღრუში მოხვედრილი ნივთიერებები იწვევენ.

ინფორმაცია ხუთი სხვადასხვა გემოს შესახებ ენიდან სამი ნერვის საშუალებით მიდის ცნს-ში. ესენია **სახის, ენა-ხახის და ცთომილი ნერვები**. ენის წინა $\frac{2}{3}$ სახის ნერვითაა დაკავშირებული, უკანა $\frac{1}{3}$ ენა-ხახის ნერვით, ხოლო ხორხსარქველის რეგიონი – ცთომილ ნერვით. ინფორმაცია გემოს შესახებ ჯერ ხედება თალამუსში, შემდეგ კი ქერქის **გემონების საპროექციო ზონაში**. ქერქში ხდება გემოების შესახებ ინფორმაციის გადამუშავება, ამიგდალასთან და ჰიპოთალამუსთან ეფერენტული კავშირები კი განაპირობებენ კვებასთან დაკავშირებულ ემოციურ ასპექტებს.



სურ. 15.6 სხვადასხვა ტიპის ღვრილების განლაგება ენის ზედაპირზე.

სმენის სენსორული სისტემა

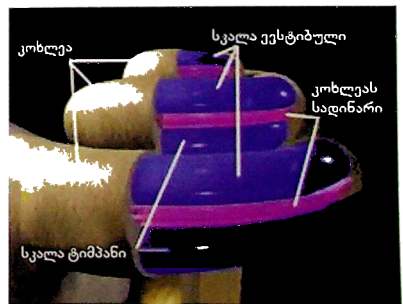
სმენის სენსორული სისტემა მოიცავს: **გარეთა, შუა და შიგნითა ყურს**.

გარეთა ყური (სურ. 15.4-1). თავის მხრივ, შედგება: ყურის ნიჟარის, გარეთა სასმენი მილისა და დაფის აპკის ანუ ყურის ბარაბნისაგან; როცა გარეთა სასმენი მილის საშუალებით ბგერითი ტალღა აღწევს დაფის აპკს, ის იწყებს ვიბრაციას. დაბალი სიხშირის ბგერებზე ვიბრაცია ზომიერია, მაღალი სიხშირის ბგერებზე, შესაბამისად, უფრო ინტენსიური;

შუა ყური (სურ. 15.4-2) შედგება სამი პატარა ძელის – ჩაქუჩის, გრდემლის და უზანგისაგან, რომლებიც ერთმანეთზე მყარადაა შეზრდილი. ჩაქუჩი დაფის აპკზეა მიმაგრებული;

შიგნითა ყური (სურ. 15.4-3) წარმოდგენილია კოხლეით, რაც ლათინურად „ლოკოკინასც ნიშნავს. ეს ის ადგილია, სადაც ბგერითი ტალღების მიერ წარმოქმნილი წნევა ნეირონულ იმპულსებად გარდაიქმნება. ლოკოკინა არამარტო აძლიერებს ბგერით ტალღებს და გარდაქმნის მათ ნეირონულ სიგნალად, არამედ მოქმედებს, როგორც მექანიკური სიხშირის ანალიზატორი, რომელიც რთულ აკუსტიკურ ტალღებს უფრო მარტივ ელემენტებად შლის.

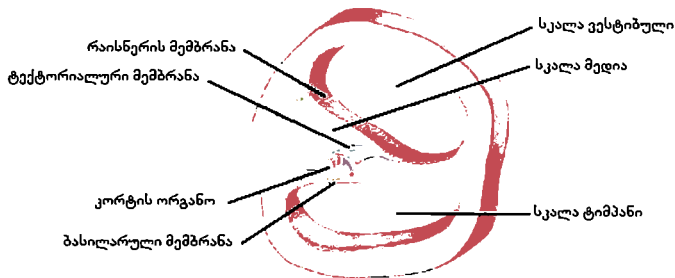
ბგერების აღქმის ბევრ თავისებურებას თავად ლოკოკინას აგებულება ხსნის. ლოკოკინა დაახლოე-



სურ. 15.7 კოხლას სქემა – სპირალურად დახვეული სამი არხი.

ბით 10 მმ სიგანის სპირალური სტრუქტურა (სურ. 15.7), რომლის საერთო სიგრძე გაშლილად დაახლოებით 35 მმ-ს შეადგენს. ეს არის სპირალურად დახვეული მილი, რომელიც შუაში დრეკადი ტიხრითაა გაყოფილი თითქმის მთელ სიგრძეზე, ნეერის გარდა. ტიხრის ორივე მხარეს სივრცე ამოვსებულია სითხით; იქმნება ორი არხი, სკალა ვესტიბული და სკალა ტიმპანი. მათ შორის სივრცეში, უფრო გვერდით, კიდევ ერთი არხია – სკალა მედია, რომელიც ენდოლიმფითაა ამოვსებული. სკალა მედიაში, სკალა ვესტიბულისა და სკალა ტიმპანის საზღვარზე, მოთავსებულია კორტის ორგანო (სურ.15.8), სადაც სმენის რეცეპტორული უჯრედებია ჩამჯდარი.

კოხლვას ძირში სკალა ვესტიბული ქმნის ოვალურ სარკმელს, ხოლო სკალა ტიმპანი – მრგვალს. შუა ყურის უზანგი „ჩამჯდარია“ კოხლვას ოვალურ სარკმელში და უშუალოდ ეხება პერილიმფას. ბგერითი ტალღის შედეგად ჯერ დაფის აპკი იწყებს ვიბრაციას. ამას მიჰყვება ჩაქუჩის, გრდემლის და უზანგის ამოძრავება. უზანგი პირდაპირ ეხება პერილიმფას და, შესაბამისად, კოხლეაში იწყება პერილიმფის ამოძრავება. გავრცელებად ტალღას ავტომატურად მოჰყვება სკალა მედიაში არსებული ენდოლიმფის ამოძრავება, რაც იწვევს სმენის რეცეპტორული უჯრედის გაღიზიანებას და გავრცელებადი აგზნების წარმოშობას. მიღებული სიგნალი სმენის ნერვით გადაეცემა ცნს-ს შემდგომი ანალიზისთვის.



სურ. 15.8 კოხლვას განივჭრილი

სმენის საპროექციო ზონა მოთავსებულია დიდი ტვინის ქერქში, საფეთქლის ნილის ზედა ხეულში, ბროდმანის 41-ე და 42-ე ველებში, ნაწილობრივ 22-შიც (თავი 11. სურ. 11.5). სმენას ქერქში ორი უზანი ემსახურება: პირველადი, რომელიც უშუალოდ იღებს სმენით სიგნალს და მეორადი, ანუ ასოციაციური ზონა.

სმენის პირველადი ზონა ინფორმაციას იღებს თალამუსის შიდა დამუხლული სხეულიდან. ასოციაციური კი – პირველადი ზონიდან და შიდა დამუხლული სხეულის მახლობელი ასოციაციური ბირთვებიდან.

უნდა აღინიშნოს, რომ რეცეპტორული უჯრედები ყველა ერთდროულად არ აქტიურდება. ეს დამოკიდებულია ბგერითი ტალღის სიხშირეზე. დაბალი სიხშირის ბგერები ააქტიურებენ ლოკოკინას ნეერთან ახლოს მდებარე რეცეპტორულ უჯრედებს, ხოლო მაღალი სიხშირის ბგერები – კოხლვას შედარებით ქვედა ნაწილებს. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, კოხლვას გააჩნია ტონოტოპური ორგანიზაცია. სმენის პირველადი ქერქი იმეორებს ლოკოკინას ტოპოგრაფიულ რუკას.

სმენის პათოლოგიები

სმენის პათოლოგიებიდან, ძირითადად, არჩევენ: ნერვულ სიყრუეს და გატარების სიყრუეს. ნერვულ სიყრუეს იწვევს ლოკოკინას ან სასმენი ნერვის დაზიანება და პათოლოგია არის მუდმივი. რაც შეეხება გატარების სიყრუეს, ის გამოწვეულია შემავრთებელი ქსოვილის ინტენსიური ზრდით, ან სასმენ ძელებში Ca^{2+} -ის ჭარბი დაგროვებით. პათოლოგიის მასტიმულირებელია შუა ყურში ინფექციის განმეორებითი შეჭრა ან მემკვიდრული დაავადება – ოტოსკლეროზი. ამ პათოლოგიის დროს ხდება „დაფის აპკი – სასმენი ძელების“ სისტემის პარალიზება.

ადამიანის სენსორულ სისტემებს შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მხედველობის სენსორულ სისტემას, ვინაიდან ინფორმაციის მნიშვნელოვან ნაწილს ადამიანი ამ სისტემის მეშვეობით იღებს.

მხედველობის ორგანო – თვალი (სურ. 15.9) სითხით ამოვსებული სფერული სტრუქტურაა, რომელიც სამი შრისგან შედგება. გარედან თვალს აკრავს **სკლერა**, რომელიც შედგება უხეში თეთრი ბოჭკოვანი ქსოვილისაგან. მის ქვემოთ სისხლძარღვოვანი გარსია, ხოლო შიდა შრეს **რეტინა** ანუ **ბადურა** წარმოადგენს. ეს უკანასკნელი გამჭვირვალე, მაღალსპეციფიური ქსოვილია, რომელიც სინათლის სხივის აღქმას ემსახურება. სწორედ მასზეა მოთავსებული **ფოტორეცეპტორები**.

თვალი შეიცავს **ოპტიკურ სისტემას**, რომელსაც ქმნის გუგა, ლინზათა სისტემა და ბადურა.

თვალის წინა ნაწილში მდებარე **ფერადი გარსის – ირისის** კუნთების საშუალებით გუგა აძლიერებს ან ასუსტებს სინათლის ნაყადს საჭიროების მიხედვით;

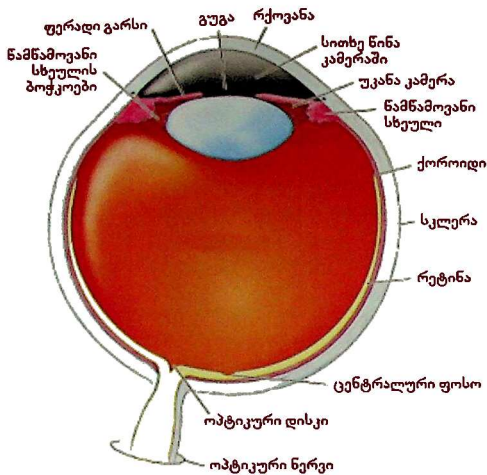
გუგის საშუალებით შესული სხივების გარდატეხა ხდება ლინზათა სისტემაში. აქ მთავარ სტრუქტურას წარმოადგენს **ბროლი**, რომელიც განაპირობებს თვალის აკომოდაციას, რაც გულისხმობს სხივების გარდატეხის უნარის გაზრდას ან შემცირებას;

ბადურაზე ხდება გამოსახულების ასახვა და რეცეპტორების საშუალებით სინათლის და სიბნელის გარჩევა. აქ ნეირონთა რამდენიმე კლასის გარჩევაა შესაძლებელი, რომელთაგან ერთ-ერთს **ფოტორეცეპტორები** წარმოადგენენ. ისინი ორი სახისაა: **ჩხირები** და **კოლბები**. ჩხირები ფუნქციონირებენ სუსტი განათებისას და აღიქვამენ მხოლოდ საგნების სიკაშკაშეს. ამითაა განპირობებული სიბნელეში ფერთა განურჩევლობა. კოლბები ფუნქციონირებენ დღის ნორმალური განათებისას და აღიქვამენ საგნების როგორც სიკაშკაშეს, ისე ფერთა გრადაციას. ჩხირები და კოლბები მხედველობის ნერვის ბოჭკოებზე დისინაქსურად გადაერთევიან. მხედველობის ნერვს ვიზუალური ინფორმაცია მიაქვს ჯერ თალამუსში, ხოლო შემდეგ მხედველობის ქერქში.

თვალის წინა ნაწილში ორი კამერა – წინა და უკანა. ისინი ინტრაოკულარული სითხითაა ამოვსებული. სითხე უკანა კამერაში წარმოიქმნება და ავსებს წინასაც. წინა კამერაში ეს სითხე დღეში 12-ჯერ იცვლება, რაც ძალიან კარგად ორგანიზებულ სადრენაჟო მექანიზმის არსებობაზე მეტყველებს. რქოვანას და ირისის საზღვარზე მდებარე უჯრედების ბადე სწორედ ამ ფუნქციას ემსახურება. წარმოქმნილი და გამოტანილი სითხის ბალანსის მეშვეობით ნარჩუნდება თვალის ფორმა, ფუნქცია და თვალის შიდა წნევა. თუ დრენაჟის პროცესი დაირღვა, მაშინ ვითარდება **გლაუკომა** – თვალის მაღალი წნევა, რის შედეგადაც მცირდება თვალის სისხლით მომარაგება და ზიანდება ბადურაზე არსებული რეცეპტორები. შედეგად ადამიანს უზრმავედება ის თვალი, რომელშიც დარღვეულია ეს პროცესი.

უკანა კამერას მინისგერი სხეული წარმოადგენს. ის უშუალოდ ემოჯდება ბროლს და ამოვსებულია სქელი ელვატინური სუბსტანციით, რომელიც ქმნის თვალის მოცულობის დაახლოებით 80%-ს. ეს სითხე შეიცავს ფაგოციტურ უჯრედებს, რომელთაც შესწევთ მასში შემთხვევით მოხვედრილი სისხლის უჯრედების ან მხედველობისთვის ხელშემშლელი სხვა ფაქტორებისგან თვალის დაცვის უნარი. ასაკთან ერთად ეს უნარი შეიძლება შემცირდეს და მხედველობის არეში ჩრდილები გაჩნდეს. ამ დროს ვითარდება დაავადება **კატარაქტა**.

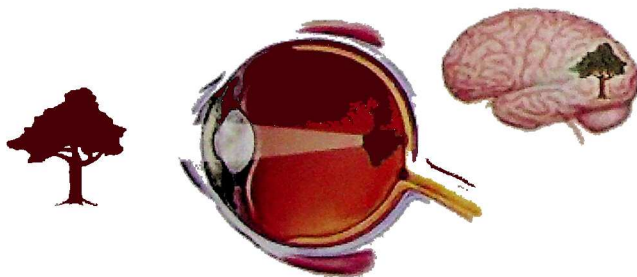
მხედველობის ნერვში შემაჯალ ბოჭკოთა დაახლოებით 60% გადადის მეორე მხარეზე და იქმნება **მხედველობის ჯვარედინი** ანუ **მხედველობის ქიაზმა**. ფოტორეცეპტორებიდან წამოსული ვიზუალური ინფორმაცია თალამუსის გავლით მიემართება **ვიზუალურ ქერქში** – ბროდმანის მე-17 ველზე, სადაც ხდება მისი საბოლოო გაშიფვრა და ასოციაციურ ველებში გადაცემა.



სურ. 15. 9 თვალის აგებულება

აღსანიშნავია, რომ ოპტიკური ბოჭკოების ნეირონთა ნაწილი გზადგზა პროეცირდება, ერთი მხრივ, **ჰიპოთალამუსის სუპრაქიაზმატულ ბირთვზე**, რომელიც დღე-ღამის განმავლობაში, სინათლის ინტენსივობის ცვლილების შედეგად, სხვადასხვა ვისცერალურ ფუნქციაზე ახდენს გავლენას; მეორე მხრივ – **ზედა ორგორაკში**, რომელიც თავისა და თვალების კოორდინირებული მოძრაობის ნერვულ სუბსტრატს ქმნის და, ასევე, **პრეტექტუმში** – რომელიც უზრუნველყოფს გუგისა და ბროლის რეფლექსურ კონტროლს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბადურაზე ხდება საგნის შებრუნებული და შემცირებული გამოსახულების ფოკუსირება, ხოლო მხედველობის პირველად საპროექციო ზონაში გამოსახულება აღიქმება რეალური სახით (სურ.15.10).



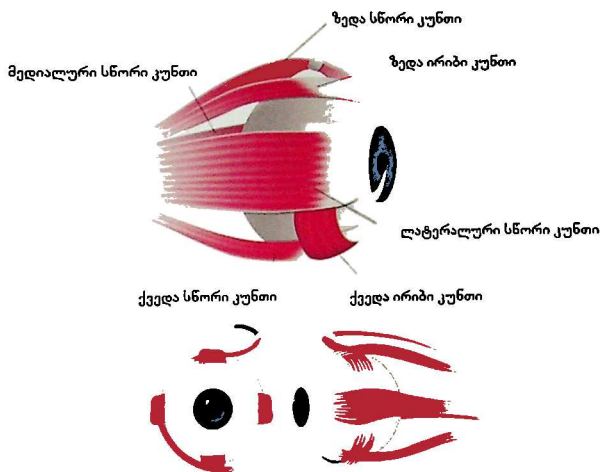
სურ. 15.10 თავის ტვინში საგანთა გამოსახულების აღქმა

მხედველობის უნარები

მხედველობის უნარის მიხედვით არჩევენ სამ მდგომარეობას: **ემეტროპიას**, **ჰიპეროპიას** და **მიოპიას**. **ემეტროპია** ნორმალური მხედველობაა. ამ დროს გამოსახულება ფოკუსირდება ბადურაზე; **ჰიპეროპია** შორსმხედველობაა. ამ შემთხვევაში გამოსახულება ფოკუსირდება ბადურის უკან; **მიოპია** კი ახლომხედველობაა და ამ დროს გამოსახულება ფოკუსირდება ბადურის წინ.

თვალეების მოძრაობა

თვალი მუდმივად მოძრაობს სამი წყვილი ექსტრაოკულარული კუნთის მეშვეობით – ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სწორი კუნთებითა და ზედა და ქვედა ირიბი კუნთებით, რომლებიც თვალს აძლევენ სამი ღერძის ირგვლივ მოძრაობის საშუალებას (სურ.15.11).



სურ.15.11 თვალის კუნთები სხვადასხვა ზედა

ტკივილი წარმოადგენს ურთულეს სენსორულ მოდულობას და გააჩნია ორგანიზმის დამცველობითი ფუნქცია. თუმცა, ამავე დროს, ის საკმაოდ უსიამოვნო შეგრძნება და ემოციური გამოცდილებაა.

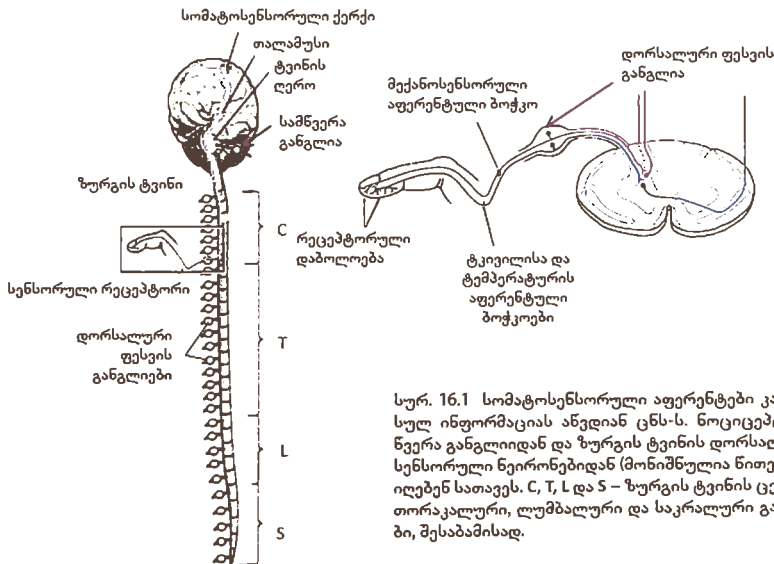
ტკივილთან ასოცირებული სტიმულები ქსოვილთა დაზიანებას იწვევენ. ბუნებრივია და თითქოს ლოგიკურიც, ვიფიქროთ, რომ მანვე სტიმულაციით გამოწვეული შეგრძნებები წარმოიშობა იმ რეცეპტორების გადამეტებული სტიმულაციით, რომლებიც შეიგრძნობენ სხვა სომატურ შეგრძნებებს, მაგრამ ეს ასე არაა. ტკივილის შეგრძნებას ნოციცეპტოვარ ეწოდება და დამოკიდებულია სპეციალურ რეცეპტორებსა და ნერვულ გზებზე. გარდა ამისა, ორგანიზმის რეაქცია ასეთ სტიმულებზე მრავალგანზომილებიანია და მოიცავს დისკრიმინაციულ, აფექტურ და მოტივაციურ კომპონენტებს. შესაბამისად, ნოციცეპტური ინფორმაციის ცენტრალური განაწილება რთულია და მოიცავს რამდენიმე უბანს ტვინის ლეროში, თალამუსში და წინა ტვინში.

კლინიკურ პრაქტიკაში ტკივილის პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა, ასევე, ტკივილის ფიზიოლოგიის და ფარმაკოლოგიის ბევრი ასპექტი, რომლებიც ჯერ კიდევ არაა ბოლომდე გარკვეული, განაპირობებენ მკვლევარების მალაღ ინტერესს ნოციცეპტოვარში.

ნოციცეპტორები

ნოციცეპტორების სახელითაა ცნობილი ის ნერვული დაბოლოებები, რომლებიც შეიგრძნობენ ტკივილს და სათავეს უდებენ ტკივილის შეგრძნებას (ლათინურად „nocere“ – „ტკენა“). კანის და კანქვეშა სხვა რეცეპტორების მსგავსად, ნოციცეპტორები სხვადასხვა სტიმულს გარდაქმნიან „შეგრძნების“ პოტენციალად, რომლებიც, თავის მხრივ, უშვებენ მოქმედების პოტენციალს.

ნოციცეპტორები ზურგის ტვინის დორსალური ფესვის განგლიაში ან სამწვერა განგლიაში არსებულ ნეირონთა სხეულებიდან იღებენ სათავეს (სურ. 16.1). ამასთან, ის ნოციცეპტორები, რომლებიც სამწვერა ნერვში შემავალი ბოჭკოების დაბოლოებებია, სახის ტკივილის შეგრძნებას ემსახურებიან, ხოლო ზურგის ტვინის დორსალურ ფესვთან დაკავშირებული ნოციცეპტორები – სხეულთან დაკავშირებული ტკივილის შეგრძნებას.

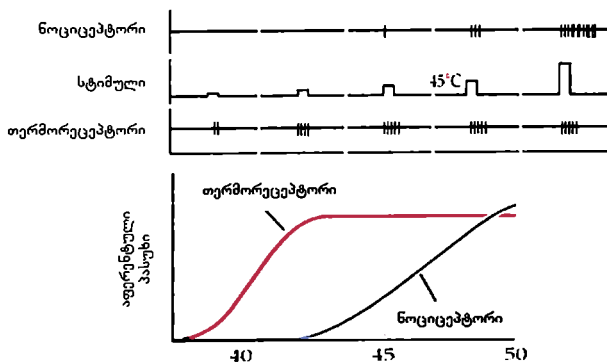


სურ. 16.1 სომატოსენსორული აფერენტები კანიდან წამო-სულ ინფორმაციას აწვდიან ცნს-ს. ნოციცეპტორები სამ-წვერა განგლიიდან და ზურგის ტვინის დორსალური ფესვის სენსორული ნეირონებიდან (მონიშნულია წითელი ისრებით) იღებენ სათავეს. C, T, L და S – ზურგის ტვინის ცერვიკალური, თორაკალური, ლუმბალური და საკრალური განყოფილებე-ბი, შესაბამისად.

სომატოსენსორული რეცეპტორები, რომლებიც პასუხისმგებელია ჩვეულებრივ, არამტკივნეულ მექანიკურ სტიმულაციაზე, მიეღიწიან აქსონებთანაა დაკავშირებული, რომლებიც, თავის მხრივ, იმპულსის გატარების ძალიან მაღალი სიჩქარით გამოირჩევიან. რაც შეეხება ნოციცეპტორებს, ისინი ან უმიელინო (C-ჯგუფის) ან ძალიან თხელი მიელინის გასით დაფარულ (Aδ-ჯგუფის) აქსონებთანაა დაკავშირებული; შესაბამისად, ისინი იმპულსს გაცილებით ნელა ატარებენ. Aδ-ჯგუფის აქსონებში იმპულსის გატარების სისწრაფე 5-30 მ/წმ-ია, ხოლო უმიელინო C-ჯგუფში – 2 მ/წმ. ფაქტიურად, იმის ფონზე, რომ, ნოციცეპტორებთან დაკავშირებული აქსონები იმპულსს, ზოგადად, ნელა ატარებენ, აქაც შეიძლება ტკივილის სწრაფი და ნელი გზების გარჩევა.

ცხოველებზე და ადამიანებზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ სწრაფი გატარების უნარი მქონე მიელინირებული აქსონები, რომლებიც სომატურ იმპულსებს ემსახურება, არაა ჩართული ტკივილის გატარებაში. სურ. 16.2 აღწერს შემდეგ ექსპერიმენტს: თუ კანზე მოხდება მტკივნეული სტიმულაცია, ის არ აღიქმება ტკივილად მანამ, სანამ ეს სტიმულაცია არ იქნება საკმარისი ტკივილის გამოსაწვევად. მაგ. ნათურის დანათებით კანი შეიძინებს სითბოს, მაგრამ, თუკი ცხელ ნათურას შეეახებთ კანს, მაშინ რეცეპტორები შეიგრძნობენ ტკივილს. ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ პერიფერიული აქსონები, რომლებიც ატარებენ მაგ. თერმულ შეგრძნებას, შეიცავენ როგორც ნოციცეპტურ, ისე არანოციცეპტურ თერმორეცეპტორებს.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია, რომ დიდი დიამეტრის მქონე სომატოსენსორული აფერენტების პირდაპირი სტიმულაცია იწვევს მტკივნეულ შეგრძნებებს. აღნიშნულისგან განსხვავებით, მცირე დიამეტრის, უფრო დაბალი სიჩქარის Aδ და C ბოჭკოები მუდმივად აქტიურდებიან მტკივნეული სტიმულაციისას. ამასთან, C ბოჭკოები აქტიურდებიან, ასევე, სითბოზე, სიგრილეზე და ქავილზე.



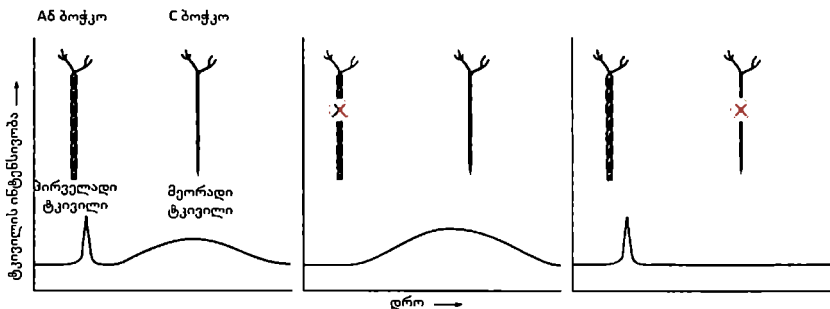
სურ. 16.2 ტკივილის ნეირონული საფუძველი. ა) ექსპერიმენტულად ნაჩვენებია, რომ ნოციცეპტორში ჩართულია სპეციალური ნეირონები, რომლებიც დაახლოებით 43-45°C-ზე აქტიურდებიან; ბ) თერმორეცეპტორებისა და ნოციცეპტორების პასუხების შედარება სხვადასხვა ტემპერატურაზე

როგორ ატარებენ ნოციცეპტორები ტკივილის შეგრძნებას? ამ კითხვაზე პასუხი მიღებულია მოხალისეებზე ჩატარებული ექსპერიმენტით, როდესაც ცდის პირები აღწერილნენ სხვადასხვა ტიპის მტკივნეულ შეგრძნებას. საერთო ჯამში აღწერილია ორი ტიპის ტკივილი: ერთია მწვავე, რომელსაც პირველად ტკივილს უწოდებენ, და მეორე, უფრო ნელი და დიფუზური, რომელიც უფრო ხანგრძლივად შეიგრძნობა – მეორადი ტკივილის სახელითაა ცნობილი. როცა ხდება ნერვის გაღიზიანება გარკვეული ინტენსივობის გამღიზიანებლით, რომელიც მხოლოდ Aα და Aβ აქსონებზე ვრცელდება, ტკივილი არ შეიგრძნობა. საკმარისია გამღიზიანებლის ინტენსივობა გაიზარდოს და გაღიზიანდეს Aδ ბოჭკოები, რომ საკვლევი პირები თავდაპირველად აღნიშნავენ ჩხელეტის შეგრძნებას, ხოლო, თუ ინტენსივობა იმატებს, მაშინ – მკვეთრი ტკივილის შეგრძნებას. გაღიზიანების ინტენსივობის მომატების შემთხვევაში ხდება ნერვილი, უმიელინო, ნელი გატარების უნარის მქონე C ტიპის ბოჭკოების ჩართვა, რაც საკვლევი პირები იწვევს უფრო ყრუ, მაგრამ ხანგრძლივ ტკივილს.

ექსპერიმენტებმა, სადაც C და Aδ ბოჭკოების სელექციურ გათიშვას მიმართავენ, აჩვენეს, რომ პირველად ტკივილზე Aδ ბოჭკოები პასუხისმგებელი, ხოლო C ბოჭკოები – მეორად ტკივილზე (სურ. 16.3).

დღეის მონაცემებით, C და Aδ ბოჭკოებში არჩევენ სხვადასხვა კლასებს, რომლებიც სხვადასხვა ტიპის ნოციცეპტურ შეგრძნებას ემსახურებიან. სწრაფად გამტარი Aδ ბოჭკოები ორ ძირითად კლასად იყოფა. I ტიპის ბოჭკოები რეაგირებენ სამიშ მექანიკურ და ქიმიურ სტიმულაციაზე, მაგრამ გააჩნიათ შედარებით მაღალი ზღურბლი. II ტიპის ბოჭკოები გამოირჩევიან დაბალი ზღურბლით სითბოს შეგრძნებისთვის, ხოლო მაღალი ზღურბლით – მექანიკური სტიმულაციისთვის. ამდენად, Aδ ბოჭკოები ემსახურება სითბური და მექანიკური მტკივნეული სტიმულების გატარებას.

წერილი, უმეილნი C ბოჭკოები პოლიმოდალურია. ისინი ყველა ტიპის ნოციცეპტურ სტიმულზე რეაგირებენ – თერმულზე, მექანიკურსა და ქიმიურზე, თუმცა, ამ ტიპის ბოჭკოებშიც არჩევენ რამდენიმე კლასს. მათი ნაწილი მხოლოდ სითბურ და ქიმიურ სტიმულაციაზე რეაგირებს, ნაწილი – მხოლოდ ქიმიურზე და ზოგი მხოლოდ მუავა ნივთიერებების ზემოქმედებით გამოწვეულ მტკივნეულ გამლიზიანებელზე ან სიცოცხლეზე.



სურ. 16.3 პირველადი (მწვავე) და მეორადი (ყრუ) ტკივილი. ტკივილის ეს ორი სახე სხვადასხვა ტიპის ნეირონების მიერ შეიწოდება თავის ტვინის სტრუქტურებს. მათი ცალკეულად გათიშვა შესაბამისი ეფექტის გათიშვას იწვევს ცენტრალურ სტრუქტურებში

ნოციცეპტური სიზნალების წარმოქმნა და გადაცემა

ტკივილის გატარება და დამუშავება კომპლექსურ პროცესს წარმოადგენს. ეს არცაა გასაკვირი, თუ გავითვალისწინებთ მტკივნეული სტიმულების მრავალფეროვნებას (მექანიკური, თერმული და ქიმიური).

სითბო მტკივნეული ხდება დაახლოებით 43°-დან და ეს მტკივნეული ზღურბლი შეესაბამება Aδ- და C-ბოჭკოების ქვეტიპების მგრძნობელობას. რეცეპტორი, რომელიც სითბოს ტკივილად შეიგრძნობს, მგრძნობიარეა კაპსაიცინზე – ცხარე წითელი წინაკის შემადგენელ ნივთიერებაზე, რომელიც იწვევს ჩხვლეტის და წვის შეგრძნებას. ის აღმოჩენილია როგორც C, ისე Aδ ტიპის ბოჭკოებზე. ასეთი რეცეპტორები კაპსაიცინის მსგავს ნივთიერებებზეც რეაგირებენ. ისინი დაზიანების საპასუხოდ გამოიშვადება პერიფერიაზე ქსოვილების მიერ და შემდგომში იწვევენ ნოციცეპტურ რეაქციას.

ტკივილის და მთავარი ნოციცეპტორული გზები

ტკივილის ცენტრალურ გზაზე ზურგის ტვინის დორსალურ ფესვში შემავალი ნოციცეპტური აფერენტები პირველი რიგის ნეირონებს წარმოადგენენ. ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნის ბოლოს გერმანელმა ნევროლოგმა **ჰაინრიხ ლისაუერმა** აჩვენა, რომ, ვიდრე ამ ნეირონთა აქსონები რუხი ნივთიერების დორსალურ რქას მიაღწევენ, თეთრ ნივთიერებაში ამ აქსონების განტოტვა ხდება ამავე და დამავალ კოლატერალურად, 1-2 სეგმენტის ფარგლებში. ამ კოლატერალუბით იქმნება

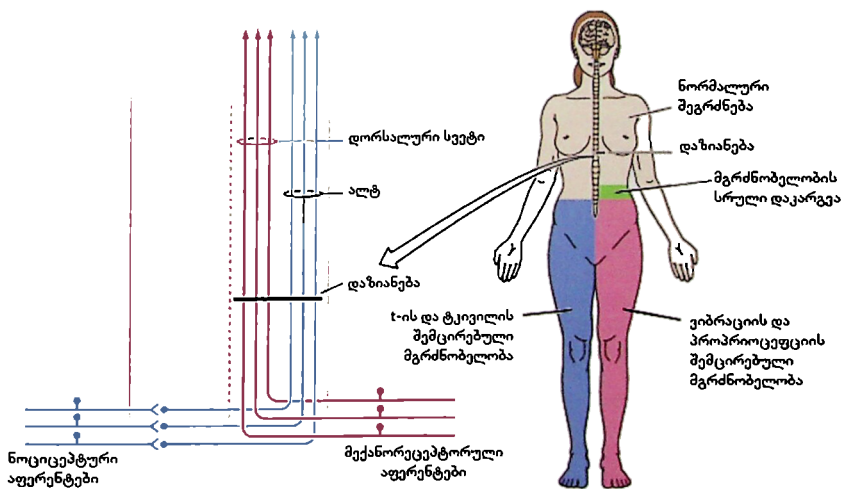
ტრაქტი, რომელსაც მოგვიანებით ლისაურის დორსალატერალური ტრაქტი ეწოდა. მასში ხდება შეხების და წნევის სტიმულების გატარება.

კოლატერალთა ნაწილი აღწევს ზურგის ტვინის რუხ ნივთიერებას და აქ ისინი სინაპსით გადაერთვებიან შუამდებარე ნეირონებზე (ინტერნეირონებზე), რომლებიც მეორე რიგის ნეირონებს წარმოადგენენ ტკივილის ცენტრალურ გზაზე.

მეორე რიგის შუამდებარე ნეირონები ატარებენ ტკივილის და ტემპერატურის შეგრძნებას. ისინი იქვე გადადიან კონტრალატერალურ მხარეზე და ანტეროლატერალური ტრაქტის (ალტ) შემადგენლობაში (დორსალური სვეტი) მიემართებიან ზევით – თალამუსისკენ. შემდეგ გადაერთვებიან მესამე რიგის ნეირონებზე და მიემართებიან სომატოსენსორულ ქერქში; მეორე რიგის ის ნეირონები, რომლებიც ატარებენ მექანოსენსორულ იმპულსებს, იმავე, იფსილატერალურ მხარეზე რჩებიან და ანტერომედიალური ტრაქტის საშუალებით მიემართებიან თავის ტვინის სტრუქტურებისკენ.

ფაქტობრივად, სხვადასხვა ტიპის შეგრძნებას სხვადასხვა ნერვული გზა გააჩნია (სურ. 16.4). ეს განსხვავება კლინიკურად მნიშვნელოვანი ნიშანია, რომელიც გამოიყენება ზურგის ტვინის დაზიანების ხარისხის დასადგენად. როცა გარკვეულ ადგილას ზიანდება ზურგის ტვინი, ან მხოლოდ მარჯვენა ან მხოლოდ მარცხენა მხარეს, დაზიანების უბნის ქვემოთ ქვეითდება სენსორული შეგრძნებები: დაზიანების იფსილატერალურ მხარეზე თავს იჩენს შეხების, წნევის და ვიბრაციის შეგრძნების და პროპრიოცეფციის უნარის, ხოლო კონტრალატერალურ მხარეზე ტკივილისა და ტემპერატურის შეგრძნების მნიშვნელოვანი დაქვეითება, რაც გამოწვეულია დაზიანებული ამჟღავნელი ბოჭკოებიდან თავის ტვინის ცენტრალურ სტრუქტურებში ინფორმაციის მიწოდების დეფიციტით. უფრო მეტიც, იფსილატერალურ მხარეს შესაძლოა არამარტო დაქვეითდეს ზემოაღნიშნული შეგრძნებები, არამედ სრულიად დაიკარგოს.

ტკივილის სისტემაში არსებობენ ნეირონები, რომლებიც ტკივილის მოტივაციურ ასპექტებს ატარებენ – უსიამოვნო შეგრძნებას, შიშსა და შფოთვის, ანუ ყველა იმ ევგეტატიურ აქტივაციას, რომელიც თან ახლავს დამაზიანებელ სტიმულაციას.



სურ. 16.4 ნოციცეპტური და მექანოსენსორული გზები. ა) ანტეროლატერალური სისტემა (ლურჯი); დორსალური სვეტი (წითელი); ბ) დაზიანების ეფექტები სომატოსენსორულ შეგრძნებებზე, იფსილატერალურ და კონტრალატერალურ მხარეებზე.

ტომოგრაფიულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ტკივილის შეგრძნებაში ჩართული სტრუქტურები ფართოდაა განაწილებული თავის ტვინში. ტკივილის მატრიქსს ქმნიან სომატოსენსორული ქერქი, ინსულარული ქერქი, ნუშისებრი სხეული და სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი.

გარდა ნოციციცეპისა, ანტეროლატერალური სისტემა ატარებს, ასევე, ტემპერატურის შეგრძნებას. ის ნეირონები, რომლებიც კონკრეტულად ტემპერატურას შეიგრძნობენ, ინდიფერენტულნი არიან მექანიკური გაღიზიანებისადმი და, ასევე, მტკივნეული თერმული სტიმულაციისადმი, რომელიც თავს იჩენს 43°-ზე მაღალ და -17°-ზე დაბალ ტემპერატურებზე.

ფაქტობრივად, ყველა ტიპის ტკივილს და ტემპერატურას საკუთარი ნეირონი გააჩნია. ანტეროლატერალურ სვეტში, მართლაც, გადის სხვადასხვა კლასის ნეირონთა აქსონები, რომლებიც ატარებენ მწვავე ანუ პირველად ტკივილს, წვის შეგრძნებას – მეორად ტკივილს, უვნებელ სითბოს, უვნებელ სიცხეს, ქავილის შეგრძნებას, ნელ მექანიკურ სტიმულაციას (მგრძნობიანე შეხება). აქვეა ის ნეირონები, რომლებიც კუნთებს უკავშირდება და მგრძნობიარენი არიან რძის მჟავას ან სხვა მეტაბოლიტების გამოთავისუფლებაზე კუნთების შეკუმშვისას. ამით აიხსნება სწორედ წვის ან ტკივილის შეგრძნება, რომელიც თან ახლავს გადამეტებულ ან მიუზღვეველ ვარჯიშს.

მგრძნობელობის მომატება

მტკივნეული სტიმულაციის შემდეგ, რომელიც დაკავშირებულია ქსოვილის სხვადასხვა ტიპის დაზიანებასთან (მაგ. კანის მთლიანობის დარღვევა, დაბეჭდილობა, დამწვრობა), უშუალოდ დაზიანების და, ასევე, მის მომიჯნავე უბნებში ტკივილისადმი მომეტებული მგრძნობელობაა დამახასიათებელი. ამ მოვლენას **ჰიპერალგეზია** ეწოდება. ჰიპერალგეზიის კარგი მაგალითია მზითი დამწვრობის შემდეგ ტემპერატურისადმი მგრძნობელობის გაზრდა, ანუ **პერიფერიული სენსიტიზაცია**, რაც განპირობებულია ნეირონების მგრძნობელობის ცვლილებით პერიფერიული რეცეპტორების და მათი ცენტრალური სამიზნეების დონეზე. საქმე ისაა, რომ სხეულის დაზიანებისას, უშუალოდ დაზიანების მიდამოებში, უხვად გამოიყოფა ანთების გამომწვევი ნივთიერებების მთელი „კოქტილი“. პერიფერიული სენსიტიზაცია თავს იჩენს ამ ნივთიერებათა და ნოციციცეპტორთა ურთიერთქმედების შედეგად. აღსანიშნავია, რომ ასეთი ქიმიური ნივთიერებები გამოიყოფა როგორც სომატური უჯრედებიდან, ასევე ნოციციცეპტორებიდან. ამ უკანასკნელიდან გამოიყოფა პეპტიდები და ნეიროტრანსმიტერები, ატფ და სხვა, რასაც თავისი „წვლილი“ შეაქვს ანთების პროცესში. ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, ნოციციცეპტორების ზღურბლი მცირდება და ის სტიმულები, რომლებიც ადრე ქვეზღურბლოვანი იყო ტკივილის გამოსაწვევად (მაგ. უვნებელი შეხება), უკვე ნარმოქმნიან მოქმედების პოტენციალებს ზურგის ტვინის დორსალური რქის შუამდებარე ნეირონებში, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ჰიპერალგეზიას. ტკივილის გამომწვევას უვნებელი სტიმულის მიერ **ალოდინია** ეწოდება.

დაზიანებული ქსოვილის გაჯანსაღებისას, პერიფერიული და ცენტრალური მექანიზმებით გამოწვეული ჰიპერალგეზია ქვეითდება და ტკივილის ზღურბლი უზრუნდება საწყის ნიშნულს. თუმცა, როცა საქმე ეხება ნერვული დაბოლოებების ან ნერვის დაზიანებას, რაც თან სდევს სხვადასხვა პათოლოგიურ მდგომარეობას (დიაბეტს, პერპესს, მიდს, გაფანტულ სკლეროზს, ტრავმას და ინსულტს), ეს პროცესები ნარჩუნდება. ტკივილის ასეთი სახე **ნეიროპათიური ტკივილის** სახელითაა ცნობილი. ეს არის ქრონიკული ტკივილი, რომელიც ძნელად ექვემდებარება ან არ ექვემდებარება ჩვეულებრივი ტკივილგამაყუჩებლების მოქმედებას. ამ დროს ტკივილი ტანსაცმლის შეხებამაც კი შეიძლება გამოიწვიოს. პაციენტები აღნიშნავენ წვის შეგრძნებას, რომელსაც დროდადრო თან ახლავს ჩხვლეტის, დანის ჩარტყმის შეგრძნება. დღეს მეცნიერები ცდილობენ უკეთ გაეკვანენ ნეიროპათიური ტკივილის მექანიზმებში, რათა შექმნან შესაბამისი სამკურნალო საშუალებები.

ტკივილის აღქმა

როგორ ხდება ტკივილის აღქმა? უკვე დიდი ხანია, რაც ნანახია განსხვავება რეალურ მტკივნეულ სტიმულსა და მასზე სუბიექტურ პასუხს შორის. თანამედროვე გამოკვლევებმა აჩვენეს, თუ როგორ მოქმედებს სიტუაცია (კონტექსტი) ტკივილის აღქმაზე. მეორე მსოფლიო ომის დროს

პარვარდის მედიცინის სკოლის წარმომადგენლებმა, ანესთეზიოლოგ ჰენრი ბიჩერის ხელმძღვანელობით, ჩაატარეს ფუნდამენტური კვლევა. მათ შეამჩნიეს, რომ ის ჯარისკაცები, რომელთაც მძიმე ტრიალობები ჰქონდათ, განიცდიდნენ უფრო ნაკლებ ტკივილს, ვიდრე ის ჯარისკაცები, რომელთაც უფრო მსუბუქი დაზიანებები ჰქონდათ. ბიჩერმა დაასკვნა, რომ ტკივილის აღქმა მის კონტექსტზეა დამოკიდებული. ბრძოლის ველი არის ადგილი, სადაც, მძიმე ტრიალობების გამო, ჯარისკაცი გარდაცვალების აშკარა საფრთხის წინაშე დგას და ის გადაარჩა. არსებულ კონტექსტში მიღებული შედეგით გამოწვეული „სიხარული“ მას ტკივილს უმსუბუქებს.

პლაცებო

სიტყვა „პლაცებო“ ქართულად ნიშნავს „მოგეწონები“, „მოგეწონები“, „ვისიამოვნებ“. ერთ-ერთ კლასიკურ კვლევაში სტუდენტების ორ ჯგუფს მისცეს უეფექტო და უეფექტო აბები: ერთ ნაწილს უთხრეს, რომ ტაბლეტი იყო დამამშვიდებელი, მეორე ნაწილს კი ეს ტაბლეტები წარუდგინეს, როგორც სტიმულატორი. პირველი ჯგუფიდან თითქმის ყველას ალენიშნებოდა ძილიანობა, მეორე ჯგუფის სტუდენტები კი უფრო მობილიზებულად გრძნობდნენ თავს. სტუდენტების მხოლოდ 5%-მა აღნიშნა, რომ ამ აბებს არანაირი ეფექტი არ ჰქონიათ.

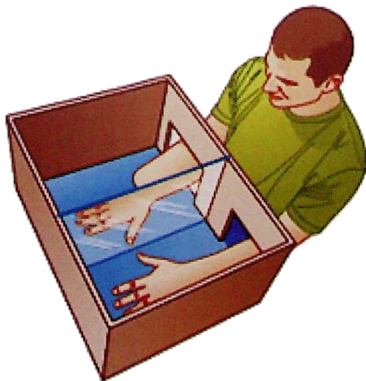
კვლევები აჩვენებს, რომ პლაცებოს, როგორც „ტკივილგამაყუჩებლის“ მიღების შემთხვევაში, როცა დიდია მოლოდინი იმისა, რომ ის მართლა გააყუჩებს ტკივილს, ტკივილის მატრიქსის ქერქულ და ქერქქვეშა სტრუქტურებში (სომატოსენსორულ ქერქში, სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილში, ინსულარულ ქერქში და ნუშისებრ სხეულში) ენდოგენური ოპიოიდური რეცეპტორები აქტივდება.

ფანტომური ტკივილი

აღამიანებს, რომელთაც ამპუტირებული აქვთ კიდური, ახასიათებთ ფანტომური ტკივილები. ესაა ტკივილის ის ფორმა, როცა აღამიანი მას შეგრძნობს სხეულის უკვე არარსებული ნაწილიდან. აღნიშნული მიუთითებს იმაზე, რომ სხეულის მთლიანობის შეგრძნება არსებობს პერიფერიული ელემენტებისგან დამოუკიდებლად. კანადელმა ფსიქოლოგმა რონალდ მელზაკმა ივარაუდა, რომ კიდურის დაკარგვა წარმოშობს შინაგან შეუსაბამობას ტვინის მიერ სხეულის წარმოდგენასა და ქერქში მიღწეულ პერიფერიულ აფერენტაციას შორის. სანაყის ეტაპებზე დაკარგული კიდური ტვინის მიერ კვლავ აღიქმება, როგორც არსებული.

ამ შედეგებზე დაყრდნობით, კალიფორნიის უნივერსიტეტის პროფესორმა, ინდოელმა ნეირომეცნიერმა ვილენურ რამაჩანდრანმა აჩვენა, რომ მარტივად მოწყობილ სარკის ყუთით შეიძლება პაციენტის მდგომარეობის გაუმჯობესება. მეთოდის არსი ასეთია: პაციენტი ყუთში ათავსებს ჯანმრთელ ხელს და ამპუტირებული ხელის ნაწილს ისე, რომ ხედავს მხოლოდ ჯანმრთელს და ვერ ხედავს ამპუტირებულს. ყუთის შუაში მოთავსებული გამყოფი სარკე პაციენტს აძლევს

ჯანმრთელი ხელის ანარეკლის დანახვის საშუალებას, რაც მას უქმნის შთაბეჭდილებას, რომ ორივე ხელი აქვს. შემდეგ, პაციენტი იწყებს ჯანმრთელი ხელის მოძრაობას და იქმნება ვირტუალური რეალობა, თითქოს პაციენტი არარსებულ ხელსაც ამოძრავებს, რაც საბოლოოდ ამსუბუქებს მის მდგომარეობას. მეთოდის ავტორის აზრით, მხედველობას შეუძლია არარსებული კიდურის სომატოსენსორული და მოტორული სიგნალების დარეგულირება.



სურ. 16.5 „სარკის ყუთი“ ფანტომური ტკივილის სამკურნალოდ

ტკივილის მოდულაციის ფიზიოლოგიური საფუძვლები

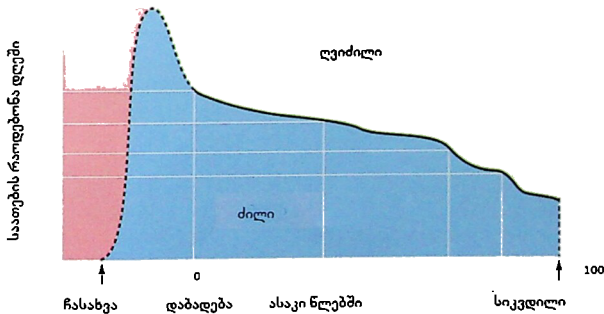
ტკივილის აღქმის ცენტრალური მოდულაციის მექანიზმის გაგება გაამართლეთ იმ აღმოჩენამ, რომ შუა ტვინის გარკვეული უბნების ელექტრული და ფარმაკოლოგიური სტიმულაცია იწვევს ტკივილის შემსუბუქებას. ეს ანალგეზიური ეფექტი განპირობებულია იმით, რომ შუა ტვინის ამ სტრუქტურებიდან გამოსული ნეირონები პროეცირდებიან ზურგის ტვინის რუხი ნივთიერების დორსალურ რქაზე და არეგულირებენ ზურგის ტვინიდან თავის ტვინის უმაღლეს სტრუქტურებში ტკივილის გადაცემას. აღნიშნული ნეირონები გამოყოფენ ნეიროტრანსმიტერებს (ნორადრენალის, სეროტონინის, დოფამინის, ჰისტამინის, აცეტილქოლინის) და შეუძლიათ რუხი ნივთიერების დორსალურ რქაში არსებულ მეორე რიგის ნეირონებზე დაბალანსებულად იქონიონ როგორც გამააქტივებელი, ისე შემაკავებელი გავლენა. ეს კი, საბოლოო ჯამში, განსაზღვრავს ნოციცეპტური გადაცემის ეფექტურობას.

ტკივილის რეგულაციის ცენტრალური მექანიზმების კვლევებში უმნიშვნელოვანეს აღმოჩენად ითვლება ენდოგენური ოპიოიდების აღმოჩენა. ოპიუმის წარმოებულები, როგორიცაა მაგ. მორფინი, წარმოადგენენ ძლიერ ანალგეტიკებს. ისინი დღესაც წარმატებით გამოიყენება ტკივილგამაყუჩებლებად.

ადამიანსა და ნებისმიერ ცხოველურ ორგანიზმში ორგანოთა სისტემებს რიტმული აქტიუ-
ბა ახასიათებთ. ასეთ რიტმულ რეაქციებს „ბიოლოგიურ რიტმებს“ ანუ ბიორიტმებს უწოდებენ.
ბიორიტმები სხვადასხვაგვარია. ზოგი მათგანი დამოკიდებულია გეოფიზიკურ ფაქტორებზე, ზოგ-
იც კი, მაგ. გულისცემა და სუნთქვა, ემყარება ორგანიზმში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიურ პროცეს-
თა მკაცრ პერიოდულობას.

ბიორიტმები ერთმანეთისგან განსხვავდება სიხშირითაც. ზოგიერთი ბიორიტმის ერთი პერიო-
დი ერთ წელიწადს ემთხვევა, ზოგი – მთვარის ციკლს, ზოგი კი დღე-ღამეში ერთხელ აღმოცენდ-
ება. ადამიანში 100-მდე პარამეტრია აღმოჩენილი, რომელთა აქტიუობაც დღელაღმურ რიტმებს ემთხ-
ვევა. ასეთ რიტმებს **ცირკადულ რიტმებს** უწოდებენ (ლათინურად „circa“ – ნიშნავს „დაახლოებით“,
„diem“ – „დღე“). ყველაზე კარგად გამოხატულ ცირკადულ რიტმს წარმოადგენს ძილ-ღვიძილის
ციკლი, რომელიც შედგება ძილის და ღვიძილის მონაცვლე ფაზებისაგან.

ადამიანი სიცოცხლის დაახლოებით 1/3-ს ძილში ატარებს (სურ. 17.1). ძილი წარმოადგენს ადა-
მიანის სასიცოცხლო მნიშვნელობის მოთხოვნილებას, რომლის ნაკლებობაც სერიოზულ ფიზიოლო-
გიურ ცვლილებებს იწვევს, რაც, საბოლოო ჯამში, არყევს ჯანმრთელობას. ადამიანი, რომელსაც
არ აქვს სრულყოფილი ძილი, ნაკლებად პროდუქტიულია. უძილობა მის შრომისუნარიანობასა
და ცხოვრების ხარისხზე უარყოფითად მოქმედებს. თუ ადამიანი სხვადასხვა მიზეზის გამო ვერ
ახერხებს სრულფასოვან ძილს, იღლება და იფიტება, ამას შესაძლოა მოჰყვეს ხანგრძლივი ძილი,
რომელიც, გარკვეულ შემთხვევებში, შესაძლოა რამდენიმე დღეც გაგრძელდეს; შედეგად, სრულად
აღდგება ფიზიკური ძალები. ძილის მოთხოვნილების ხანგრძლივმა დაუკმაყოფილებლობამ, ცოცხ-
ალი ორგანიზმში საბოლოოდ შეიძლება ფატალურ შედეგამდე მიიყვანოს.



სურ. 17.1 ძილის ხანგრძლივობა სხვადასხვა ასაკში

საუკუნეების განმავლობაში იცვლებოდა შეხედულებები ძილის შესახებ. თუ მე-16 საუკუ-
ნეში ინგლისელი დრამატურგი **თომას დეკერი** თვლიდა, რომ ძილი ჯანმრთელობის საწინდარია,
მე-20 საუკუნის დასაწყისში ამერიკელი გამომგონებელი **ტომას ედისონი** ძილს მიიჩნევდა, როგორც
„დროის დანაშაულებრივ კარგვას და ქვის ხანის მემკვიდრეობას“. მეტიც, მე-20 საუკუნის ბოლოს
ინგლისის პრემიერ-მინისტრი **მარგარეტ ტეტჩერი**, რომელსაც მხოლოდ 4 საათი ეძინა, ამბობდა,
რომ „ძილი სუსტების საქმეა“

ძილის ფენომენის კვლევის პროცესში ჩამოყალიბდა სხვადასხვა თეორია იმის შესახებ, თუ
რაში მდგომარეობს ძილის დანიშნულება.

ოსვალდის აღდგენის თეორიის მიხედვით, ენერგია, რომელიც დღისით იხარჯება, ძილის დროს
აღდგება. იონ-REM ძილის რამდენიმე ციკლი სხეულს ძალების აღდგენის საშუალებას აძლევს,
ხოლო REM ძილი – ტვინს ასვენებს (იონ-REM და REM ძილს ქვემოთ განვიხილავთ). მართლაც,

ეს თეორია ახლოსაა სიმართლესთან. მეორე, ენერგიის დაზოგვის თეორიის თანახმად, იზოგება ენერგია, თუმცა დადგინდა, რომ ძილში ენერგიის მხოლოდ 100 კალორიამდე დაზოგვაა შესაძლებელი მეორე დღისთვის. ამიტომაც ეს თეორია მოკლებული დამაჯერებლობას. მესამე – ტვინის ფუნქციონირების თეორიის თანახმად, თუ ადამიანს ასწავლიან რამეს და შემდეგ არ აძლევენ ძილის საშუალებას, ის ძნელად, თუმცა გვიან მაინც იხსენებს დასწავლილს.

ძილი ემსახურება ჯანმრთელობის შენარჩუნებას. ის აღადგენს ძალებს, აუმჯობესებს აზროვნებას და მენსიერებას, ხსნის სტრესს. ერთი საათი დამატებითი ძილი 25%-ით ზრდის შრომის ნაყოფიერებას.

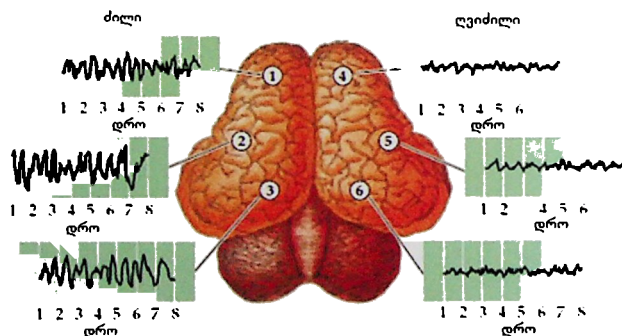
უკვე საყოველთაოდ აღიარებულია, რომ ძილი არის ქცევის და ფიზიოლოგიური მდგომარეობის დინამიური და რეგულირებადი კომპლექსი, რომლის დროსაც ადგილი აქვს სიცოცხლისათვის და ჯანმრთელობისთვის მნიშვნელოვან სხვადასხვა პროცესს.

ძილის ფენომენი ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში. დროზოფილაც კი იძინებს. ცხოველთა სამყაროში განსხვავებული სახეობები ძილის განსხვავებული ხანგრძლივობით ხასიათდებიან. მაგ. კურდღელს და ჟირაფს მოკლე პერიოდების განმავლობაში სძინავთ, მაშინ, როცა დათვი, ჩეუ-ლებრივი ძილის გარდა, ზამთრის ძილსაც ეძლევა ზოლმე. განსაკუთრებულ შემთხვევას წარმოადგენს დელფინი და სელაპი. ელექტროფიზიოლოგიურადაა ნაჩვენები, რომ როცა დელფინის ტვინის ერთი ნახევარსფერო „ფიზიოლოგის“, მეორე ნახევარსფეროს „სძინავს“ (სურ. 17.2 ა,ბ).

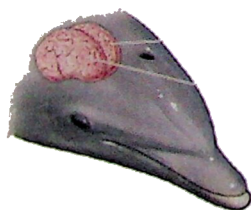
მოზრდილ ადამიანთა უმრავლესობა ძილში დღე-ღამის 7-8 საათს ატარებს. ამასთან, ადამიანებში ძილის მოთხოვნილება/ხანგრძლივობა ინდივიდუალურია და მეტნაკლებად განსხვავებული. ძილის ხანგრძლივობა განსხვავდება ასაკის მიხედვით: ახალშობილი ძილში 17 საათს და კიდევ უფრო მეტს ატარებს, მოზარდები – 9 საათს, 20 წლის ასაკიდან კი ეს პერიოდი დაახლოებით 8 საათს შეადგენს.

ასაკთან ერთად, ღამის ძილი უფრო ზედაპირული და ხანმოკლე ხდება. ამის კომპენსაციას წარმოადგენს თვლელა დღის განმავლობაში.

ძილი ხასიათდება თანმდევი ფიზიოლოგიური მოვლენებით. კერძოდ, ამ დროს მეტაბოლიზმი დადის მინიმუმამდე და სხეულის ტემპერატურა მცირდება (სურ. 17.3).



ბ.



მარცხენა

მარჯვენა

(ა)

ღიძილი

მარცხენა

მარჯვენა

(ბ)

ნ რიტმი

გ

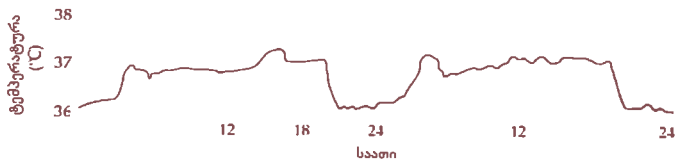
მარცხენა

მარჯვენა

(გ)

5 წამი

სურ. 17.2 ძილის თავისებურება დელფინებში – ელექტროფიზიოლოგიური ჩანაწერი



სურ. 17.3 სხეულის ტემპერატურის ცვლილება ძილის და ღვიძილის დროს

ძილისთვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ხარისხს და ხანგრძლივობას, ანუ მნიშვნელოვანია, თუ როგორ და რამდენ ხანს გვიძინავს. თუ ძილი ხანმოკლეა, მაშინ სხეული და გონება ვერ ასწრებს ძილის ყველა ფაზის გავლას და ძალების აღდგენას. ძილი ზრდის ენერგიას, გონების კონცენტრაციას, კრეატიულობას, სწავლის და ინფორმაციის დამახსოვრების, ასევე, რისკების შეფასების და მათზე რეაგირების უნარებს, აუმჯობესებს ხასიათს.

თანამედროვე ადამიანს 1.5-2 საათით ნაკლები სძინავს, ვიდრე ჩვენს უფროს თაობას, რაც ნეგატიურად აისახება ორგანიზმზე. მოზარდებში შეინიშნება გვიან დაძინების საშიში ტენდენცია. მათ დაახლოებით 5 საათი სძინავთ, რაც არაა საკმარისი.

უძილობას ადრე იყენებდნენ, როგორც წამების და დაკითხვის იარაღს. უძილო პერიოდის რეკორდი 2007 წელს დამყარა ბრიტანელმა ტონი რაიტმა. მას გადამუღლად არ ეძინა 274 საათი, რაც 11 დღეზე მეტს შეადგენს. ძილის დეფიციტს ან უძილობას ძილის დეპრივაციას უწოდებენ. ის კუმულაციური პროცესია, რომელიც დგება მრავალი დღის, კვირის და თვეების განმავლობაში გადამუღლად ძილის ნაკლებობის ფონზე.

ცოტა ძილი ნიშნავს ცოტა REM-ძილს, ანუ რაც უფრო მოკლეა ძილი, მით უფრო ნაკლებად დგება REM-ძილი, რომელიც აუცილებელია, ფიზიკურთან ერთად, გონებრივი ძალების აღსადგენად. ქრონიკულ უძილობას მიყვავართ გამოფიტვამდე, დღის განმავლობაში ძილიანობამდე, წონის კარგვამდე ან მომატებამდე. ყველაფერი ეს კი ნეგატიურად მოქმედებს კოგნიტურ ფუნქციებზე, თუმცა, როდენ პარადოქსულადაც უნდა აღვნიშნავ, რიგ შემთხვევებში უძილობა, პირიქით, ენერგიის მომატებას და ხასიათის გაუმჯობესებას იწვევს.

ძილის შესწავლის მიზნით ჩატარებული კვლევის ფარგლებში, 1972 წელს, მღვიმეების ფრანგმა მეკლევარმა მიქაელ სიფრემ შეიღო თვე გაატარა მღვიმეში. ის ვერ ხედავდა დღისა და ღამის ცვლილებას. ერთადერთი ტიპის კონტაქტს გარე სამყაროსთან ტელეფონით აწყურებდა. მეცნიერებმა ნახეს, რომ 24-საათიანი ციკლი შეიცვალა 25-საათიანით. იყო შემთხვევები, როცა ის 36 საათი ფხიზლობდა და შემდეგ 14 საათი ეძინა. აღმოჩნდა, რომ ის ყოველდღე საშუალოდ 1 საათით გვიან იღვიძებდა, რაც ადასტურებდა იმას, რომ მისი ბიოლოგიური საათი ჩამორჩებოდა. შედეგად, მიქაელ სიფრემ ახალი წელი თითქმის სამი დღის დაგვიანებით იზივმა. აღნიშნულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ტვინი ქმნის ბიოლოგიურ საათს, რომელიც გარეგან სიგნალებთან ერთად გვამცნობს დღე-ღამის მონაცემთა შესახებ და არეგულირებს ჩვენი ძილ-ღვიძილის ციკლს. მნიშვნელოვანია, რომ ძილის პერიოდი ემთხვევოდეს მას.

ძილის პროცესს მართავს „ენდოგენური სტიმულატორი“ და „ეგზოგენური დროის მაჩვენებელი“. ენდოგენურ სტიმულატორს მიეკუთვნება ბიოლოგიური საათი, რომელსაც ნეირომეცნიერებმა ჰიპოთალამუსში „შიაგენს“ – ესაა სუპრაქიაზმატული ბირთვი; ხოლო ეგზოგენური დროის მაჩვენებელი არის სინათლე.

სუპრაქიაზმატური ბირთვი წარმოადგენს მხედველობის ჯვარედინის ზემოთ მდებარე ბირთვს (ლათინურად „supra“ – „ზედა“; ძვ. ბერძნ. „khiasma“ – „გადაკვეთა“, მხედველობის ორი ნერვის გადაკვეთის ადგილი – optic chiasm). ის არეგულირებს ეპიფიზის მიერ მელატონინის (ძილის პორმონი) სინთეზს და ახდენს ამ პროცესში ჩართული ყველა სტრუქტურის მუშაობის სინქრონიზაციას. მელატონინის სინთეზი იმატებს შებინდებისას, ძილის დადგომამდე დაახლოებით 2 საათით ადრე და მაქსიმუმს აღწევს ღამის 2-დან დღის 4 საათამდე (სურ. 17.4).

როცა ბნელდება, ბადურის ფოტორეცეპტორები ინფორმაციას აგზავნიან სუპრაქიაზმატულ ბირთვში, რომლის გავლენითაც ეპიფიზი გამოჰყოფს მელატონინს. თავის მხრივ, მელატონინი

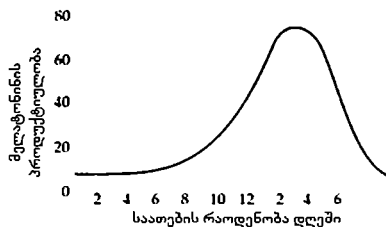
აკავებს ამავალი გამაძაქტივებელი რეტიკულური ფორმაციის მიერ სეროტონინის – „ბედნიერების ჰორმონის“ გამოყოფას და ინვესს ძილს.

სუპრაქიზმატური ბირთვი, გარდა ძილ-ღვიძილის ციკლისა, არეგულირებს, ასევე, სხეულის ტემპერატურას, ჰორმონების სეკრეციას, სისხლის წნევას, შარდის წარმოქმნას. ზრდასრული ადამიანი იშვიათ შემთხვევებში იღვიძებს მოშარდვის მიზნით, ვინაიდან ანტიდიურეზული ჰორმონის წარმოქმნაც ცირკადულ რეგულაციას ექვემდებარება.

ალბანიშნავია, რომ მელატონინის სინთეზი მცირდება ასაკოვან ადამიანებში. სწორედ ამით აიხსნება ის ფაქტი, თუ რატომ აქვთ ხანმოკლე წყვეტილი ძილი ხანშიშესულ ადამიანებს ღამის განმავლობაში.

ძილის რიტმი ირღვევა, როცა სწრაფად ხდება გადაფრენა ერთი სასაათო სარტყლიდან მეორეში. ამასთან, რაც უფრო დიდია დისტანცია და, შესაბამისად, სხვაობა სარტყლებს შორის, მით უფრო უჭირს ადამიანს ძილ-ღვიძილის ციკლის დარეგულირება. ამ დროს მელატონინი ჯერ კიდევ ბიორიტმის მიხედვით გამოიყოფა და ახალ სასაათო სარტყელზე „გადაწყობას“ რამდენიმე დღე სჭირდება. თითო სასაათო სარტყლის შეგუებას დაახლოებით ერთი დღე სჭირდება. თუ მოხდება სადმე გადაფრენა, სადაც დროებს შორის განსხვავება 6 საათია, დაახლოებით 6 დღეა საჭირო იმისათვის, რომ შეიცვალოს მელატონინის გამოყოფის დრო და ადამიანმა წონალობაში რიტმი აღიდგინოს.

ძილ-ღვიძილის რიტმს არღვევს, ასევე, ცვლიანი სამუშაო რეჟიმი. ამერიკელმა ძილის მკვლევარმა ჩარლზ ჩეისლერმა დაადგინა, რომ ასეთი სამუშაო რეჟიმისას ტვინი მხოლოდ 16 დღის შემდეგ ახერხებს სხვა დროზე „გადართვას“.



სურ. 17.4 დღე-ღამის მანძილზე მელატონინის გამოყოფის მარეგულირებელი მრუდი

ძილის ეტაპები

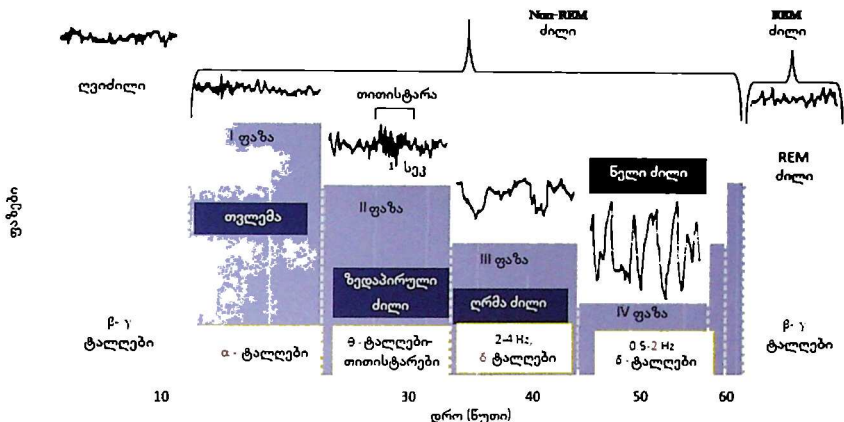
ძილ-ღვიძილის ციკლი რამდენიმე ეტაპისგან შედგება. საუკუნეების განმავლობაში ძილი, ძირითადად, პასიურ ფენომენად მიიჩნეოდა და მას მხოლოდ ძალების აღდგენის ფუნქციას მიაწერდნენ. 1953 წელს ნათანაილ კლაიტმანმა და ევგენი აზერინსკიმ ნორმალური საცდელი პირების ეგზეზე აჩვენეს, რომ ძილი სხვადასხვა საფეხურს მოიცავს და მათ გარკვეული თანმიმდევრობა ახასიათებთ. ამასთანავე, თითოეული საფეხური მკაცრად მოწესრიგებული პერიოდულობით მეორდება (სურ. 17.5).

ძილ-ღვიძილის ციკლში ელექტროენცეფალოგრამაზე ღვიძილი, ძირითადად, მაღალი სიხშირის (15-60 Hz) და დაბალი ამპლიტუდის β (ბეტა) და γ (გამა) ტალღებითაა წარმოდგენილი. ღვიძილს მოსდევს ძილის I ანუ თვლებში ფაზა, რომელიც სულ რამდენიმე წუთს გრძელდება და ამ დროს აღვივდება შეიძლება ადამიანის გაღვიძება. თვლების ფაზა წარმოდგენილია α ტალღებით;

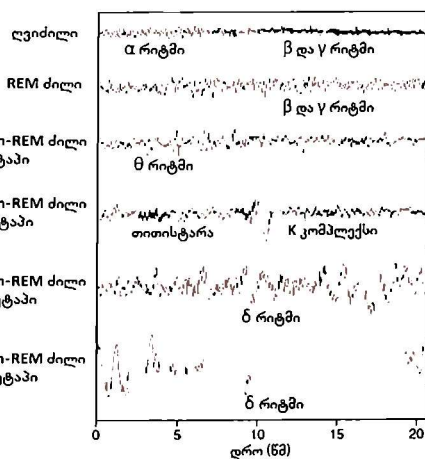
ამის შემდეგ რიტმი უფრო ღრმავდება და დგება II ფაზა – ზედაპირული ძილი, რომელიც, ძირითადად, θ (თეტა) ტალღებითაა წარმოდგენილი. ამ დროს ეგზეზე პერიოდულად ადგილი აქვს 10-12 Hz სიხშირის ძილის თითისტარების გამოჩენას (სურ. 17.5; 17.6). თითისტარები ხანმოკლეა და გრძელდება მხოლოდ 1-2 წამის განმავლობაში. გარდა ამისა, დროდადრო თავს იჩენს მაღალი ამპლიტუდის ერთეული განმუხტვები, რომელიც K-კომპლექსის სახელითაა ცნობილი (სურ. 17.6);

III ფაზაში – ღრმა ძილის დროს ძილის თითისტარები ქრება და ძილის სიღრმე სულ უფრო იზრდება. ტალღების ამპლიტუდა იზრდება და სიხშირე მცირდება 2-4 Hz-მდე (δ დელტა ტალღები), რაც IV ფაზაში კიდევ უფრო დაბლა იწევს, 0.5-2 Hz-მდე (δ დელტა ტალღები). ამ დროს ქერქის აქტივობა მინიმუმამდე დადის. ეს ფაზა ცნობილია, როგორც ყველაზე ღრმა ძილი (დაბალი ტალღების ფაზა) ანუ ნელი ძილი. პირველ ციკლში ის გრძელდება 20-40 წთ-ის განმავლობაში. ადამიანის გაღვიძება ყველაზე რთული სწორედ ამ ფაზაშია.

ჩამოთვლილი ოთხი ფაზა ცნობილია, როგორც non-REM ძილი ანუ ძილი თვლების სწრაფი მოძრაობების გარეშე (REM – rapid eye movement – თვლების სწრაფი მოძრაობა).

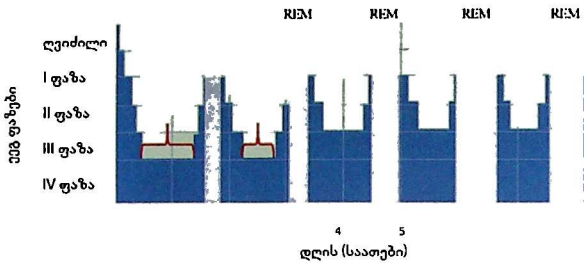


სურ. 17.5 ძილ-ლეიძილის ეტაპები



სურ. 17.6. დიდი ტვინის ქერქის ელექტრული აქტივობის ჩანაწერი ძილ-ლეიძილის სხვადასხვა ეტაპზე

პარადოქსია, მაგრამ ასეთი ღრმა ფაზის შემდგომ, როგორიც non-REM ძილია, ეგვ-ზე ჩნდება ისეთი ტიპის ტალღები, როგორსაც ადგილი აქვს ლეიძილის პერიოდში, თუმცა კი ადამიანს ღრმად სძინავს. ამ დროს ძილის თავისებურებას წარმოადგენს თვალელების სწრაფი მოძრაობები, რის გამოც ამ ფაზას **REM-ძილს** ანუ თვალელების სწრაფი მოძრაობების ფაზას, ან კიდევ **სწრაფ ძილს** უწოდებენ. სხვაგვარად, ეს ფაზა მოიხსენიება, როგორც „პარადოქსული“ ძილის ფაზა.



სურ. 17.7 ფაზათა მონაცვლეობა ძილის პერიოდში

უნდა აღინიშნოს, რომ ძილის ეს სტადია პირველმა ი. ბერიტაშვილის მონაფემ **ლევან ცქიფურ-იძემ** აღწერა 1949 წელს და მას „მშფოთვარე ძილი“ უწოდა. იმდროინდელი საბჭოთა მეცნიერების იზოლაციის გამო ეს ნაშრომი უცხოელი მეცნიერებისათვის შეუმჩნეველი დარჩა. წლების შემდეგ, 1955 წელს, იგივე აღმოჩენა გააკეთეს ზემოხსენებულმა მეცნიერებმა – **ნ. აზერინსკიმ** და **ნ. კლაიტმანმა** და, შესაბამისად, თანამედროვე ლიტერატურაში ამ აღმოჩენის ავტორებად ისინი არიან მოხსენიებული.

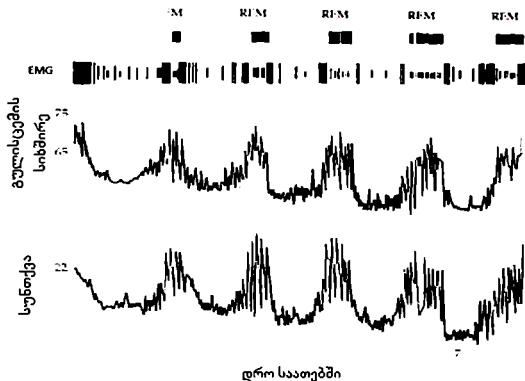
REM ძილი თავიდან 10 წუთი გრძელდება. ყოველ მომდევნო ციკლში ის უფრო ხანგრძლივია და ბოლოს მისი ხანგრძლივობა დაახლოებით 50 წუთს აღწევს. REM ძილი, საშუალოდ, 4-ჯერ დგება მთელი ძილის განმავლობაში. მისი საერთო ხანგრძლივობა 20 წლის ასაკში დაახლოებით 2 საათია, ხოლო 70 წლის ასაკში – 45 წუთამდე მცირდება. რაც შეეხება ნელტალღოვან ძილს, ანუ non-REM ძილის მეოთხე ფაზას, ის მხოლოდ პირველ ორ ციკლში ფიქსირდება და შემდეგ ციკლებში კი non-REM ძილი სამფაზიანია (სურ. 17.7).

მიუხედავად იმისა, რომ არც ისე ბევრია ძილთან დაკავშირებული სისტემატიკური კვლევები, მაინც არსებობს მონაცემები, რომლებიც ადასტურებენ ქალსა და მამაკაცს შორის ძილის პროცესის განსხვავებას. როგორც წესი, მამაკაცებს უფრო ხანგრძლივი non-REM ძილის ფაზა გააჩნიათ, ვიდრე ქალებს.

ფიზიოლოგიური ცვლილებები ძილის დროს

ძილის დროს ორგანიზმი მთლიანად იცვლის რიტმს და სხვადასხვა სასიცოცხლო ფუნქცია განსხვავებულ სურათს იძლევა. non-REM ძილისთვის დამახასიათებელია თვალების ძალიან წელი მოძრაობა, სუნთქვის შენელება, არტერიული წნევის დანევა, მეტაბოლიზმის შენელება, ტემპერატურის დაცემა; **ელექტრომოიოგრაფიაზე** (კუნთის აქტივობის ჩანაწერი) კარგად ჩანს, რომ კისრის კუნთის ტონუსი ყველაზე მაღალია ჩაძინებამდე და გაღვიძებისას, ხოლო დანარჩენ პერიოდში ის ძალიან დაბალია (სურ. 17.8). ამას თავისი მიზეზი გააჩნია. ძილის დროს მოგრძო ტვინში ძლიერდება გაემ-ერგული აქტივობა, რაც იწვევს შემაკავებელი ნეირონების მიერ ზურგის ტვინის მოტონერიონების შეკავებას და კუნთური ტონუსის დაცემას.

ზემოჩამოთვლილი პარამეტრები ყველაზე დაბალ მაჩვენებელს აღწევს IV – ნელტალღოვან ფაზაში.



სურ. 17.8 გულისცემისა და სუნთქვის ცვლილება ძილ-ლეიდილის პერიოდში

ამის საპირისპიროდ, REM ძილის შემთხვევაში, სურათი რადიკალურად იცვლება – ყველა მაჩვენებელი ისეთივე მაღალი ხდება, როგორც ლეიდილის დროს. მაგ. ელექტროკულგრამაზე (თვლების მოძრაობის ჩანაწერი) ნათლად ჩანს, რომ REM ძილის დროს თავს იჩენს თვლების ინტენსიური სწრაფი მოძრაობები. გარდა ამისა, ამ დროს ადგილი აქვს გუგების შევიწროებას, დიდი კუნთების პარალიზებას და მცირე კუნთების (მაგ. თითების კუნთების) გააქტიურებას.

ფაქტია, რომ, მიუხედავად თავის ტვინის ელექტრული აქტივობის ჩანაწერის მსგავსებისა, REM ძილი და ლეიდილი ორი ერთმანეთისგან სრულიად განსხვავებული ფიზიოლოგიური მდგომარეობაა.

სიზმარი

სიზმარი გარკვეულ მხედველობით ჰალუცინაციას წარმოადგენს და ის შეიძლება ძილის ნებისმიერ ეტაპზე დადგეს, თუმცა ყველაზე გამოხატული სიზმარი მაინც REM ძილის დროს დგება, როცა ტვინი ყველაზე მეტად აქტიურია. ზოგი ნეირობიოლოგი თვლის, რომ სიზმარი 4-6-ჯერ დგება მთელი ღამის განმავლობაში, თუმცა უმრავლესობას სიზმრების 95% ავიწყდება. სიზმარი, ესაა ჩვენი ცნობიერების მიერ ძილში შექმნილი ისტორიები. ისინი შეიძლება იყოს იმდენად ცოცხალი, რომ თავს ვგრძნობდეთ ბედნიერად, მოწყენილად ან შემინებულიად; შესაძლოა, სიზმარი მოგაყვებნოს ჩახლართულად ან რაციონალურად.

სიზმრისგან განსხვავებით კომპარი ისეთი სიზმარია, რომელიც აიძულებს ადამიანს გაიღვიძოს და განიცადოს ნანახი.

და, მაინც, რატომ გვესიზმრება? ამ კითხვაზე შეთანხმებული პასუხი არ არსებობს. ნეირომეცნიერები სხვადასხვა თეორიას გვთავაზობენ, რომელთაგან თითქმის ყველას აქვს არსებობის უფლება. თუმცა, ჯერჯერობით თეორია რჩება თეორიად.

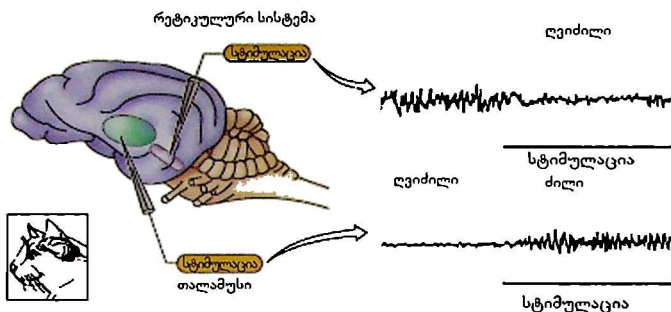
ძილის ნარკოპული სუბსტრატი

ზემოაღწერილიდან ჩანს, რომ ძილის დროს მთელი რიგი ფიზიოლოგიური თავისებურებები იჩენს თავს. ამ პროცესში გამოვლენილ აგზნების და შეკავების ბალანსში არაერთი ნერვული სტრუქტურა უნდა იყოს ჩართული.

თითქმის იმავე პერიოდში, როცა პ. მეგნიმი და ჯ. მორუციმ აჩვენეს, რომ ქოლინერგული ნეირონების სტიმულაცია ხიდის და შუა ტვინის საზღვართან ქერქის ტონუსის ანუ აგზნებადობის მომატებას იწვევდა და ასეთ პირობებში მძინარე ცხოველი იღვიძებდა, შვეიცარიელმა მეცნიერმა ვალტერ ჰესმა ჩატარებულ ექსპერიმენტებში აჩვენა, რომ თალამუსის დაბალსიხშიროვანი იმპულსებით რიტმული გალიზიანება მღვიძარე ცხოველში ნელტალლოვან ძილს იწვევდა (სურ. 17.9).

სწორედ ამ ორმა ნაყოფიერმა კვლევამ ნათლად დაანახა მეცნიერებს, რომ ძილი წარმოადგენს თალამუსის და ქერქის შეთანხმებული მოქმედების შედეგს.

თვალების სწრაფ მოძრაობას REM ძილის დროს და ქერქის მაღალსიხშიროვან აქტივობას თავის ახსნა გააჩნია.



სურ. 17.9 ექსპერიმენტულად, თალამუსისა და რეტოკულური ფორმაციის სტიმულაციით მიღებული ძილისა და ლეიდილის სურათი.

ჩვეულებრივ პირობებში, ვიზუალური სტიმულაციით მიღებული ინფორმაცია, რამდენიმე სტრუქტურაზე გადართვის გზით, ჯერ ბადურადან მიემართება ქერქის მხედველობის ზონაში, შემდეგ – ოკულომოტორულ სტრუქტურებში და ბოლოს გადაეცემა თვალის მამოძრავებელ კუნთებს, რასაც შედეგად მოჰყვება თვალის მოძრაობა.

ვინაიდან REM ძილის დროს ტვინი მოკლებულია გარე ვიზუალურ სტიმულაციას, ოკულომოტორული სტრუქტურები ამჯერად ვეღარ იღებენ სიგნალს მხედველობის ქერქიდან. ამ შემთხვევაში სტიმულაციას ისინი იღებენ ენდოგენურად გენერირებული სიგნალების სახით, ხიდის რეტოკულური ფორმაციიდან. ამის შემდეგ კი ეს სიგნალები იგივე გზით მიემართება თვალის მამოძრავებელ კუნთებამდე, როგორც ლეიდილის დროს. სწორედ ამით შეიძლება აიხსნას თვალების სწრაფი მოძრაობები REM ძილის დროს.

ანალოგიურად, REM ძილის დროს ქერქის მაღალი აქტივობაც განპირობებულია მხოლოდ შინაგანი გარემოდან მოსული ინფორმაციით, კერძოდ, ამავალი გამააქტივებელი რეტოკულური ფორმაციის ქოლინერგული სისტემის მოქმედებით.

კვლევებით დადგენილია, რომ ამავალი რეტოკულური გამააქტივებელი სისტემის მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს ხიდის და შუა ტვინის საზღვარზე არსებული ქოლინერგული ბირთვები, რომელთა ნეირონებს ახასიათებს მაღალი აქტივობა ლეიდილისა და REM ძილის დროს, ხოლო non-REM ძილის დროს ისინი მოსვენების მდგომარეობაში გადადიან.

ლეიდილის დროს ქერქის მაღალ აქტივობას განაპირობებს არა მარტო ქოლინერგული ნეირონები, არამედ სხვა სტრუქტურებიც. კერძოდ, ჰიპოთალამუსის უკანა ნაწილში მოთავსებული ტუბეროჰიპოფიზური ბირთვის და ტვინის ღეროში არსებული ლურჯი ლაქის და ნაკერის ბირთვების ნეირონებიც.

ძილის დარღვევები

მოსახლეობის 30-40%-ს აწუხებს ძილის პრობლემები, რომლებიც, ძირითადად, ასაკთან ერთად იჩენს თავს. აღსანიშნავია, რომ ეს პრობლემები ქალებში უფრო მწვავეა, ვიდრე მამაკაცებში.

ძილის დარღვევებს, ზოგადად, დისსომნიას უწოდებენ. იდენტიფიცირებულია ძილის დაახლოებით 80-მდე დარღვევა, რომელთაგან ყველაზე ცნობილი და კარგად შესწავლილია ინსომნია – უძილობა.

ადამიანების საკმაოდ დიდ ნაწილს პრობლემები აქვს ჩაძინებასთან, ძილის ხარისხთან და ხანგრძლივობასთან დაკავშირებით. ზოგჯერ პრობლემები კომბინირებული ხასიათისაა.

ძილის დარღვევის მიზეზს სხვადასხვა ფაქტორი წარმოადგენს. მოკლევადიანი/მწვავე ინსომნიის მიზეზი შეიძლება გახდეს რაიმე დაავადებით გამოწვეული ტკივილი, გაძნელებული სუნთქვა

ასთვის ან ჭარბი წონის გამო, დეპრესია, შფოთვა, სამსახურის დაკარგვა ან გამოცვლა, საყვარელი ადამიანის სიკვდილი, საცხოვრებელი ადგილის შეცვლა, გარემო ფაქტორები – სინათლე, ხმაური ან ექსტრემალური ტემპერატურა.

ხანგრძლივი ანუ ქრონიკული ინსომნია ისეთი ფაქტორებით გამოიწვევა, როგორიცაა დეპრესია, ქრონიკული სტრესი, ტკივილი ან ლამის დისკომფორტი. ხანგრძლივი ინსომნია ახასიათებთ, ასევე, ხანშიშესულ ადამიანებს, რაც განპირობებულია, ერთი მხრივ, დეპრესიისადმი განწყობით და ისეთი მედიკამენტების მიღებით, რომლებიც პირდაპირ მოქმედებს ძილის პროცესში ჩართულ ტრანსმიტერებზე, მეორე მხრივ კი, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, იმ გარემოებით, რომ მელ-ატონინის სინთეზი ბუნებრივად მცირდება.

ძილის დარღვევებში თავისი წვლილი შეაქვს, ასევე, გენეტიკას, ცვლაში მუშაობას და სხვა-დასხვა მედიკამენტს.

ტერმინით **პარასომნია** აღინიშნება ძილის ისეთი დარღვევები, რომელთაც ახასიათებთ უჩვეულო მოძრაობები, ქცევა და ემოციები ძილის დადგომის, უშუალოდ ძილის დროს და გამოღვიძებისას. მიუხედავად იმისა, რომ ძილის დროს ადამიანი მოკლებულია ნებით კონტროლს, დაცემულია კუნთური ტონუსი და მინიმუმამდე დასული მოტორული აქტები, ვხვდებით გამონაკლისს – ადამიანები ამ დროს დადიან და ლაპარაკობენ. ეს შემთხვევა **სომნამბულიზმის სახელითაა** ცნობილი და, ძირითადად, non-REM ძილის მიმდინარეობისას იჩენს თავს. ამ დროს ადამიანი არ არის კონტაქტური, თუმცა თვალზე ძლია აქვს და გამოხედვა – „შუშის“. ფიზიკურს არაფერი ახსოვს. დარღვევა, ძირითადად, 4-12 წლის ასაკის ბავშვებში იჩენს თავს, თუმცა მოზრდილებშიცაა დაფიქსირებული.

გარდა ზემოაღნიშნულისა, ცნობილია დღის ძილიანობა – **ჰიპერსომნია**, რომელიც თავს იჩენს დღის ნებისმიერ მონაკვეთში. ადამიანს, რომელსაც ჰიპერსომნია აწუხებს, შეიძლება საჭესთანაც კი ჩაეძინოს.

ღამის საშინელებები უფრო ბავშვებშია გავრცელებული, თუმცა ის მოზრდილი ადამიანების 2-8%-საც აწუხებს. ხილვა ამ დროს იმდენად „ცოცხალი“ და „რეალურია“, რომ ადამიანი ღრმა ძილიდანაც კი იღვიძებს. საშინელებების პერიოდი REM-ძილია. ვინაიდან REM-ძილის ხანგრძლივობა გამთენიისკენ ყველაზე დიდია, ამიტომ ის დღილის საათებში უფრო დასამახსოვრებელია. სიუჟეტი სხვადასხვა ადამიანში სხვადასხვაა. მაგ. ხშირია შემთხვევა, როცა ადამიანებს რაიმე ინციდენტის ან ავარიის შემდეგ იგივე სიტუაცია ესმოხმრებათ, რაც დიდ ემოციურ დატვირთვისთანაა დაკავშირებული;

ძილის პარალიზი – ეს ძილის ისეთი მდგომარეობაა, როცა ადამიანი სრულ გონებაზეა, მაგრამ ვერც მოძრაობს და ვერც ლაპარაკობს. ეს მდგომარეობა რამდენიმე წამს ან წუთს გრძელდება. ამ დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს პალუცინაციასაც. მიზეზად ითვლება REM ძილის დისფუნქცია.

ძილის ძველევარები თანხმდებიან იმაზე, რომ სხეული ვერ მიჰყვება ძილის ფაზებს. იშვიათ შემთხვევაში ამის მიზეზი შესაძლოა ფსიქიკური პრობლემა იყოს. სტატისტიკურად, 10-დან 4 ადამიანს შეიძლება დაემართოს ძილის პარალიზი, ამასთან, ქალებშიც და მამაკაცებშიც ის თანაბრადაა გავრცელებული.

ძილის დროს საუფრები ძილის უფრო იშვიათი და ხანმოკლე დარღვევაა. ამ დროს შეიძლება რთულ დიალოგებს, მონოლოგებს ან ბუტბუტს ჰქონდეს ადგილი. ძირითადად ახასიათებთ მამაკაცებს და ბავშვებს. მოსაუბრე გაუცნობიერებლად საუბრობს და გამოღვიძების შემდეგ არ ახსოვს არაფერი.

ბრუსიზმი ძილის დროს კბილების კრაჭუნია. ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში შეიძლება კბილები გაცედეს და დაზიანდეს, ასევე, თავი იჩინოს ყბის კუნთების ტკივილმა. მიზეზები უცნობია, თუმცა ერთ-ერთი მიზეზი შეიძლება სტრესი იყოს.

ძილის ობსტუციული აპნოე საკმაოდ უსიამოვნო და შემანუხლებელი დარღვევაა. ამ დროს ხდება სასუნთქი გზების ნაწილობრივი ან სრული ბლოკირება, რაც დიაფრაგმას და გულმკერდის კუნთებს უფრო გაძლიერებულ მუშაობას აიძულებს. ჩასუნთქვის პროცესი პაუზებით მიმდინარეობს, რაც ინვესს სისხლში ჟანგბადის რაოდენობის დანევას და წნევის მატებას. ეს კი შემდგომში შეიძლება ინსულტის მიზეზი გახდეს.

ხერინვა – ესაა სუნთქვის დარღვევა ძილის დროს, რომელიც შუახნის ასაკიდან აწუხებს, ძირითადად, მამაკაცებს. ამ დროს ადამიანს, ღამის განმავლობაში, შეიძლება ბევრჯერ გაღვიძდეს, რაც ინვესს წელი ძილის ძლიერ შემცირებას, ან საერთოდ ამოუარდნას, ზოგჯერ კი სწრაფი ძილის შემცირებასაც. ასეთი ადამიანები მუდმივად დაღლილები არიან და მიდრეკილნი არიან დეპრესიისკენ. ჩვეულებრივ პირობებში, ძილის დროს, სუნთქვა შენელებულია და მთელი სხეულის კუნთუ-

რი ტონუსი შემცირებული, მათ შორის ხახისაც. თუკი ტვინის ღეროვან და მოძველებულ გულმკერდისა და ხახის კუნთების მარეგულირებელი სიგნალები მცირდება, ან ჭარბონიაზობის გამო ადგილი აქვს სასუნთქი გზების კომპრესიას (ზეწოლას), მაშინ ადგილი აქვს ხახის კოლაფსს, რის შედეგადაც მცირდება ჟანგბადის და იზრდება ნახშირორჟანგის დონე. ნახშირორჟანგის დონის გაზრდა რეფლექსურად იწვევს ჩასუნთქვას, რის გამოც ადამიანი იღვიძებს.

მოუსვენარი ფეხის სინდრომი, ძირითადად, ხანშიშესულ ადამიანებს აწუხებთ. ამ სინდრომისთვის დამახასიათებელია არასასიამოვნო ცოცვის, ჩხვლეტის ან ჩქმეტის შეგრძნება ერთ ან ორივე ფეხში და ტერფებში. შეგრძნების „განეიტრალების“ მიზნით ადამიანები იწყებენ ფეხის მოძრაობას. ეს შეგრძნება ჩნდება წოლით მდგომარეობაში ან დიდი ხნით ჯდომის დროს. ვინაიდან ადგილი აქვს ფეხის მუდმივ მოძრაობას, ძილი არის ფრაგმენტირებული. ამის მიზეზი უცნობია, თუმცა კი მასაჟი, ცხელი აბაზანა და კოფეინის ამოღება რაციონიდან აუმჯობესებს აღნიშნულ პრობლემას. რთულ შემთხვევებში მედიკამენტოზური მკურნალობა ხდება საჭირო.

ნარკოლეფსია ძილის ქრონიკული დარღვევაა და გვხვდება, ძირითადად, მამაკაცებში. ამ დროს ადგილი აქვს ძილის განმავლობაში REM ძილის ხშირ „შეტევას“, ითი-REM გამოტოვებით, ანუ ლეიძილს მოსდევს პირდაპირ REM ძილი. ძილის ასეთი შეტევები შეიძლება გაგრძელდეს 30 წამიდან 30 წუთამდე ან კიდევ უფრო დიდხანს. ჩაძინების მომენტი ზოგჯერ ისე უცბად დგება, რომ შესაძლებელია ადამიანი ძირს დაეცეს კიდეც. ნარკოლეფსიას ახასიათებს, ასევე, **ჰალუცინაციები** და **ძილის პარალიზება**. აღნიშნული დარღვევის მიზეზები უცნობია. იმ შემთხვევაში, თუ არ მოხდა ამ დაავადების დროული და ზუსტი დიაგნოსტიკა, დაავადებულთა დაახლოებით 70%-ში ის შეიძლება გაღრმავდეს და, გარკვეული პერიოდის შემდეგ, თან დაერთოს მეორე სიმპტომი – **კატალეფსია**. კატალეფსიური მდგომარეობა შესაძლებელია განვითარდეს უეცრად, ან მისი სტიმულაცია მოხდეს რომელიმე ძლიერი ემოციის – მაგ. სიცილის, ტირილის ან შიშის ფონზე. ამ დროს ხდება კუნთებზე კონტროლის დროებითი დაკარგვა, რის გამოც ადამიანის სხეული შეიძლება გაშეშდეს სხვადასხვა პოზაში. მსუბუქი კატალეფსიის დროს ადგილი აქვს თვალის ქუთუთოების გაშეშებას, თუმცა კი, მძიმე შემთხვევებში, შესაძლებელია გაშეშდეს მთელი სხეული. აღსანიშნავია, რომ ამ დროს ადამიანი ინარჩუნებს სრულ ცნობიერებას და „შეტვის“ შემდეგ ყველაფერი ახსოვს. იშვიათია კატალეფსია ნარკოლეფსიის გარეშე. ხელოვნურად ის შეიძლება გამოწვეულ იქნას ჰიპნოზის საშუალებით.

REM-ძილის პერიოდში ზოგჯერ თავს იჩენს ქცევითი აშლილობა, რომელიც **REM ძილის ქცევითი აშლილობის** სახელითაა ცნობილი. ჩვეულებრივ, თუ REM-ძილის დროს კუნთების ტონუსი დაქვეითებულია, მაგრამ ამ აშლილობით დაავადებულებს ხშირად სიზმარი გაუცნობიერებლად „მოჰყავთ სისრულეში“, რაც საკმაოდ მკვეთრი, ინტენსიური და დაუნდობელი ქცევით გამოიხატება. ადამიანი შეიძლება ამ დროს ლაპარაკობდეს, ყვიროდეს, ბოლთას სცემდეს, საწოლიდან გადმოხტეს, ვინმეს დაეტაკოს... მწვავე ფორმები დამახასიათებელია სედატიური პრეპარატების ან ალკოჰოლის მოხსნის შემდგომ პერიოდში. 2003 წელს მანჩესტერში იშვიათი შემთხვევა დაფიქსირდა. 32 წლის მამაკაცმა მძინარე მოკლა საკუთარი მოზუცი მამა. ძილის ექსპერტის მიერ სხვადასხვა ტესტით დამტკიცებულ იქნა, რომ მკვლელს ნამდვილად ეძინა და ის სასამართლომ გაამართლა.

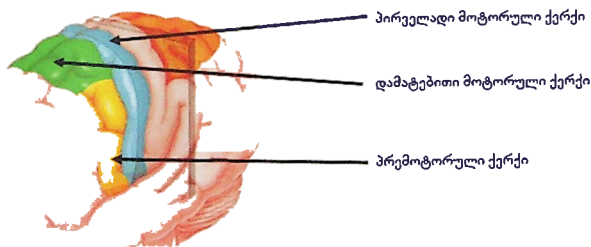
თავი 18. მოტოკორტექსი. მოძრაობის კონტროლი

დიდი ტვინის ქერქი არა მარტო იღებს ინფორმაციას აფერენტული იმპულსაციის სახით, არამედ ახდენს მის ანალიზს და განაპირობებს საპასუხო რეაქციების გენერირებას.

ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნეში, ექსპერიმენტულმა კვლევებმა ჭეშუმწოვრებზე აჩვენა, რომ ზოგიერთი ქერქული უბნის ლოკალური გალიზიანება იწვევდა კონტრალატერალურად მდებარე კიდურის მოძრაობას. სხვა მკვლევარების ნაშრომებმა აჩვენა, რომ ქერქის ზოგიერთი უბნის ლოკალური დაზიანება ცხოველის მოტორიკის შესაბამის დარღვევებს იწვევდა. ასეთი ზონების ერთობლიობას **მოტორული ქერქის ანუ მოტოკორტექსის** სახელით აღნიშნავენ.

მოგვიანებით, კლინიკური მონაცემების საფუძველზე გაირკვა, რომ ადამიანებშიც იგივე მოვლენას ჰქონდა ადგილი – ქერქის ზოგიერთი უბნის ლოკალური გალიზიანება იწვევდა კონტრალატერალური კიდურების მოძრაობებს. გარდა ამისა, ეპილეფსიით დაავადებულ პაციენტებში, ეპილეფსიური კერების ამოკვეთის მიზნით ქერქის ზოგიერთი უბნის მოცილების შედეგად, ხშირად ვლინდებოდა მოტორიკისთვის დამახასიათებელი დარღვევები.

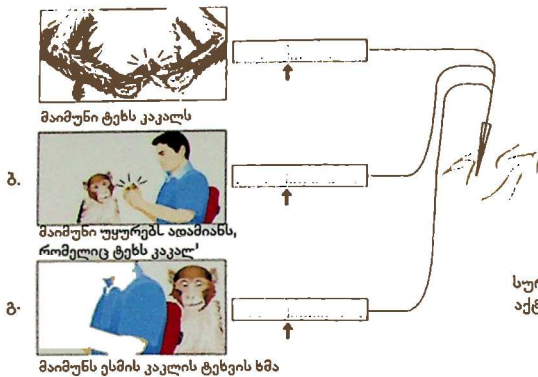
მოტოკორტექსი შედგება სამი ნაწილისგან (სურ. 18.1): **პირველადი მოტოკორტექსი** – მოიცავს ბროდმანის მე-4 ველს; **პრემოტოკორტექსი** – მოიცავს ბროდმანის მე-6 ველის ლატერალურ ნაწილს; **დამატებითი მოტოკორტექსი** – მოიცავს ბროდმანის მე-6 ველის მედიალურ ნაწილს.



სურ. 18.1 მოტოკორტექსი

პირველადი მოტოკორტექსი, ძირითადად, ახდენს იმ ნერვული იმპულსების გენერირებას, რომლებიც მიემართება ზურგის ტვინისკენ და აკონტროლებს სხეულის ცალკეული ნაწილების მიერ მოძრაობის შესრულებას, რომელიც, პარალელურად, კოორდინირებას საჭიროებს.

პრემოტოკორტექსი პასუხისმგებელია მოძრაობის ისეთი ასპექტების გენერირებაზე, როგორიცაა მოძრაობის მომზადება, მიზნის მიღწევის სივრცობრივი მართვა, ან ტანის და ტანთან ახლომდებარე კუნთების (ბარძაყის და მხრის კუნთების) პირდაპირი კონტროლი. ის დაკავშირებულია როგორც პირველად მოტოკორტექსთან, ისე ზურგის ტვინთან. **პრემოტოკორტექსის** ნეირონები ახდენენ ისეთი სენსორული სიგნალების კოდირებას, რომელიც დაკავშირებულია გარკვეულ მოტორულ აქტთან. მაგ. მაიმუნი ამტვრევს თხილს. ამ დროს პრემოტოკორტექსში აქტივდებიან გარკვეული ტიპის ნეირონები. ზუსტად იგივე ნეირონები აქტივდებიან მაშინაც, როცა იგივე მოქმედებას ასრულებს სხვა და მაიმუნი უყურებს ამ აქტს, ან უბრალოდ ესმის თხილის ტეხვის ხმა. ასეთ ნეირონებს სარკისებურ ნეირონებს უწოდებენ. ანუ სარკისებური ნეირონები ისეთი ნეირონებია, რომლებიც აქტივდებიან ა) გარკვეული ტიპის მოქმედების შესრულებისას; ბ) ამ მოქმედებაზე დაკვირვებისას, როცა სხვა ასრულებს მას; გ) ამ მოქმედების შესრულებისთვის დამახასიათებელი ხმის გაგონებისას (სურ. 18.2).



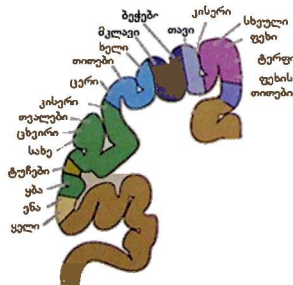
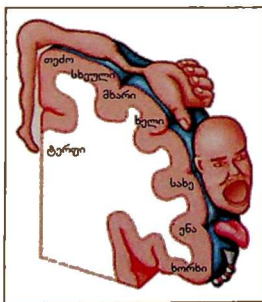
სურ. 18.2 სარკისებური წერილის აქტივობა სხვადასხვა პირობებში

პრემოტოკორტექსი მგრძნობიარეა, ასევე, მოძრაობის ქცევით კონტექსტზე და სწორი და არასწორი მოქმედების შესრულებაზე.

დამატებითი მოტოკორტექსი უფრო ფართო ფუნქციებითაა დატვირთული. ის აკონტროლებს მოძრაობის დაგეგმვას, მის ორმხრივ კოორდინაციას და კინემატიკური მაჩვენებლების დინამიკურ-ში ტრანსფორმაციას. მაგ. ეთქვამთ, ხელი უნდა გავწიოთ მარცხნივ. დამატებითმა მოტოკორტექსმა ეს უნდა „თარგმნოს“ ისე, რომ ხელმა შესაძლოა სწორი მოძრაობა დისტანციის და კუთხის გათვალისწინებით და გაუზგავნოს კუნთებს ინფორმაცია ამ მოძრაობის შესასრულებლად შესაფერისი ძალით შეკუმშვისათვის.

ფაქტობრივად, პრემოტოკორტექსი და დამატებითი მოტოკორტექსი წარმოადგენენ პირველად მოტოკორტექსზე უფრო მაღალ საფეხურს, რომლებიც ახდენენ კომპლექსური და რთული მოძრაობების კოდირებას/გენერირებას.

ბუნებრივ პირობებში მოტორული ქერქის უჯრედების ამოქმედების პროცესი შემდეგ ეტაპებს გადის: პერიფერიული აფერენტული იმპულსაცია ჯერ აღწევს თალამუსს და შემდეგ ქერქის სომატოსენსორულ ზონას, სადაც ხდება მისი ანალიზი. მხოლოდ ამის შემდეგ მიდის იმპულსაცია მოტორულ ქერქში, სადაც ხდება შესაბამისი მოტორული აქტების გენერირება. მოტორულ ქერქს ახასიათებს სომატოტოპური ორგანიზაცია, ანუ პირველად მოტოკორტექსში სხეულის ყველა ორგანოს თავისი პროექცია აქვს და მათი ტოპოგრაფიული განაწილება შეესაბამება სხეულის ნაწილების სივრცით განლაგებას. რაც უფრო ნატიფ და რთულ ფუნქციას ემსახურება ორგანო, მით უფრო დიდი წარმომადგენლობა გააჩნია მას მოტორულ ქერქში, თუნდაც ეს ორგანო მცირე ზომის იყოს (სურ. 18.3).



სურ. 18.3. მოტოკორტექსის სომატოტოპური ორგანიზაცია. ა და ბ - დიაგრამა, რომელიც უჩვენებს სხეულის ნაწილების წარმომადგენლობის განლაგებას მოტოკორტექსში. გ. დისპროპორციული ჰომუნკულუსი.

მოტორული რეაქციების გამოწვევა შესაძლებელია, ასევე, სენსორული საპროექციო ზონების ზოგიერთი ნერტილის ლოკალური გაღიზიანებითაც. მაგ. სმენის პირველადი საპროექციო ზონის ზოგიერთი ნერტილის გაღიზიანებას სპასუხოდ მოჰყვება თავის მობრუნება. ასეთ ნერტილებს **მამოძრავებელ ნერტილებს** უწოდებენ.

მოძრაობის კონტროლი

ნებისმიერი მოძრაობა, იქნება ეს ნებითი თუ უნებლო, წარმოიქმნება ცნს-ში აღმოცენებული ბრძანებების შედეგად, რომელიც კუნთების შეკუმშვის დროით და სიერცით ასპექტებს განაპირობებს. ცნს-ის ამ სქემების გამოიყვანა მნიშვნელოვანია როგორც თავად მოძრაობის ბუნების, ისე სხვადასხვა ნევროლოგიური დაავადების ეტიოლოგიის (წარმოშობის) გამოსაკვლევად.

მოძრაობები შეიძლება დაეჯგუფოთ სირთულის და მასში ჩართული სტრუქტურების მიხედვით. მარტივ რეფლექსურ მოძრაობებზე პასუხისმგებლობა აღებული აქვს ტვინის ლეროსა და ზურგის ტვინს, ხოლო უფრო რთულ მოტორულ აქტებს დიდი ტვინი და ნათხემი აკონტროლებს.

აღსანიშნავია, რომ ტვინის ლერო დამაკავშირებელი ზონა თავის ტვინსა და ზურგის ტვინს შორის, ამიტომ აქ ვხვდებით ნეირონებს ორივე განყოფილებიდან. არჩევენ მოტონეირონების რამდენიმე ჯგუფს. მოტონეირონთა ერთი ჯგუფი სათავეს ზურგის ტვინსა და ტვინის ლეროში იღებს და პირდაპირ უკავშირდება კუნთთან ბოჭკოებს; მეორე ჯგუფი აკონტროლებს პირველი ჯგუფის მოტონეირონთა მოქმედებას. ისინი სათავეს იღებენ ეესტიბულურ ბირთვებში, ზედა ორგანაკში, რეტიკულურ ფორმაციასა და ნათხემის ქერქში. მეორე ჯგუფის მოტონეირონთა მოქმედება რეგულირდება ბაზალური ბირთვებისა და ნათხემის ნეირონთა მიერ. ისინი აადვილებენ მოძრაობის დაწყებას და შესრულებას სიერცობრივი და დროითი სიზუსტით.

ვესტიბულური სისტემა გავლენას ახდენს მყისიერ ავტომატურ ქცევაზე, მაგ. თვლების მოძრაობაზე, რაც განაპირობებს მზერის სტაბილურობას სიერცეში საკუთარი თავის შეგრძნებისა და წონასწორობის შესანარჩუნებლად, მაგ. სხეულის პოზის მყისიერ „გასწორებაზე“ – რაიმეზე ფეხის ნაშკერისას ეაკეთებთ მყისიერ მოძრაობებს, რაც განაპირობებს წელში გამართვას და დაცემისგან თავის არიდებას.

რეტიკულური ფორმაციის ფუნქციებიდან აღსანიშნავია სხეულისა და კიდურების დროითი და სიერცითი კოორდინაცია გადაადგილებისას. ვესტიბულურ ბირთვებთან ერთად, რომლებიც ინფორმაციას ვესტიბულური ლაბირინთიდან იღებენ, რეტიკულური ფორმაცია აწვდის ზურგის ტვინის მოტონეირონებს სიგნალებს, რომლის საფუძველზე, გარემოს ცვლილების შესაბამისად, ნარჩუნდება პოზა. შესაბამისი ნეირონები უზრუნველყოფენ უკუკავშირს აქტიურ მოძრაობასა და პოზის სტაბილიზირებას შორის.

ვესტიბულურ ბირთვებზე არსებული პროექციებით წარმართული რეფლექსები ორ ძირითად კლასად შეიძლება დაყვით: ერთნი, რომლებიც, წონასწორობის შენარჩუნების გარდა, მზერის შენარჩუნებაზეც არიან პასუხისმგებელნი და მეორენი, რომლებიც სხეულის პოზის შენარჩუნებას განაპირობებენ.

არჩევენ თვალის რამდენიმე, მნიშვნელოვან სტერეოტიპულ მოძრაობას, მაგ. **ნახტომისებური მოძრაობები** – საკადები, ნელი მიდევნებითი მოძრაობა, ვესტიბულოკულარული რეფლექსი და ოპტოკინეტიკური რეფლექსი.

მზერის დაფიქსირებაში გადამწყვეტი როლი ვესტიბულოკულარულ რეფლექსს უჭირავს. ესაა ის მექანიზმი, რომელიც წარმოქმნის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების თვალისა და თვალის მოძრაობებს, რაც განაპირობებს სიერცეში მზერის დაფიქსირებას. თუ ჩვენ რაიმე საგანზე შევაჩერებთ მზერას, თავი საითაც არ უნდა ვატრიალოთ, ჩვენი თვალი საგანს არ მოშორდება. ეს განაპირობებულია სწორედ იმ ფაქტით რომ, როცა თავი ბრუნავს მაგ. მარცხნივ, თვალი იგივე მოძრაობას ასრულებს მარჯვენა მიმართულებით, ანუ მოძრაობს თავიც და თვალიც, თუმცა მზერა დაფიქსირებულია ერთ ადგილზე.

ოპტოკინეტიკური რეფლექსი თვალეების მოძრაობაა თავის მოძრაობის გარეშე. ამის შესანიშნავი მაგალითია მატარებლის ფანჯრიდან გარემოზე დაკვირვება და დროდადრო თვალეების „უკან“ დაბრუნება. მასში ჩართულია ვესტიბულური სისტემისა და ნათხემის სტრუქტურები, ასევე, ბაზალური ბირთვები.

მოძრაობის რეგულაციამ მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ შუა ტვინის ნაწილები – **ტეგმენტუმი** და

ტექტუმი. ტემპენტუმი შუა ტვინის ვენტრალური ნაწილია, ხოლო ტექტუმი დორსალურ ნაწილს წარმოადგენს და ანატომიურად „სახურავის“ ფუნქციას ასრულებს. ეს ორი სტრუქტურა ერთმანეთისაგან სილივის წყალსადენითაა (არზი მესამე და მეოთხე პარაკუჭებს შორის) გამოყოფილი (თავი 9. სურ. 9.1ა).

ტექტუმს აქვს ოთხი ბორცვი, რომელთაც ერთიანობაში ოთხგორაკს უწოდებენ. ზედა ორი ცალკე მოიხსენიება, როგორც ზედა ორგორაკი, ხოლო ქვედა ორი – როგორც ქვედა ორგორაკი (თავი 9. სურ. 9.2ბ). ზედა ორგორაკი ჩართულია ზურგის ტვინისა და მოგარძო ტვინის მოტონეირონების მართვასა და თვალების მოძრაობის კონტროლში. ის იღებს აფარენტებს ბადურიდან და მხედველობის ქერქიდან. შემდეგ აქსონებს აგზავნის ორი მიმართულებით – ნაწილი მიემართება თვალების კუნთების მოტონეირონებისკენ, ნაწილი კი – რეტიკულურ ფორმაციაზე, საიდანაც აქსონები, თავის მხრივ, მიემართებიან ზურგის ტვინის კისრის განყოფილებისაკენ. ეს კავშირი აუცილებელია თავის საორიენტაციო მოძრაობებისათვის; რაც შეეხება ქვედა ორგორაკს, ის აფერენტაციას ყურიდან იღებს და მიღებულ აუდიტორულ ინფორმაციას თალამუსს გადასცემს.

ტემპენტუმი ტვინის ყველაზე „ფერადი“ ნაწილია. ის შეიცავს ჩვენ მიერ უკვე განხილულ ნივთიერებებს (საიდანაც სათავეს იღებს რუბროსპინალური ტრაქტი, რომელიც ბოლოვდება ზურგის ტვინის ვენტრალურ რქაზე და მართავს ზედა კიდურებს) და შავ სუბსტანციას. როგორც ვიცით, ორივე ეს სტრუქტურა ნებისმიერ მოძრაობების კონტროლშია ჩართული (თავი 9. სურ. 9.3).

გლუვი კუნთებისა და გულის კუნთის შეკუმშვას, ასევე, ჯირკვლების მოქმედებას არეგულირებენ ავტონომიური ნერვული სისტემის ნეირონები.

ზემოწამოთვლილთაგან ყოველი ნერვული ქსელი მუშაობს ერთად და შეთანხმებულად, რაც განაპირობებს სხეულის სხვადასხვა ნაწილის მოძრაობას ერთ მთლიან კომპლექსში.

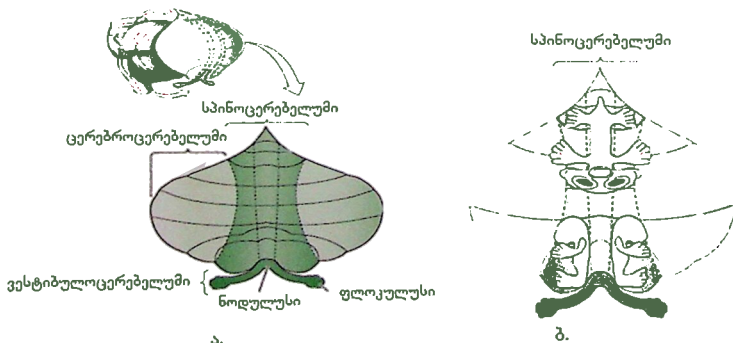
მოძრაობის დარღვევების სხვადასხვა სიმპტომი ცნს-ის სხვადასხვა სტრუქტურაში არსებულ დაზიანებაზე მიუთითებს. ამიტომაც, მნიშვნელოვანია ცალკეული ნერვული სქემის ზედმიწევნით ცოდნა იმისათვის, რომ დადგინდეს დაზიანების ლოკალიზაცია და დაინიშნოს სათანადო მკურნალობა.

განვიხილოთ რთული მოტორული აქტების მაკონტროლებელი ნათხმის და ბაზალური ბირთვების მოქმედების მექანიზმები.

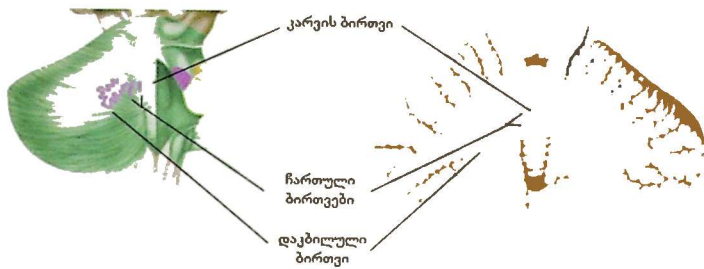
ნათხმი

ნათხმი ანუ პატარა ტვინი (cerebellum) მოთავსებულია დიდი ჰემისფეროების უკან, მოგარძო ტვინისა და ხიდის ზემოთ. ანატომიურად მასში რამდენიმე განყოფილებას არჩევენ, რომელთაც სხვადასხვა ფუნქციური დატვირთვა გააჩნიათ.

ყველაზე დიდ განყოფილებას წარმოადგენს ცერებროცერებელუმი (cerebrum – დიდი ტვინი, cerebellum ნათხმი), რომელსაც ჰემისფეროების უმეტესი ლატერალური ნაწილი უჭირავს (სურ. 18.4). როგორც სახელწოდება მიუთითებს, ნათხმის ეს უბანი დაკავშირებულია დიდ ტვინთან. ის ჩართულია ისეთი მოძრაობების დაგეგმვასა და შესრულებაში, რომლებიც საჭიროებენ მაღალ სიზუსტეს დროსა და სივრცეში (მაგ. მეტყველება).



სურ. 18.4 ა. ნათხმის ზედაპირის დაყოფა კავშირების მიხედვით
ბ. სპინოცერებელუმის სომატოტოპური ორგანიზაცია



სურ. 18.5 ნათხემის ღრმა ბირთვები სქემატურ გამოსახულებასა და ანათომზე – დაკბილული ბირთვი, ჩართული ბირთვები და კარვის ბირთვი

ცერებროცერებელუმის მომიჯნავედ, პემისფეროების მედიალურ ნაწილში მოთავსებულია სპინოცერებელუმი (სურ. 18.4ა). ეს ნათხემის ერთადერთი განყოფილებაა, რომელიც ზურგის ტვინიდან პირდაპირ იღებს აფერენტაციას. მედიალურ ნაწილს „ჭიას“ უწოდებენ. ნათხემის ჭია არეგულირებს კუნთების და თვალების მოძრაობას. აღსანიშნავია, ასევე, რომ სპინოცერებელუმში სხეულის სხვადასხვა ნაწილს თავისი „წარმომადგენლობა“ გააჩნია (სურ. 18.4ბ), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ კონკრეტული უბანი სხეულის ასევე კონკრეტული ნაწილის მოძრაობას არეგულირებს – სომატოტენსორული ქერქისა და მოტოკორტექსის მსგავსად, სპინოცერებელუმსაც გააჩნია სომატოტოპური ორგანიზაცია.

ნათხემის მესამე, მნიშვნელოვანი განყოფილებაა ვესტიბულოცერებელუმი (vestibulocerebellum) (სურ. 18.4ა). ის ორი ნაწილისგან შედგება: ფლოკულუსისა და ნოდულუსისგან. როგორც სახელწოდება მიუთითებს, ვესტიბულოცერებელუმი აფერენტაციას ვესტიბულური ბირთვებიდან იღებს, ჩართულია ვესტიბულოოკულარულ რეფლექსში და, ასევე, ისეთი მოძრაობების რეგულაციაში, რომელიც უზრუნველყოფს პოზის და წონასწორობის შენარჩუნებას.

ნათხემი ორგვარ ნივთიერებას შეიცავს: თეთრს და რუხს. რუხი ნივთიერება გარედან აკრავს თეთრ ნივთიერებას და მას ნათხემის ქერქს უწოდებენ (სურ. 18.5). მასში თავმოყრილია ნეირონთა სხეულები. თეთრი ნივთიერება ბოჭკოებისგან შედგება, თუმცა მის სიღრმეში რუხი ნივთიერების სახით გვხვდება ერთმანეთთან მჭიდროდ განლაგებული ნეირონთა სხეულების ჯგუფები, რომლებიც ნათხემის ბირთვებს წარმოადგენენ.

ნათხემში არჩევენ ღრმა ბირთვების სამ წევრს. ესენია: ყველაზე დიდი – დაკბილული ბირთვი (nucleus dentatus), ორ-ორი ჩართული ბირთვი (nuclei interpositus) და კარვის ბირთვი (nucleus fastigius) (სურ. 18.5).

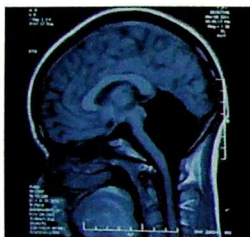
ნათხემის ქერქი ხუთ სხვადასხვა ტიპის უჯრედს შეიცავს. ის იღებს აფერენტებს ცნს-ის სხვადასხვა უბნიდან და თავადაც აგზავნის აფერენტებს ცნს-ის სხვადასხვა სტრუქტურაში, მათ შორის, თავისასვე ღრმა ბირთვებზე. კერძოდ, ცერებროცერებელუმი პროეცირდება დაკბილულ ბირთვზე, სპინოცერებელუმი – ჩართულ ბირთვებზე, ხოლო ვესტიბულოცერებელუმი – კარვის ბირთვზე.

ნათხემი უშუალოდ არ იწვევს კუნთების შეკუმშვას, ვინაიდან მისი ეფერენტები არ ბოლოვდებიან უშუალოდ ზურგის ტვინის მოტონეირონებზე. ის ემსახურება დაგეგმილი აქტების ნორმალურ მიმდინარეობას, მათ კორექციას და ურთიერთკოორდინაციას ცნს-ის სხვა სტრუქტურებზე გადართვის შედეგად.

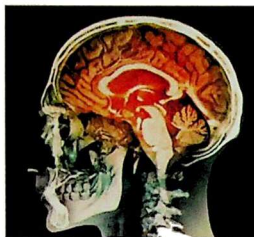
ნათხემის დაზიანების ეშვატები

ნათხემი აუცილებელი სტრუქტურაა ნორმალური ცხოვრებისათვის. აღწერილია სულ ცხრა „უნათხემო“ შემთხვევა. ადამიანებს, რომლებსაც დაზადებიდანვე არა აქვთ ნათხემი, ცოცხლობენ და ვითარდებიან, თუმცა განვითარების გზაზე და მის შემდგომაც აქვთ პრობლემები. 2015 წელს, 24 წლის ახალგაზრდა ჩინელი ქალი მოხვდა პოსპიტალში თავბრუსხვევისა და გულისრევის შეგრძნებით და მან შემთხვევით თქვა, რომ მთელი ცხოვრება პრობლემა ჰქონდა სიარულთან დაკავ-

შირებით. პაციენტის დედის თქმით, მას არ შეეძლო საყრდენის გარეშე სიარული და მხოლოდ 7 წლის ასაკში შეძლო დამოუკიდებლად გაგლა; ასევე, უჭირდა სიტყვების გამოთქმა და მისი მეტყველება მხოლოდ 6 წლიდან გახდა გასაგები. კტ-მ აჩვენა, რომ მას არ ჰქონდა ნათხემი და მისი ადგილი ამოვსებული იყო თავზურგტუბის სითხით (სურ. 18.6). მიუხედავად ამისა, გარკვეული დისკომფორტის ფონზე, 24 წლამდე ადამიანი მივიდა ისე, რომ მის სიცოცხლეს საფრთხე არ დამუქრებია.



ბ.



სურ. 18.6 ა. 24 წლის ჩინელი ქალის კომპიუტერული ტომოგრაფიის სურათი. ბ. ნორმალური ადამიანის ტვინი

სხვადასხვა უბნის დაზიანების შედეგად, იმისდა მიუხედავად, თუ რა ლოკაციაზეა დაზიანება, ადამიანი ყოველთვის ავლენს შეცდომებს მოძრაობაში. ამასთან, ეს შეცდომები ელინდება დაზიანების მხარეს. მაგ. თუ დაზიანებულია ნათხემის ესა თუ ის სტრუქტურა მარჯვენა მხარეს, შეცდომაზე მარჯვენა მხარეს ელინდება.

ცნობილია, რომ ალკოჰოლის ქრონიკული მოხმარება აზიანებს ქიას წინა ნაწილს, მაშინ, როცა ნათხემის სხვა სტრუქტურები ინტაქტური რჩება. ასეთ პაციენტებს დეფექტი უვლინდებათ, ძირითადად, ქვედა კიდურების მოძრაობისას – ფართომპლიტუდიან, არაწყარ და გაძნელებულ ნაბიჯებს თან ახლავს ხელის ან მკლავის გარკვეული მოძრაობებიც.

სპონოცერებელუმის დაზიანება, ზოგადად, იწვევს სიარულის შეფერხებას. ირლევება კუნთების შეთანხმებული მოქმედება, რაც ნორმალური ლოკომოციის საფუძველს წარმოადგენს. სპონოცერებელუმის დაზიანებისას პაციენტებს უჭირთ, ასევე, მყისიერი მოძრაობების შესრულება, მაგ. შემობრუნება, მიმართულების შეცვლა. ეს პათოლოგია ცნობილია, როგორც **დისიადოკოკინეზია**.

ნათხემის დაზიანებისას შესაძლოა თავი იჩინოს **დისმეტრიამ**. პათოლოგია გულისხმობს მიზნის გართულებულ მიღწევას (სურ. 18.7). აღნიშნულს თან ახლავს ხელის კიდურის არარეგულარული მოძრაობები, რომელსაც **მოქმედების ან ინტენციურ ტრემორს** უწოდებენ. ის გამოირჩევა უხეში, ფართომპლიტუდიანი მოძრაობებით, რომელიც არ შეინიშნება მოსვენებისას და თავს იჩენს მიზანმიმართული გადაადგილების დროს, განსაკუთრებით მოძრაობის ბოლოს.

პაციენტებს, რომელთაც დაზიანებული აქვთ ვესტიბულოცერებელუმი, უჭირთ მზერის დაფიქსირება. თავს იჩენს თვალის სპონტანური რხევითი მოძრაობები. ეს პათოლოგია **ნისტაგმის** სახელითაა ცნობილი. გარდა ამისა, აღენიშნებათ **ატაქსია** – კიდურების მოძრაობის მართვის უნარის დაკარგვა, **ტინიტუსი** – ყურში ხმაურის ან კაკუნის შეგრძნება მაშინ, როცა ირგვლივ ხმაური არაა. ვესტიბულოცერებელუმის ვესტიბულურ ბირთვებთან კავშირის დაზიანების შემთხვევაში ქვეითდება კუნთური ტონუსი და ეს პათოლოგია ცნობილია, როგორც **ატონია**.



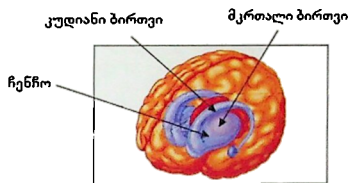
სურ. 18.7 დისმეტრია ნათხემის დაზიანებისას

ცერებროცერებელუმის დაზიანებისას ვლინდება შეფერხებები მეტყველებაში. ძნელდება, ასევე, მუსიკალურ ინსტრუმენტებზე დაკრა, რაც მოძრაობების გართულებას უკავშირდება.

ბაზალური გირთვეები

ბაზალური ბირთვები განლაგებულია დიდი ტვინის წინა განყოფილების სილრმეში. ბირთვების ამ კომპლექსს მჭიდრო ორმხრივი კავშირი აქვს მოტორულ ზონებთან. ამიტომაც, ბაზალური ბირთვები ქერქიდან მომავალი მოტორული ინფორმაციის მნიშვნელოვან ინტეგრაციულ ცენტრს წარმოადგენს. ბაზალური ბირთვები და ნათხემი მოძრაობის კონტროლს ახდენენ არა პირდაპირ, არამედ დიდი ტვინის ქერქიდან გამომავალი მოტონეირონების ქსელის რეგულირების გზით.

ბაზალური ბირთვების კომპლექსი წარმოდგენილია ბირთვების სამი წყვილით: **კუდიანი ბირთვი**, **ჩენწო** და **მკრთალი ბირთვი** (სურ.18.8). კუდიანი ბირთვს და ჩენწოს ერთიან სისტემად განიხილავენ და **ზოლიან სხეულს** უწოდებენ. ბაზალური ბირთვების კომპლექსს მიაკუთვნებენ, ასევე, **შავ სუბსტანციას** და **სუბთალამურ ბირთვს**, რომლებიც დღებარეობენ შუა ტვინსა და ევენტრალურ თალამუსში, შესაბამისად.



სურ. 18.8 ბაზალური ბირთვები

ბაზალური გირთვეების გაღიზიანების და დაზიანების ეშვებები

კუდიანი ბირთვის ელექტრული გაღიზიანებით სხვადასხვა სახის მოტორული რეაქცია გამოიწვევა: თავის და ტანის მოძრაობა გაღიზიანების სანიანალმდეგო მხარეს, კიდურების კუნთების, აგრეთვე, საღეჭი და მიმოკური კუნთების შეკუმშვები.

ზოლიან სხეულში არის, ასევე, ისეთი უბნებიც, რომელთა გააქტივება მოტორული და სენსორული რეაქციების შეკავებას იწვევს. ასეთი ვარაუდი ემყარება ადამიანებზე ჩატარებულ დაკვირვებას, რომლის შედეგად ცნობილი გახდა, რომ კუდიანი ბირთვის გააქტივებისას პაციენტები ნებით მოძრაობებს წყვეტენ, გაღიზიანების მოხსნის შემდეგ კი არ იციან, რა ხდებოდა ამ პერიოდში. ეს კი ცნობიერების გამოთიშვაზე მიუთითებს.

როცა ბაზალური ბირთვების კომპლექსის ზემოწამოთვლილი სტრუქტურებიდან ზიანდება ერთ-ერთი მაინც, მოტორულ სისტემას აღარ შეუძლია ერთი ბრძანებიდან მეორეზე შეუფერხებლად გადასვლა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება უნესრიგო მოძრაობები.

კუდიანი ბირთვის ორმხრივი დაზიანებისას ვითარდება **ემოციური სიჩლუნგე**, რაც დროდადრო იცვლება დღელამური მოტორული ჰიპერაქტიურობით. ამ დროს მცირდება, ასევე, ძილის პერიოდის ხანგრძლივობა; **ჩენწოს** მცირე დაზიანებები იწვევს ქორეას – კიდურებისა და სახის მოძრაობები მოუხეშავი და კუთხოვანი ხდება; **მკრთალი ბირთვის** დაზიანების შედეგად კიდურებზე აღმოცენდება სპონტანური და გახანგრძლივებული „ჭიხისებრი მოძრაობები“ – **ათეტოზი**;

ბაზალური ბირთვების დაზიანებით გამოწვეული ცვლილებებიდან ყველაზე მეტად ცნობილია **პარკინსონის დაავადება**, რომლის სიმპტომებს წარმოადგენს ტრემორი, შენელებული მოძრაობა (ბრადიკინეზია), რიგიდობა, პოზისა და წონასწორობის დარღვევები, ისეთი უნებლიე მოძრაობების უუნარობა, როგორიცაა მაგ. თვალის ხამხამი, ღიმილი. თითქმის შეუძლებელი ხდება ორი განსხვავებული მოძრაობის ერთდროულად შესრულება. იცვლება სახის გამომეტყველება, დარღვეულია ნორმალური მეტყველება და ა.შ. ნათხემისეული ტრემორისგან განსხვავებით, პარკინსონის დაავადებისას ტრემორი ვლინდება არა მარტო ნებითი მოძრაობების დასაწყისსა და დასასრულს, არამედ მოსვენებულ მდგომარეობაშიც.

პარკინსონიზმი განპირობებულია შავი სუბსტანციის დოფამინერგული უჯრედების დაზიანებით. ეს უჯრედები სინაპსებს ქმნიან ზოლიანი სხეულის ნეირონებზე. ნორმალურ მდგომარეობაში სინაპსურ ნაპრალში გამოყოფენ მედიატორ დოფამინს, რომელიც შემდგომ ზოლიანი სხეულის ნეირონების შეკავენას იწვევს. შავი სუბსტანციის დაზიანებისას ეს შემაკავებელი გავლენა იხსნება, რასაც თან სდევს უნებლიე მოტორული რეაქციების აღმოცენება. დოფამინის წინამორბედის – L-დოფას ინეჰცია ორგანიზმში დროებით ამსუბუქებს პარკინსონიზმის სიმპტომებს. პარკინსონიზმის დაძლევა ხდება ქირურგიულადაც.

თავი 19. ტვინის ასიმეტრია. კომბიტური ფუნქცია

დიდი ტვინის ორი ნახევარსფერო სტრუქტურულად თითქმის გაყოფილია ერთმანეთისგან, თუმცა მათ შორის კავშირი კორძიანი სხეულის საშუალებით ხორციელდება (სურ. 19.1). ამ სისტემის საშუალებით ერთი ნახევარსფეროს რომელიმე უბანი არა მარტო მეორე ნახევარსფეროს სიმეტრიულ უბანს უკავშირდება, არამედ – არასიმეტრიულსაც. გარდა კორძიანი სხეულისა, ორ ნახევარსფეროს შორის არსებობს ელემენტარული კავშირები, რომელიც ქერქვეშა და ტვინის ღეროს სტრუქტურების საშუალებითაც ხორციელდება.

საინტერესო ფაქტია, რომ მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსფეროები განსხვავებულ „მიდრეკილებას“ იჩენენ სხვადასხვა კონკრეტული უნარების მიმართ – ადგილი აქვს ფუნქციათა ლატერალიზაციას, რაც იმას ნიშნავს, რომ როგორც მარჯვენა, ისე მარცხენა ნახევარსფერო რომელიმე კონკრეტულ ფუნქციაზეა პასუხისმგებელი.

ნახევარსფეროების ფუნქციური ასიმეტრია ადამიანის თავის ტვინის უმნიშვნელოვანეს ფსიქოფიზიოლოგიურ თავისებურებას წარმოადგენს. მე-19 საუკუნეში საფუძველი ჩაეყარა მარცხენა ნახევარსფეროს დომინირების კონცეფციას, რომლის მიხედვითაც მარცხენა ნახევარსფეროს დომინანტობა განპირობებულია ადამიანის შრომითი საქმიანობით. მე-20 საუკუნის 80-იან წლებში, კორძიანი სხეულის გადაჭრის პირობებში ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს არა მარცხენა, არამედ მარჯვენა ნახევარსფეროს ფუნქციური უპირატესობა და ჩამოყალიბდა ნახევარსფეროების ნახევრად დომინირების კონცეფცია.

ტვინის ასიმეტრია ელინდება მოტორულ, ფსიქიკურ და სენსორულ ფუნქციათა ასიმეტრიულ განაწილებაში.

მოტორული ასიმეტრია გამოიხატება იმაში, რომ ერთი მხარის კუნთები კონტროლდება მეორე მხარის მოტორული ქერქის საშუალებით. გამოწვევისა სახის კუნთები, რომლის კონტროლსაც ორივე ნახევარსფერო ახორციელებს.

ფსიქიკური ასიმეტრია სხვადასხვა მიმართულებით იჩენს თავს.

მეტყველების ცენტრის კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ სიტყვიერი (ინფორმაციული) არხი კონტროლდება მარცხენა ნახევარსფეროს მეშვეობით, არასიტყვიერი (ინტონაცია) კი – მარჯვენათი.

ემოციების თვალსაზრისით მარჯვენა ნახევარსფერო უარყოფით ემოციებზეა პასუხისმგებელი. იგი აკონტროლებს შედარებით ძლიერი ემოციების გამოვლენას. მარცხენა ნახევარსფერო კი დადებითი ემოციების გამოვლინებაზეა პასუხისმგებელი და კონტროლს უწევს შედარებით სუსტ ემოციებს.

მარჯვენა ნახევარსფერო უზრუნველყოფს ინფორმაციის ერთდროული, სინთეზური, დედუქციის (კერძო დასკვნის გამოტანა) პრინციპით გადამუშავებას, ხოლო მარცხენა ნახევარსფერო თანმიმდევრულად, ანალიტიკურად, ინდუქციის (ზოგადი დასკვნის გამოტანა) პრინციპით – უკეთ აღიქვამს საგნის აბსოლუტურ მნიშვნელობას.



სურ. 19.1 კორძიანი სხეული – ორი ნახევარსფეროს შემაკავშირებელი სტრუქტურა

მარცხენა ნახევარსფერო

ლოგიკური ანალიზი
წერა
მათემატიკა
ენა
კითხვა
სიმღერის ტექსტი



მარჯვენა ნახევარსფერო

შემოქმედებითი უნარები
ხელოვნება
ინტუიცია
წარმოდგენა
ინტონაცია
სიერცემი ორიენტაცია
სიმღერის მელოდია

სურ. 19.2 ფუნქციათა ასიმეტრიული განაწილება ორ ნახევარსფეროს შორის

მარცხენა ნახევარსფერო პასუხისმგებელია მათემატიკურ აზროვნებაზე, წერაზე, კითხვაზე, ლოგიკაზე. მარჯვენა ნახევარსფეროსთანაა დაკავშირებული შემოქმედებითი და ხელოვნების ნიჭი, ინტუიცია, პიროვნული თვისებები, სივრცეში ორიენტაცია (სურ. 19.2).

სენსორულ სფეროში მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსფეროების ასიმეტრიული როლი უკეთესად ილუსტრირებულია მხედველობით აღქმაში. მარჯვენა ნახევარსფერო მხედველობით ხატს აღიქვამს დანერვილებით, სწრაფად, მთლიანად. მარცხენა ნახევარსფერო მხედველობით ხატს დანაწევრებულად აღიქვამს – ხატს თითოეული ნივთის ცალ-ცალკე შეფასება (ფორმა, ფერი, მოცულობა და ა. შ.), ადვილად გამოიყენებს ადრე ნანახი საგნები, ხდება მსგავსი საგნების ერთმანეთთან შედარება.

ტვინის რთული ფუნქციები და კოგნიტური ნეირობიოლოგია

ფიზიკური და სოციალური მდგომარეობების აღქმა, ადამიანებისადმი განწყობა, წარსულის გასახსენება, მომავლის დაგეგმვა, ემოციების განცდა, მეტყველებით ჩვენი სუბიექტური სამყაროს გამოხატვა – სამეცნიერო კუთხით ეს ყველაფერი ადამიანის ტვინის განსაკუთრებულად რთულ ფუნქციებს მიეკუთვნება. ბოლო ასწლეულში მნიშვნელოვანი პროგრესი იქნა მიღწეული ზოგიერთი არსებითი პრინციპის გაშიფვრაში, ასევე, ტვინის შესაბამისი უბნების სტრუქტურული და ფუნქციური ორგანიზაციის შესწავლაში. ამას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭებოდა იმ პაციენტების კლინიკურ შეფასებას, რომელთაც მიღებული ჰქონდათ ტვინის ტრავმა და დაზიანებულ ჰქონდათ ქერქის ესა თუ ის უბანი. ნეიროქირურგიაში შედგენილ იქნა ფუნქციური რუკები. დღეს ამ მეთოდებს ავსებს ტვინის არაინვაზიური ვიზუალიზაცია და სხვა თანამედროვე მეთოდები, რომელთა გამოყენება ჯანმრთელ ადამიანებზეც არის შესაძლებელი. პარალელურად, პრიმატებზე და სხვა ცხოველებზე ჩატარებულმა ელექტროფიზიოლოგიურმა ექსპერიმენტებმა კიდევ უფრო გაამდიდრეს მანამდე არსებული მონაცემები სხვადასხვა ფუნქციის მექანიზმების შესახებ. ნეირომეცნიერების სწორედ ამ ნაწილს **კოგნიტურ ნეირობიოლოგიას** უწოდებენ.

კოგნიტური ფუნქციები და ასოციაციური ველები

ადამიანის ქცევისა და კულტურისათვის უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება კოგნიტურ ფუნქციებს. ამ ფუნქციების შესრულებაში მთავარი როლი ეკისრება **დიდი ტვინის ქერქის ასოციაციურ ველს**, რომელიც აერთიანებენ სენსორულ და ბევრი სხვა ტიპის ინფორმაციას, რომელიც აუცილებელია ნებისმიერ ცხოვრებისეულ სიტუაციაში ადეკვატური ქცევისთვის.

ასოციაციური ველები დიდი ტვინის ქერქში იკავებენ პირველად საპროექციო ზონებს შორის არსებულ ფართობს (სურ. 19.3). ეს არის უბნები, რომელთა ფუნქცია, ზოგადად, წარმოადგენს სხვადასხვა მოდულობის გაღიზიანებით მიღებული ინფორმაციის თავმოყრა, ერთმანეთთან დაკავშირება და აღქმული ობიექტის ან მისი ნაწილის ერთიანი ხატის შექმნა.

არჩევნ შემდეგ ასოციაციურ ველებს: **პრეფრონტალურ ზონას** (რომელიც, თავის მხრივ, მოიცავს ფუნქციურად ერთმანეთისგან განსხვავებულ ბროკას ზონას, ვენტრომედიალურ და დორსოლატერალურ ნაწილებს), **უკანა ტემპორალურ ზონას** (საფეთქლის უკანა ზონა, რომელიც მოიცავს ვერნიკეს ზონას), **პარიეტო-ოქციპიტო-ტემპორალურ ზონას** (თხემ-კეფა-საფეთქლის ზონა, რომელიც შეიცავს ანგულარულ ხვეულს), **ლიმბურ ასოციაციურ ველს და სარტყლისებრ ქერქს**.

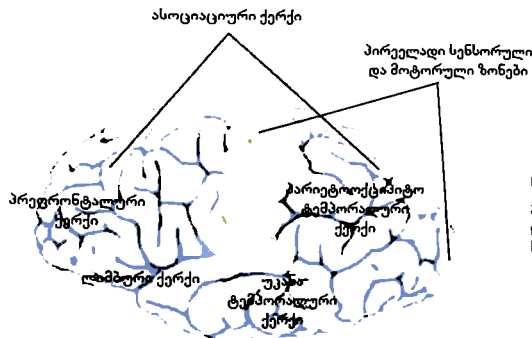
კვლევებმა აჩვენა, რომ თხემის ასოციაციური ველი განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია გარეგანი და შინაგანი გარემოს სტიმულების აღსაქმელად; საფეთქლის ასოციაციური ველი უმნიშვნელოვანესია ობიექტების და გარემოს შესაცნობად; შუბლის ასოციაციური ველი ირჩევს და გეგმავს სიტუაციისთვის შესაბამის ქცევას; თხემ-კეფის და საფეთქლის ასოციაციური ველები უმნიშვნელოვანესია მხედველობისა და სმენისათვის, შესაბამისად.

კავშირები

ასოციაციური ველების კავშირები მკვეთრად განსხვავდება პირველადი და მეორეული სენსორული და მოტორული ქერქის კავშირებისგან, რომლებიც „ნედლ“ პერიფერიულ ინფორმაციას იღებენ. მათგან განსხვავებით, ქერქის ასოციაციური ველები იღებენ სენსორულ და მოტორულ

ქერქში უკვე გადამუშავებულ ინფორმაციას, ანუ ასოციაციურ ველებში ხდება სენსორული და მოტორული ინფორმაციის კონვერგენცია.

მეორე მნიშვნელოვანი თავისებურება ისაა, რომ ასოციაციური ველებისთვის დამახასიათებელია კორტიკოკორტიკალური კავშირების არსებობა, რომელსაც სხვაგვარად ასოციაციურ კავშირებს უწოდებენ.



სურ. 19.3. ქერქის ასოციაციური ველების და პირველადი სენსორული და მოტორული ზონების მიახლოებითი სქემატური გამოსახულება

მესამე თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ ასოციაციური ველების ინერვაციის წყაროს წარმოადგენს შუა ტვინის დოფამინერგული ბირთვები, ტვინის ღეროში არსებული ნორადრენერგული და სეროტონინერგული ბირთვები და წინა ტვინის ბაზალური ნაწილი. ეს სტრუქტურები აფერენტებს აგზავნიან ისე, რომ მათი აქსონები პროეცირდებიან ქერქის სხვადასხვა შრეზე. სხვადასხვა ქცევითი და ფსიქიკური აპლილობა, მათ შორის დამოკიდებულება, დეპრესია და ყურადღების დეფიციტის სინდრომი ამ კავშირიდან რომელიმეს დარღვევას ან დაზიანებას უკავშირდება.

შუბლის, თხემის და საფეთქლის ასოციაციური ველების დაზიანება იწვევს სხვადასხვა სახის კოგნიტურ დეფიციტს.

ფრონტალური ასოციაციური ქერქი

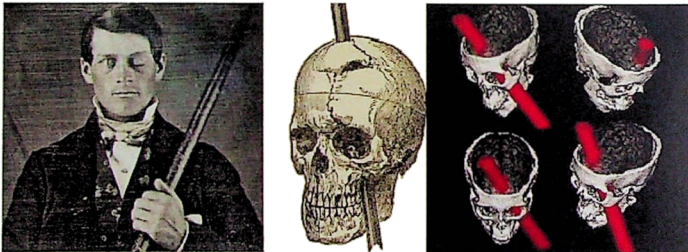
მიუხედავად იმისა, რომ ადამიანები ზოგჯერ სტერეოტიპულად მოქმედებენ, ტვინს გააჩნია უნიკალური უნარი, მოქნილად და ადეკვატურად უპასუხოს მოვლენას და განჭვრიტოს ქცევის შედეგი. შესაბამისად, ქცევა დამოკიდებულია არა მარტო სენსორულ შესავალზე, არამედ დამახსოვრებულ ინფორმაციაზე, მიზნებზე და პროგნოზებზე. ეს მოქნილობა ადამიანებს აძლევს, მაგ. ჭადრაკის თამაშის, ლიტერატურული ნაწარმოების დანერის და მეცნიერებაში შემოაბის საშუალებას. ყველა ჩამოთვლილი აქტის შესრულება რთულ ქცევას მოითხოვს და სწორედ ეს განაპირობებს ტვინის ამ ფუნქციების დიდი სიზუსტით შესწავლის სირთულესაც.

რთული ფსიქიკური ოპერაციები არ არის ტვინის რომელიმე კონკრეტულ სტრუქტურასთან დაკავშირებული, არამედ ისინი განაწილებულია რამდენიმე სტრუქტურაში, რომლებიც მხოლოდ ერთმანეთთან კავშირით ახდენენ ამ ოპერაციების შესრულებას. პრეფრონტალური ქერქი ამ კუთხით ერთ-ერთი გამორჩეული სტრუქტურაა. აქ გადამუშავებული ინფორმაცია მიდის პრემოტორულ ქერქში და თხემის წილში, შემდეგ კი – მოტოკორტექსსა და სხვა სტრუქტურებში, რომლებიც საფუძველს უყრიან შესაბამის ქცევას. აღსანიშნავია, რომ ეს ქცევა არ შემოიფარგლება მხოლოდ შესაბამისი მოძრაობებით, არამედ აქ ერთვება აღქმა, ყურადღება, ემოციები, მეხსიერება და სხვა.

პრეფრონტალური ასოციაციური ველი ფრონტალური წილის წინა მხარეს წარმოადგენს (სურ. 19.3). აქ ხდება ქერქის სხვადასხვა უბნებიდან და ქერქქვეშა სტრუქტურებიდან მოსული სხვადასხვა ტიპის ინფორმაციის დეტალური ანალიზი. ამ ანალიზის საფუძველზე ეს ზონა ექსახურება გადაწყვეტილებების მიღებას და რთული აქტების დაგეგმვას. მისი დაზიანების შემთხვევაში პაციენტები უფრო მშვიდები არიან და ნაკლებად დათრგუნულები. ბუნებრივია, თუ ადამიანი არაფერს

გეგმავს, ის შედარებით მშვიდრა, ენაიდან აღბათობა იმისა, რომ დაგეგმილი აქტი არ გამოვა, ნუ-ლია. შესაბამისად, პაციენტი არაა დთრგუნული და იმედგაცრუებული. სწორედ ამ დამამშვიდებელ-ლი ეფექტის გამო, 1949 წლის ნოებლის პრემიის ლაურეატმა მედიცინაში, ნევროლოგმა ანტონიო მონიკმა შემოუშვა ფრონტალური ლობოტომიის (ამოკვეთის) ტექნიკა, აგრესიის მკურნალობის მიზნით. თუმცა, ამ ტექნიკამ აჩვენა, რომ ითრგუნებოდა ინიციატივა.

სამედიცინო ისტორიაში აღწერილია შუბლის წილის სხვა სტრუქტურებთან კომბინაციაში და-ზიანების უნიკალური შემთხვევა, რასაც „ყველა დროის დიდი სამედიცინო კურიოზი“ ეწოდა. 1848 წელს, ვერმონტში, რკინიგზაზე მომუშავე 25 წლის მუშას – ფინეას გეიჯს თავის ქალაში შეერჭო ლითონის 5 სმ-იანი დიამეტრის, დაახლოებით 18 სიგრძის მილი, რომელმაც გაიარა თვალზე და დაზიანა შუბლის წილის ნაწილი (სურ. 19.4). შემთხვევის შედეგად მან დაკარგა ქერქის ფრონტალური წილის დაახლოებით 4%. შეჭრილი ინფექცია თვეების მანძილზე აზიანებდა ფრონტალური წილის ქსოვილს. შემდეგ გეიჯი გამოჯანმრთელდა, დროთა განმავლობაში ფიზიკურად ნორმალური იერი მიიღო თუმცა, გარდა იმისა, რომ ინიციატივა დაეთრგუნა, განიცადა მთელი რიგი პიროვნული ცვლილებები. მას მეგობრები ვეღარ ცნობდნენ გახდა უხეში, უხამსი, გაუჩნდა ცხოველური ვნებები. უჭირდა სოციალური ურთიერთობების დამყარება. მეგობრების აზრით, ეს „ის“ ადამიანი აღარ იყო. ასეთი პიროვნული ცვლილებები ახსნილ იქნა იმ გარემოებით, რომ ფრონტალური წილის დაზიანებასთან ერთად დაზიანებულ იქნა, ასევე, თეთრი ნივთიერების 11%, დარღვეული იყო კავშირები იმავე – მარცხენა ნახევარსფეროს საფეთქლის წილთან და მარჯვენა ნახევარსფეროს შუბლის წილთან, ასევე ლიმბურ სისტემასთან. სიცოცხლის ბოლო პერიოდში ფინეას გეიჯის მეტალური მდგომარეობა საგრძნობლად იქნა გამოსწორებული, რის საფუძველზე გამოითქვა ვარაუდი, რომ პიროვნული და ხასიათის ცვლილებები იყო დროებითი და მის გამოსწორებაში დიდი როლი მიუძღოდა წლების მანძილზე მეტელედ მუშაობას და სოციალურ ურთიერთობებს.



სურ. 19.4 ფინეას გეიჯი და მისი შემთხვევის რეპროდუქციული სურათი

არცთუ ისე დიდი ხნის წინ, ნაჩვენები იქნა, რომ მოკლევადიანი მეხსიერების ფუნქციაზე შუბლის წილის დორსალატერალური ნაწილი პასუხისმგებელი, ხოლო მოქმედების დაგეგმვაზე – ვენტრომედიალური (სურ. 19.5).

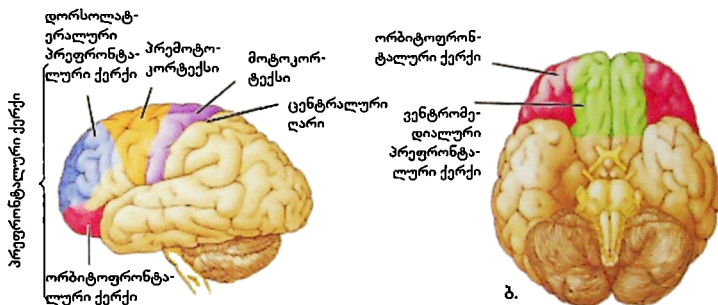
ცხოველზე, კერძოდ, მაიმუნებზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ პრეფრონტალურ ქერქში არსებული ნეირონები პასუხისმგებელია, ასევე, მოძრაობათა თანმიმდევრობის დამახსოვრებაზე.

პრაქტიკულად, ყველა ეს შემთხვევა და შემდგომი კვლევები ამტკიცებენ, რომ შუბლის ანუ ფრონტალური წილი პასუხისმგებელია რთულ ქცევაზე. მას გააჩნია განსაკუთრებული როლი კოგ-ნიტიურ ფუნქციებში, რაც ადამიანს აძლევს საშუალებას, დამახსოვრებული ინფორმაციის საფუძ-ველზე დაგეგმოს თავისი შემდგომი მოქმედება. შუბლის წილი განსაზღვრავს ადამიანის კულტურ-ას, პიროვნებას, ინტელექტს და სხვა კოგნიტიურ ფუნქციებს, რომლებიც განაპირობებენ ადამიანის არსებობას იმ სახით, როგორცაა არსებობს.

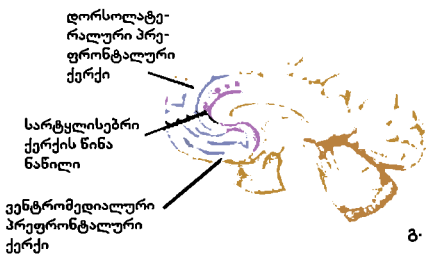
ორბიტოფრონტალური ქერძი და პარიალუარის შეფასება

გადაწყვეტილების მიღებაზე უდიდეს გავლენას ახდენს ჯილდო/შედეგი, რომელსაც ადამიანი იღებს მოკლევადიან (მაგ. მდგომარეობის შემსუბუქება, ცივი სასმელის მიღება ცხელ ამინდში) ან გრძელვადიან პერსპექტივაში (მაგ. მაღალი პენსია, შესაძლებლობების გაფართოება მომავალში კარგ სკოლაში შეილის ჩარიცხვის მიზნით და ა. შ.).

შესაძლებლობის შეფასება მოიცავს მის შეგრძნებას, სიტუაციის იდენტიფიცირებას და მესხიერებაში წარსული გამოცდილების შესახებ ინფორმაციის მოძიებას. მაგ. კორპორატიულ წვეულებებზე სუფრის გასაწყობად უნდა გამოიძახონ მომსახურე ფირმა, თუმცა ვიღაცას ახსენდება, რომ ამ კონკრეტული ფირმის მომსახურებას უკავშირდება საკვებით მოწოდება. შესაბამისად, ეს გამოცდილება იქნება მნიშვნელოვანი გადაწყვეტილების მიღებისას. აი, ასეთი შეფასება, ანუ შესაძლო ვარიანტის შეფასება წარსული და აწმყო გამოცდილების საფუძველზე დაკავშირებულია **ორბიტოფრონტალურ ქერქთან (ოფქ)** (სურ. 19.5ბ). ეს დადასტურებულია ცქვევითი მონაცემებით, რომელიც თან სდევს ქერქის ამ უბნის დაზიანებას. **ოფქ** ინფორმაციას იღებს ყველა ძირითადი სენსორული მოდლობიდან – მხედველობის ქერქიდან, სმენის ქერქიდან, სომატოსენსორული ქერქიდან, საყნოსავი ქერქიდან და ასევე, ქერქის იმ ნაწილიდან, რომელიც გემოვნებაზე პასუხისმგებელი. ინფორმაციის ასეთი მრავალფეროვნება საშუალებას აძლევს ადამიანს განსაზღვროს ვარიანტები.



ბ.



ა.

სურ. 19.5 დიდი ტვინის ფრონტალური რეგიონები. ა. მოტორული, პრემოტორული და პრეფრონტალური ქერქი. ბ. ვენტრალური და ვენტრომედიალური რეგიონები და სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი.

პრეფრონტალური ქერქის სხვა რეგიონებისგან განსხვავებით, **ოფქ**-ს მცირე კავშირები გააჩნია მოტოკორტექსთან, რაც გვაფიქრებინებს, რომ ის უზრუნველყოფს მხოლოდ მასალის მომზადებას იმ სისტემებისთვის, რომლებიც აკეთებენ არჩევანს და ასრულებენ ცქვევას. გარდა ამისა, **ოფქ** ღებულობს აფერენტებს მესხიერების პროცესში ჩართული სტრუქტურებიდან – ჰიპოკამპიდან და საფეთქლის ნილის მედიალური ნაწილიდან. საკარუოდ, სწორედ ეს სტრუქტურები აწვდიან **ოფქ**-ს ინფორმაციას წარსული გამოცდილების შესახებ, რომელიც შემდეგ გადაწყვეტ როლს თამაშობს გადაწყვეტილების მიღებაში. **ოფქ** ღებულობს, ასევე, აფერენტებს დოფამინერგული ნეირონებიდან, რაც ხელს უწყობს ასოციაციების განვითარებას ობიექტებს, ქმედებებსა და ქმედების შედეგებს შორის.

ბევრი მონაცემი მიუთითებს **ოფქ**-ის კიდევ უფრო რთულ როლზე ცქვევაში. მაგ. ერთ-ერთი თანამედროვე თეორიის თანახმად, **ოფქ** მოქმედებს, როგორც კომუტატორი, რომელიც შინაგან სამყაროს და შინაგან მდგომარეობას აკავშირებს შესაძლო არჩევანთან.

ვენტრომედიალური პრეფრონტალური ქერქი

ოფქ-ს პარალელურად, სტრუქტურულად მსგავს ვენტრომედიალურ პრეფრონტალურ ქერქს (ვმ-პფქ) (სურ. 19.5ბ,გ) თავისი წვლილი შეაქვს დაგეგმვისა და გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. პაციენტებს, რომელთაც დაზიანებული აქვთ ეს უბანი, აღენიშნებათ პრობლემები სხვადასხვა ვარიანტების შედარებისას. მაგ. როცა ადამიანი ირჩევს ავტომობილს რამდენიმე ვარიანტიდან, რომელიც ერთმანეთისგან განსხვავდება ფასით, სტილით, გარბენით და ა. შ. ტვინმა უნდა შეძლოს შედარებების გაკეთება და უნდა გამოიყენოს შედარების შედეგები გადაწყვეტილების მისაღებად. ვმ-პფქ-ის დაზიანება, რომელიც ხშირად მოიცავს, ასევე, ოფქ-ის დაზიანებასაც, აფერხებს ამ პროცესს.

დორსოლატერალური პრეფრონტალური ქერქი და ძვანოს დამავება

წარმოდგინეთ, რომ მიდისხართ ჩვეულებრივი მარშრუტით სამსახურში. თუ ეს გზა რაღაც მიზეზის გამო დაკეტილი იქნება, თქვენ ძალიან სწრაფად მოახერხებთ ახალი, შემოვლითი გზების ვერსიების გააზრებას და რომელიმე სხვა გზით ნახვალთ დანიშნულების ადგილისკენ. გამოსავლის მოძიების მოქნილობა ძალიან მნიშვნელოვანია, თუმცა საკითხი ბოლომდე არ არის შესწავლილი. თავისი ბუნებით, მოქნილობა ჩვეულებაზე უფრო უპირატესია, რომელიც, ასევე, შეიძლება იყოს ეფექტური გადაწყვეტილობა. ყველაზე მარტივი ჩვეულება – ეს არის რეფლექსი, რომელიც წარმოადგენს თანდაყოლილ რეაქციას მოვლენებზე და შედეგებზე და რომელიც არაერთხელ მომხდარა მთელი ცხოვრების მანძილზე, ან თუნდაც მთელი თაობების განმავლობაში. რეფლექსური ქცევა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია უხერხემლო ცხოველებში, ხოლო მაღალგანვითარებულ ორგანიზმებში – ადამიანებში ის ახასიათებს ზურგის ტვინს და ავტონომიურ ნერვულ სისტემას; მოქნილობა, ადამიანის გარდა, ცოცხალ სამყაროში დამახასიათებელია იმ ცხოველებისათვის, რომელთაც გააჩნიათ შედარებით დიდი ტვინი., მაგ. მაიმუნი, ხილისმჭამელი ცხოველები და ზოგიერთი ვეშაპისნაირი. მიუხედავად ამისა, არ არსებობს მკვეთრი ზღვარი რეფლექსსა და მოქნილ ქცევას შორის, გარდა პროცესების დროის დიაპაზონის, რაოდენობის და სირთულისა.

განსაკუთრებით მოქნილი, რთული და მომავალზე ორიენტირებული ქცევის დაგეგმვა და ორგანიზება ხდება დორსოლატერალურ პრეფრონტალურ ქერქში (დლ-პფქ) (სურ. 19.5ა), რომელიც მოიცავს ბროდმანის მე-9 და 46-ე ელემენტს, ასევე, სხვა ქერქულ უბნებს. ის დაკავშირებულია ისეთ უბნებთან, რომელიც ასოცირდება ჯილდოსთან (მაგ. ოფქ და სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი) და ყურადღებასთან (პრემოტორტექსი და თხემის უბნები). დლ-პფქ-ს შეუძლია გააკონტროლოს სხვა ჯგუფის ნეირონების პასუხებიც და შედეგად წარმოქმნას კონკრეტული სიტუაციისთვის შესაფერისი ქცევა. განსაკუთრებულ მნიშვნელობა აქვს დლ-პფქ-ს მოკლევადიანი მესხიერებისთვის. ამას ადასტურებს კლინიკური მონაცემებიც.

სარტყლისებრი ქერქი და ძვანოს შედგენილი დაფუნქციონირება

ადამიანებს და მაღალგანვითარებულ ცხოველებს მესწევთ უნარი, ისწავლონ საკუთარი გამოცდილების საფუძველზე. ამისთვის საჭიროა გადაწყვეტილებების შეფასება და ქცევის შეცვლის გზები. ეს მჭიდრო კავშირშია დლ-პფქ-სთან, რომელიც ქცევის მოქნილობას განაპირობებს. სტრუქტურა, რომელიც ამ პროცესშია ჩართული, არის სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი. ის ლებულობს ინფორმაციას სხვადასხვა პროცესების (აღქმა, ემოცია, ყურადღება, მესხიერება) განმაპირობებელი ფუნქციური სისტემებიდან.

სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი მოიცავს ბროდმანის 24-ე ელს. ასევე, მე-9, მე-6 და 32-ე ელემენტის ნაწილს (თავი 11. სურ. 11.5) და ითვლება შეცდომასთან დაკავშირებული ნეგატიური ინფორმაციის გამოცდილების წყაროდ.

სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილის მოქმედება უკავშირდება შედეგების შეფასებას და ქცევის გაუმჯობესებისათვის და ახალი კონსტრუქციული ქცევისათვის საჭირო ახალი სიგნალების წარმოქმნას. ამდენად, სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც დლ-პფქ-ის დამატება.

სარტყლისებრი ქერქი საზღვრავს ქცევის ცვლილების აუცილებლობას, ხოლო დლ-პფქ ახდენს ამ ცვლილების რეალიზებას. მის წინა ნაწილზე გავლენას ახდენს კონფლიქტი, რომელიც დაკავ-

შირებულია მოქმედების იმ გეგმებთან, რომლებიც ერთდროულად უნდა განხორციელდეს. კლასიკური მაგალითია სტრუბის ეფექტი. ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ნარნერა „ნითელი“ ნითელი მელნით. ადამიანი უფრო სწრაფად კითხულობს ასეთ ვარიანტს, ვიდრე მწვანე მელნით დაწერილ სიტყვას „ნითელი“. სავარაუდოდ, ტვინს ერთდროულად უნდა თქვას „ნითელი“ და ფერი მწვანე. არსებობს მონაცემები იმის შესახებ, რომ სატყლისებრი ქერქის ეს ნაწილი სწორედ ასეთი „კონფლიქტების“ დარეგულირებაში იღებს მონაწილეობას. ნეიროქირურგიული პაციენტების ელექტროფიზიოლოგიური ჩანაწერები ადასტურებენ იმას, რომ როდესაც დაზიანებულია სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილი, პაციენტებს უჭირთ ასეთი კონფლიქტის დადგენილება.

ობსცესიურ-კომპულსიური აშლილობისას სარტყლისებრი ქერქის ეს ნაწილი გამოირჩევა ატიპიური აქტივობით. პაციენტები მგრძნობიარენი არიან იმ სტიმულების მიმართ, რომელთაც წესით იგნორირება უნდა გაუწიონ. ასეთ პაციენტებს აკლიათ თავდაჯერებულობა. მაგ. ეჭვები ღრდნით, გამორთეს თუ არა გაზუქურა სახლიდან გამოსვლის წინ. ასევე, დაკარგული აქვთ თვით-კონტროლი. მაგ. ითვლიან ან რეცხავენ სულ, როცა არც დათვლა საჭირო და არც რეცხვა. ისინი უბრალოდ ვერ აკონტროლებენ ქცევას.

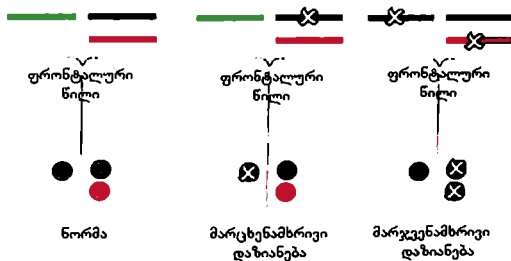
სარტყლისებრი ქერქის წინა ნაწილის ამოკეცა ან ქირურგიული აბლაცია შესაძლოა იყოს მეურნალობის ეფექტური მეთოდი გაურკვეველი ეტიოლოგიის მიმე ფორმების ობსცესიურ-კომპულსიური აშლილობის დროს. აღნიშნული აშლილობის მქონე ადამიანები ზოგჯერ მეტად მგრძნობიარენი არიან უმნიშვნელო შეცდომების დაშვებისას, რაც აძლიერებს შფოთვისას. სარტყლისებრი ქერქის კავშირების გადაჭრა ამსუბუქებს ამ მდგომარეობას. ნებისმიერ შემთხვევაში ქირურგიული ჩარევა ობსცესიურ-კომპულსიური აშლილობისას არის კარგი მაგალითი იმისა, თუ როგორ შეიძლება იქნას გამოყენებული ფუნდამენტური მეცნიერების მიღწევები ქირურგიაში.

პარიეტო-ტემპორალურ-ოქციპტალური ასოციატიური ქერქი

პარიეტო-ტემპორალურ-ოქციპტალური ანუ თხემ-საფეთქელ-კეფის ასოციატიური ზონა (სურ. 19.3) ემსახურება შეგრძნების და ყურადღების პოლიმოდალურ კონვერგენციას. ამის ნათელი მაგალითებია სივრცეში ობიექტების შეხებით ან ხმით შეცნობა, კითხვა თვალთ ან ბრაილის შრიფტით (შეხებით), ან კიდევ სპეციფიკურ სტიმულებზე ფოკუსირება და სხვა სტიმულების უგულებელყოფა, მაგ. ხმაურის უგულებელყოფა და რაიმე კონკრეტულზე კონცენტრირება.

თხემის ასოციატიური ზონა

1941 წელს ბრიტანელმა ნეეროლოგმა ვალტერ ბრინმა გამოაქვეყნა სამი პაციენტის მონაცემები თხემის წილის მარჯვენა, უნილატერალური დაზიანებით. ყველა პაციენტში აღინიშნებოდა ყურადღების დეფიციტი და სამყაროს მარცხენა მხრის უგულებელყოფა. დღეს ეს დაავადება კარგადაა შესწავლილი და ცნობილია, როგორც ნახევარსივრცის უგულებელყოფის სინდრომი. საინტერესო ფაქტია, რომ მხოლოდ მარჯვენა ნახევარსივრცის თხემის ასოციატიური ქერქის დაზიანება იწვევს ამ სიმპტომებს და არა იგივე უბნის მარცხენა ნაწილი დაზიანება.



სურ. 19.6. ნახევარსივრცის უგულებელყოფის სინდრომის მორფოფუნქციური საფუძვლის სქემა

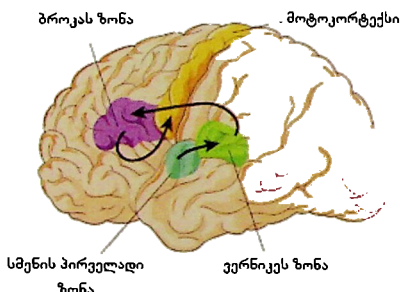
ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ თხემის მარჯვენა მხარე აკონტროლებს ყურადღების ფუნქციონირებას (როგორც მარცხენა, ისე მარჯვენა მხარეს (სურ. 19.6). მისგან განსხვავებით, მარცხენა ნაწილის პარიეტალური (თხემის) ასოციაციური ქერქი ყურადღებას აკონტროლებს მხოლოდ მარჯვენა მხარეზე. ზოგადად, მარცხენა ნახევარსფეროს ქერქი სპეციალიზირებულია მეტყველებაზე, ხოლო მარჯვენა ნაწილი – ყურადღებაზე. როცა ზიანდება თხემის ასოციაციური ქერქი მარცხენა მხარეს, ყურადღების ფუნქცია კომპენსირდება მარჯვენა ნაწილის ასოციაციური ქერქით, ამიტომაცაა, რომ მარცხენა მხარეს დაზიანება ყურადღებას არ აზიანებს, ხოლო მარჯვენა ნახევარსფეროში დაზიანება კი შეუქცევადად აზიანებს ყურადღების ფუნქციას მარცხენა მხარეს. ეს ინტერპრეტაცია დადასტურებულია ჯანმრთელ პირებზე ტომოგრაფიული მეთოდების გამოყენებით.

საფეთქლის/ტამპოკრალური წილი

საფეთქლის უკანა ასოციაციურ ზონაში (სურ. 19.3) თავს იყრის სომატოსენსორული, მხედველობითი და სმენითი ასოციაციური ზონებიდან მიღებული ინფორმაცია. ის ჩართულია გრძელვადიან მეხსიერებაში და ინტერპრეტაციულ ანუ ცოდნის ზონას უწოდებენ. ეს ზონა ემსახურება წერილობითი და სამეტყველო ენის გაგებას და განიხილება, როგორც მეტყველების აზრობრივი ცენტრი, ყველაზე ხშირად კი ამ უბანს ვერნიკეს ზონის სახელით აღნიშნავენ.

რა ხდება ყურ-მუნჯეობში, რომელთაც არ ესმით და ვერ მეტყველებენ? აღმოჩნდა, რომ მათაც ძალიან კარგად აქვთ განვითარებული ეს ზონა, ვინაიდან ისინი ნიშნების ენაზე საუბრობენ, ანუ ვერნიკეს ზონა ემსახურება სამეტყველო, წერილობითი და ნიშნების ენის გაგებას.

ბროკას და ვერნიკეს ზონები ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირში იმყოფება (სურ. 19.7).



ვერნიკეს ზონა განსაკუთრებით ძლიერადაა განვითარებული ე.წ. დომინანტურ ჰემისფეროში, ანუ „მემარჯვენე“ ადამიანებში ის მარცხენა ჰემისფეროში, ხოლო „მემარცხენეებში“ მარჯვენა ჰემისფეროში. ადამიანთა 97%-ში დომინანტურია მარცხენა ჰემისფერო, ხოლო 3%-ში ან ორივე მხარეადაა განვითარებული, ან დომინანტურია მარჯვენა ჰემისფერო.

ვერნიკეს ზონის დაზიანება დომინანტურ ჰემისფეროში იწვევს თითქმის ყველა ინტელექტუალური ფუნქციის დაკარგვას, რომელიც დაკავშირებულია მეტყველებასთან, კითხვასთან, მათემატიკური ამოცანების გადაჭრასთან და ლოგიკურ აზროვნებასთან. ადამიანი შეიძლება კითხულობდეს, ესმოდეს

სურ. 19.7 მეტყველებაში ჩართული სტრუქტურები

და არჩევდეს სხვადასხვა სიტყვებს, მაგრამ არ შეუძლია მათი გაერთიანება ერთ აზრში.

კლინიკური მონაცემები აჩვენებენ, რომ პაციენტებში, რომელთაც დაზიანებული აქვთ საფეთქლის წილის ასოციაციური ველი, სიტყვები ჩნდება სტიმულების და, განსაკუთრებით, რთული სტიმულების შეცნობის, იდენტიფიცირების და სახელის მინიჭების/გახსენების კუთხით. ეს დარღვევები მოიხსენიება, როგორც აგნოზია (ბერძნულად „უცნობი“).

განსხვავებით თხემის ასოციაციური ველის დაზიანებისაგან, როდესაც პაციენტები ვერ ამჩნევენ მარცხენა მხარეს, საფეთქლის წილის დაზიანებისას პაციენტები ყველაფერს ამჩნევენ, მაგრამ არ შეუძლიათ მათი შეცნობა. მათ არც ის სიტყვები ახსენებდნენ, რასაც შეუძლია აღწეროს სტიმული და არც თავად სტიმული. აგნოზიას ახასიათებს ორი ასპექტი: **ლექსიკური** და **მნემონიკური** („მნემონიკა“ ბერძნულად „დამახსოვრების ხერხებს“ ნიშნავს). ერთ-ერთი ყველაზე კარგად შესწავლილი აგნოზიის ფორმაა სახეების ცნობის და მათი იდენტიფიცირების უუნარობა. ეს დარღვევა აღწერილია მე-19 საუკუნეში და ცნობილია, როგორც **პროსპაგნოზია** (ბერძნულად „პრო-პრო“ სახეს ნიშნავს). ნეიროფსიქოლოგების – **ლ. ეტკოფისა** და მისი კოლეგების მიერ აღწერილია ასეთი შემთხვევა: 40 წლის მამაკაცი, ერთ-ერთი ქვეყნის მინისტრი, 18 წლის ასაკში მოყვა ავტოკატასტროფაში. გამოჯანმრთელების შემდეგ ის ვერ ცნობდა ადამიანებს სახეზე. თუმცა, ცნობა შეეძლო სხვა ნიშნების მიხედვით, მაგ. ხმის, მიხერა-მოხერის, სხეულის ფორმის მიხედვით. მას შეეძლო გაერჩია სქესი, ასაკი და გამოეხატა სიმპათია პირის გარეგნობის მიმართ. ვერ ცნობდა

ცხოველებს და მათი სახის გამომეტყველებას, თუმცა, ამ ყველაფრის მიუხედავად, იგი ნორმალურ და პროდუქტიულ ცხოვრებას ეწეოდა.

საფეთქლის წილში დაზიანების ადგილის და ზომის გათვალისწინებით, სხვადასხვა სახის აგ-ნოზიას არჩევენ. არცთუ დიდი ხნის წინ, ტვინის ვიზუალიზაციამ და ელექტროფიზიოლოგიურმა ჩანაწერებმა ნორმალურ საკვლევ პირებში დაადასტურეს, რომ საფეთქლის წილის ქვედა ნაწილი პასუხისმგებელია სახეების ცნობაზე, ხოლო მომიჯნავე უბნები – სხვადასხვა სახის სტიმულების შეცნობაზე. როგორც ჩანს, საფეთქლის წილის უბანში არსებობს ნეირონთა რამდენიმე ჯგუფი, რომელთაგან თითოეული პასუხისმგებელია მაგ. სახის დინამიურ ექსტრემზე, მიმართულებაზე და ა. შ. ანუ სოციალურ ქცევაში საფეთქლის წილს უმნიშვნელოვანესი ფუნქცია აკისრია, სადაც სხვადასხვა ნიშნის შეცნობაზე პასუხისმგებელი ნეირონები მკაცრად შეთანხმებულად მოქმედებენ.

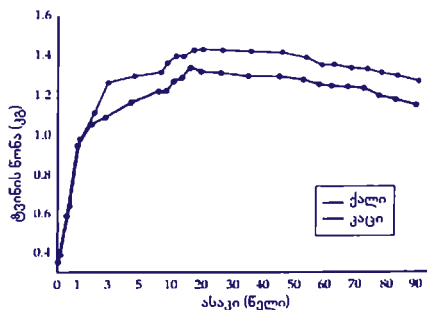
კომპიუტერი უზნაქციების ჩამოყალიბება და განვითარება

ნეირობიოლოგიის უმნიშვნელოვანეს მიზნად რჩება იმის გარკვევა, თუ როგორ მოქმედებს ტვინის სტრუქტურისა და ფუნქციის ცვლილება კოგნიტურ უნარებზე. გენეტიკური და ეპიგენეტიკური პროგრამების გავლენით ტვინის ძირითადი ჩამოყალიბება ხდება პრენატალურად (ჯერ კიდევ დედის სხეულში), რაც ზრდასრულ ადამიანში კოგნიტური უნარების საფუძვლს წარმოადგენს. ტვინი განვითარებას პოსტნატალურად (დაბადების შემდგომ) განაგრძობს და გრძელდება, ძირითადად, მოზარდობის პერიოდში და უმნიშვნელოდ – მთელი ცხოვრების მანძილზე. ეს პლასტიურობა ძალზედ მნიშვნელოვანია ისეთი უნიკალური უნარების გამოსაყვანად, როგორიცაა წერა და კითხვა.

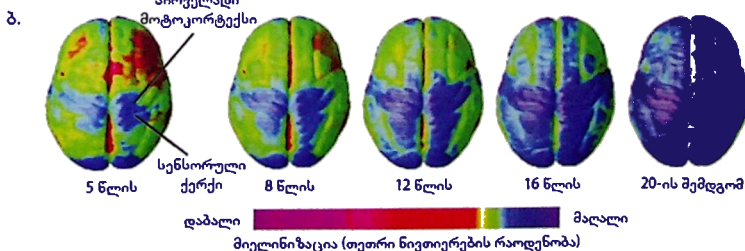
ტვინის სხვადასხვა უბანი სხვადასხვა სიჩქარით ვითარდება და შეესაბამება ადამიანის კოგნიტურ განვითარებას.

ტვინის ზომა და კომპიუტერი განვითარება

ორი წლის ასაკში ბავშვის ტვინის წონა აღწევს მოზრდილობის ასაკის ტვინის წონის 80%-ს, ხოლო ხუთი წლის ასაკში – 90%-ს. ხანგრძლივმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში რუხი და თეთრი ნივთიერება მთელი სიცოცხლის მანძილზე განიცდის რემოდელირებას. ნამდვილად, ტვინის საშუალო წონა გამუდმებით იცვლება, სადაც ის პიკს აღწევს გვიანი მოზარდობის ასაკში.



სურ. 19.8 ტვინის ზომა და კოგნიტური ფუნქციების განვითარება. ა. ტვინის წონის ცვლილება ასაკთან ერთად; ბ. დიდი ტვინის ქერის ზრდა ზომაში მიელინოზაციის ხარისხის ზრდის პარალელურად.



ფსიქიატრ ჯეი გიდის ჯგუფის მიერ ჩატარებულ იქნა კვლევა, სადაც ბავშვების თავის ტვინის ელექტროენცეფალოგრაფიას ყოველ ორ წელიწადში ერთხელ ახდენდნენ მრტ-ით. კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ანატომიური და კოგნიტური ცვლილებების თანხვედრის შესწავლა. კვლევამ აჩვენა, რომ ტვინის მოცულობა მაქსიმუმს აღწევს გოგონებში 11,5 წლის ასაკში, ხოლო ბიჭებში – 14,5 წლის ასაკში და დადასტურდა ვარაუდი, რომ ანატომიური ცვლილებები კოგნიტური განვითარების პარალელური პროცესია (სურ. 19.8ა).

მაშინ, როცა თეთრი ნივთიერება ბავშვობიდან მოზრდილობის ასაკამდე მუდმივად იზრდება მოცულობაში, მიელინოგენეზის ხარისხის ზრდის პარალელურად, რუხი ნივთიერება პიკს აღწევს მოზარდობის პერიოდში (სურ. 19.8ბ) და შემდეგ ზოგიერთ სტრუქტურაში ადრეული ზრდასრულობის პერიოდამდე იწყება მისი კარგვა. ეს, სავარაუდოდ, ასახავს სინაპსური კავშირების გაქრობას, რომელიც ტვინის წონაზეც აისახება – ასაკის მატებასთან ერთად ტვინის წონა მცირდება (სურ. 19.8ა).

იდეების, ემოციების და სურვილების გამოსახატავად ადამიანს შეუძლია ენის საშუალებით ერთმანეთთან დააკავშიროს კონკრეტული მნიშვნელობის მქონე თავისუფალი სიმბოლოები; ამასთან, არ აქვს მნიშვნელობა, ამას ის მხოლოდ გაიფიქრებს, იტყვის თუ დანერს. სწორედ ეს უნარია ერთ-ერთი ყველაზე გამორჩეული კოგნიტური უნარი, რომელიც ადამიანს განასხვავებს ცხოველისაგან. ადამიანური ურთიერთობა, ძირითადად, კომუნიკაციის ამ სახეზეა დამყარებული და, თუ რაიმე მიზეზის გამო, ადამიანს ეს უნარი ვერ განუვითარდება, ის იმ პატარა ბავშვით ხდება, რომელსაც უნდა რაიმე გააგებინოს გარშემომყოფებს და ვერ ასწავებს.

ქერქის სხვადასხვა უბნის დაზიანების მქონე პაციენტებზე ჩატარებული კვლევები აჩვენებს, რომ ლინგვისტური უნარები დამოკიდებულია რამდენიმე სპეციალიზირებულ უბნის მთლიანობაზე. კავშირი სამეტყველო ბგერებსა და მათ მნიშვნელობას შორის წარმოდგენილია მარცხენა ნახევარსფეროს ფრონტალური, საფეთქლის და თხემის ნილების ასოციაციური ველებით, ანუ სამეტყველო მოტორული ბრძანებების სქემა, ძირითადად, მარცხენა ნახევარსფეროში თავმოყრილი. ამ ფაქტს უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება კლინიკურ პრაქტიკაში. მეტყველების უნარის დაკარგვა იმდენად დამანგრეველი შედეგები მოჰყვება, რომ ნევროლოგები და ნეიროქირურგები ძალისხმევას არ იშურებენ, როგორც შეინარჩუნონ მეტყველებაში ჩართული ქერქული უბნები.

ენისა და მეტყველების ლატერალიზაციამ სათავე დაუდო მცდარ შეხედულებას ერთი ნახევარსფეროს „დომინანტობის“ შესახებ, კერძოდ, მოსაზრებას, რომ მეტყველებაზე მხოლოდ მარცხენა ნახევარსფეროა პასუხისმგებელი. სინამდვილეში ენისა და მეტყველებისათვის (ან ნებისმიერი სხვა შემეცნებითი უნარისთვის) ლატერალიზაცია არის ორ ნახევარსფეროს შორის რთული ფუნქციების ეფექტური განაწილების გზა და არა ერთი ნახევარსფეროს მეორეზე უპირატესობის შედეგი. ქერქის სხვადასხვა უბანი მუდმივ რეჟიმში ეფექტურად ასრულებს რომელიმე გარკვეულ ფუნქციას. ენასთან და მეტყველებასთან დაკავშირებული ქერქული უბნები კონტაქტს ამყარებენ იმ უბნებთან, რომელიც მეტყველებასთან დაკავშირებული ორგანოებია – ხახის, ზორხის, პირის და ენის მოტორულ დაგეგმვას და კონტროლს ახორციელებს. ასევე, კავშირშია სმენის პირველად და მხედველობის ქერქთან, რომლებიც, შესაბამისად, მოსმენილი სიტყვების და ნაწერის სმენით და ვიზუალურ შემეცნებას ემსახურება; ანუ მეტყველების ნერვული სუბსტრატი დამოკიდებულია სენსორულ და მოტორულ ფუნქციებზე,

აფაზია

განსხვავება მეტყველებასა და მასთან დაკავშირებულ სენსორულ და მოტორულ ფუნქციებს შორის პირველად შემჩნეულ იქნა თავის ტვინის ზოგიერთი უბნის დაზიანების მქონე პაციენტებზე დაკვირვებისას. კლინიკურმა მონაცემებმა აჩვენა, რომ აღნიშნულმა დაზიანებამ შეიძლება ზორხის, ხახის, პირის და ენის კუნთების მოძრაობის უნარი რისკის ქვეშ დააყენოს, მაგრამ, ამავდროულად, თუნდაც რთულად, მაგრამ ენის გამოყენება სამეტყველო კვლავაც შესაძლებელი დარჩეს. აღნიშნულის მსგავსად, ასაკში სმენის დაქვეითება არ მოქმედებს მეტყველების უნარზე, სხვა უბნების დაზიანებაზე კი შეიძლება გავლენა იქონიოს მეტყველებაზე და, ამავდროულად, სხვა – სენსორული და მოტორული ფუნქციები ინტაქტური დარჩეს. ამ სინდრომს აფაზიას უწოდებენ. აფაზიასა და ადამიანს ვერ იყენებს სიტუაციისთვის შესაფერის სიტყვებს, დარღვეული აქვს ლინგვისტური აღქმა, არეული აქვს გრამატიკა, ასევე, სწორი ინტონაცია.

ქერქის გარკვეული რეგიონისათვის მეტყველების ფუნქციის მიკუთვნება დადასტურეს ნევროლოგებმა – ფრანგმა პოლ ბროკამ და გერმანელმა კარლ ვერნიკემ, რომლებიც იკვლევდნენ იმ გარდაცვლილი ადამიანების ტვინებს, რომლებსაც სიცოცხლეში ჰქონდათ აფაზიის დიაგნოზი. გაკეთის და დაზიანების ლოკაციის საფუძველზე ბროკამ აჩვენა, რომ სამეტყველო უნარები ლოკალიზებული იყო ფრონტალური (შუბლის) ნილის ვენტროპოსტერიორ ნაწილში, რომელიც სხვადასხვა ლიტერატურაში სხვადასხვაგვარად აღინიშნება, მაგ. შეიძლება შეგვხედეს, როგორც პრეფრონტალური ქერქის უკანა ლატერალური უბანი. ნებისმიერ შემთხვევაში, საუბარია ერთსა და იმავე უბანზე – 44-ე და 45-ე ველებზე, რომელთაც მოგვიანებით ბროკას ზონა ეწოდა. ბროკამ დაასკვნა, რომ

„ჩვენ ვსაუბრობთ მარცხენა ნახევარსფეროთი“. დასკვნის საფუძველს წარმოადგენდა ის ფაქტი, რომ პაციენტებს, რომელთაც დაზიანებული ჰქონდათ მარცხენა ნახევარსფერო, უჭირდათ მეტყველება. თანამედროვე ნეიროვიზუალიზაციის მეთოდებით ეს დღეს უკვე მკაცრად დადასტურებულია.



სურ. 20.1 მეტყველების ცენტრები დიდი ტვინის ქერქ-ში. ბროკას ზონა – 44-ე და 45-ე ველები ფრონტალური ნილის ვენტრალურ და უკანა უბანში. ვერნიკეს ზონა – 22-ე ველი საფეთქლისა და თხემის წილების ზღვარზე.

ბროკას ზონა შეიცავს სპეციფიურ ნერვულ ბადეს, რომლის ფუნქციაა სიტყვების ფორმირება. აქ ხდება ცალკეული სიტყვების და მოკლე ფრაზების შესაბამისი მოტორული აქტების დაგეგმვა და სათანადო იმპულსაციის განხორციელება. სწორედ ამის გამო უწოდეს მას **მეტყველების ცენტრი** ან სხვაგვარად **მეტყველების მოტორული ცენტრი**.

მიუხედავად იმისა, რომ ბროკა ძირითადად, მართალი იყო თავის მიგნებაში, მან ვერ ნახა განსხვავება მეტყველებასა და სიტყვების/აზრების ჩამოყალიბებას შორის. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მას არ განუჩნევია „სიტყვაზე ფიქრი“ და სიტყვის „მოქმედებაში მოყვანა“ ერთ-მანეთისგან. ეს პრობლემა უკეთ განსაზღვრა კარლ ვერნიკემ, რომელმაც პაციენტები დაყო ორ ჯგუფად: ერთნი, რომელთაც უჭირდათ ფიქრი და აზრის ჩამოყალიბება და მეორენი, რომელთაც უჭირდათ ნაფიქრი აზრის გადმოცემა სამეტყველო აპარატის საშუალებით. ვერნიკემ აღიარა, რომ ზოგიერთ აფაზიურ პაციენტს, რომელსაც არ აქვს სმენის პრობლემა, ესმის საუბარი, მაგრამ უჭირს აზრის გამოტანა – გართულებულია სამეტყველო ენის გაგება და, თუ საუბრობს, ეს საუბარი აზრს მოკლებულია, მიუხედავად იმისა, რომ შენარჩუნებულია გრამატიკული ნორმები (იხ. ცხრილი 20.1). ეს დეფიციტი ცნობილია, როგორც **სენსორული აფაზია** ანუ **იგივე ვერნიკეს აფაზია**. ამ შემთხვევაში ზიანდება თხემის ნილის საზღვარზე მდებარე საფეთქლის ნილის უკანა ნაწილი – ბროდმანის 22-ე ველი (სურ. 20.1), რომელსაც მოგვიანებით **ვერნიკეს ზონა** ეწოდა და ის ითვლება **მეტყველების აზრობრივ ცენტრად**. მას, სხვაგვარად, ინტერპრეტაციულ ანუ ცოდნის ზონასაც უწოდებენ. ის ემსახურება როგორც სამეტყველო, ისე წერითი ენის გაგებას. ამ ზონაში თავს იყრის სომატოქენსორული, მხედველობითი და სმენითი ასოციაციური ზონებიდან მიღებული ინფორმაცია. აღნიშნული ქერქული უბანი ემსახურება სალაბარაჟო და მოსმენილი, დანერგილი და ნაკითხული, ან, ჟესტების ენის შემთხვევაში, ჟესტიკულაციის სიმბოლოების გაგებას.

ბროკას ზონის დაზიანება იწვევს **ექსპრესიულ აფაზიას**, რომელიც **მოტორული აფაზიის** ან კიდევ, **ბროკას აფაზიის** სახელითაა ცნობილი. ვერნიკეს აფაზიისგან განსხვავებით, ამ შემთხვევაში, პაციენტებს კარგად აქვთ გააზრებული, რა უნდა თქვან, მაგრამ ვერ გამოთქვამენ სათქმელს.

ბროკას აფაზია (მოტორული აფაზია)	ვერნიკეს აფაზია (სენსორული აფაზია)
წყვეტილი საუბარი	გამართული მეტყველება
ფრაზების ან სიტყვების გამეორების ტენდენცია	მცირე სპონტანური გამეორებები
გრამატიკის დარღვევა	ადეკვატური გრამატიკა
ცალკეული სიტყვების სტრუქტურის დარღვევა	მოგონილი ან უადგილო სიტყვები
გააზრების უნარი ნორმაში	გააზრების უნარი გართულებული

ცხრილი. 20.1 ბროკასა და ვერნიკეს აფაზიებისთვის დამახასიათებელი ნიშნები

კითხვისა და წერის დეფიციტები – ალექსია და აგრაფია, შესაბამისად, ცალკე დარღვევებია, რომელიც შეიძლება დადგეს ტვინის სხვადასხვა უბნების დაზიანების შედეგად. აფაზიების უმრავლესობის შემთხვევაში პაციენტს აღნიშნულ უნარებთან მიმართებაშიც გააჩნია პრობლემები.

მეტყველების დარღვევებში საკმაოდ გავრცელებული ფორმაა გატარების აფაზია. ის წარმოიშობა იმ ნერვული გზების დაზიანების შედეგად, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს ბროკასა და ვერნიკეს ზონებს. ამ გზების დაზიანების შედეგად, მიუხედავად იმისა, რომ გავებული ინფორმაცია მისთვის გასაგებია, პაციენტს ეკარგება კითხვაზე ან კომუნიკაციისას ადეკვატური პასუხის გაცემის უნარი.

მოუხედავად იმისა, რომ დღემდე აქტუალურია ბროკასა და ვერნიკეს დასკვნები, მეტყველების დარღვევების კლასიფიკაცია პრაქტიკაში გაცილებით უფრო რთულია. ამის მცდელობა პირველად ჰქონდა ამერიკელ ნევროლოგს **ნორმან გუშინდს**, გასული საუკუნის 50-60-იან წლებში. პაციენტებიდან მიღებული კლინიკური და ანატომიური მონაცემების და, ასევე, ცხოველებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე, მან დაასკვნა, რომ ბროკასა და ვერნიკეს ზონების გარდა, თხემის, საფეთქლის და ფრონტალური ქერქის კიდევ რამდენიმე უბანი კრიტიკულადაა ჩართული ადამიანის ლინგვისტურ შესაძლებლობებში. მისი კლასიფიკაცია შემდგომ დადასტურებულ იქნა ფრ-ტ-ი ჯანმრთელ პირებში.

მეტყველების ლატერალიზაციის ბინილური დადასტურება

1960-იან წლებამდე დაკვირვებები მეტყველების ლოკალიზაციასა და ლატერალიზაციაზე ემყარებოდა სხვადასხვა სიმძიმის, ლოკაციის და ეტიოლოგიის დაზიანებების ქმრენ პაციენტთა მონაცემებს. ამ დრომდე ზოგი სექსტიკოსი თვლიდა, რომ ენა და მეტყველება, ასევე, სხვა კოგნიტური ფუნქციები არ იყო ლატერალიზებული ტვინში. დადასტურებული მონაცემები იქნა მიღებული ეპილეფსიით დაავადებულ პაციენტებზე ჩატარებული ობსერვაციული (დაკვირვებითი) კვლევებიდან: პაციენტებს, კრუნჩხვების შემცირების მიზნით, გადაჭრილი ჰქონდათ კორძიანი სხეული და წინა კალიფორნია. ასეთ პაციენტებში მკვლევარებს თავისუფლად შეეძლოთ განესაზღვრათ თითოეული ნახევარსფეროს ფუნქცია, ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად, ვინაიდან კორძიანი სხეულის გადჭრის შემთხვევაში ორ ნახევარსფეროს შორის კავშირი თითქმის წყდება.

პაციენტებში პირველი კვლევები „გაყოფილი ტვინით“ ჩატარებულ იქნა კალიფორნიის ტექნოლოგიის ინსტიტუტში, როჯერ საერის მიერ, გასული საუკუნის 60-70-იან წლებში. მისმა შრომებმა დაადასტურეს მეტყველების ლატერალიზაცია – აჩვენეს მარჯვენა და მარცხენა ჰემისფეროს შორის განსხვავებები, რამაც ფასდაუდებელი სამსახური გაუწია ტვინის ფუნქციური მოწყობის შეცნობას.

პაციენტებს „გაყოფილი ტვინით“ მარჯვენა და მარცხენა ხელში აღევდნენ რაიმე საგანს, რომელიც მათ უნდა აეღწერათ. ასეთმა კვლევებმა ნათლად აჩვენა, რომ ორი ჰემისფეროს უნარი მეტყველებასთან მიმართებაში განსხვავებული იყო. როცა პაციენტს მარჯვენა ხელში ეჭირა საგანი, მარცხენა ჰემისფერო იყო აქტიური და ამ საგნის სიტყვიერი აღწერაც პრობლემას არ წარმოადგენდა, მაგრამ როცა მარცხენა ხელში ეჭირა საგანი და, შესაბამისად, მარჯვენა ნახევარსფერო იყო აქტიური, პაციენტი ამ საგნის სახელს ვერ ამბობდა. მარჯვენა ნახევარსფეროს გამოყენებით პაციენტებს შეეძლოთ საგნის მხოლოდ ირბი აღწერა, რომელიც ეყარებოდა სიტყვების და ფრაზების ელემენტარულ მარაგს და არა ზუსტ ლექსიკურ განმარტებას. მაგ. „მრგვალი საგანი“ – ნაცვლად „ბურთისა“. ზოგიერთ პაციენტს საერთოდ არ შეეძლო დაესახელებინა თუნდაც მიმდებარეობის სიტყვა.

ამ მეთოდით, ასევე, ნაჩვენები იქნა, რომ მარცხენა ნახევარსფერო, როგორც წესი, ამუშავებს ენის ლექსიკურ და გრამატიკულ ასპექტებს, მარჯვენა ნახევარსფეროს ქერქი კი პასუხისმგებელია მხოლოდ არაერებალურ სტიმულებზე. ის პართავს მეტყველების ემოციურ შინაარსს.

საერისა და მისი კოლეგების ამ გენიალურმა კვლევამ დაასრულა საუკუნის პოლემიკა მეტყველების ლატერალიზაციის შესახებ.

ლატერალიზაციის ხარისხი ადამიანებში განსხვავებულია. არ იქნებოდა სწორი, რომ საერთოდ დაგვეკინებინა მარჯვენა ნახევარსფეროს როლი მეტყველებაში. როგორც აღვნიშნეთ, ზოგიერთ ადამიანში მარჯვენა ნახევარსფერომ შესაძლებელია წარმოქმნას რუდიმენტული/პრიმიტიული სიტყვები და ფრაზები, თუმცა ადამიანთა უმცირესობაში ევრბალური ფუნქციები მთლიანად მარჯვენა მხარეს აქვს აღებული. იმ უმრავლესობაში, რომელთა მარცხენა ნახევარსფეროს აქვს თავის თავზე აღებული ევრბალური ფუნქციები, მარჯვენა ნახევარსფერო, ჩვეულებრივ, წარმოადგენს მეტყველების ემოციური შეფერვის წყაროს. თუმცა, კლინიკური მონაცემებით ნაჩვენებია, რომ მცირე ხარისხით ისიცაა ჩართული ევრბალურ ფუნქციებში. აქედან გამომდინარე, ბროკას დასკვნა

იმის შესახებ, რომ ჩვენ მარცხენა ნახევარსფეროს საშუალებით ვსაუბრობთ, არ არის აბსოლუტური ჭეშმარიტება. უფრო ზუსტი იქნებოდა, თუ ვიტყვი, რომ ადამიანთა უმრავლესობას ენა ესმის და გაცილებით უკეთ საუბრობს მარცხენა ნახევარსფეროს საშუალებით, ვიდრე მარჯვენა ნახევარსფეროთი და რომ ამ ორივე ნახევარსფეროს წვლილი კომუნიკაციაში უბრალოდ განსხვავებულია.

ანატომიური განსხვავებები ნახევარსფეროებს შორის

მეტყველების ფუნქციის განსხვავებამ მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსფეროებს შორის ნევროლოგებს და ნეიროფიზიოლოგებს უბიძგა, რომ მოეძებნათ ქცევის ლატერალიზაციის სტრუქტურული კორელატები. ერთ-ერთი ასეთი განსხვავება, რომელმაც დიდი ყურადღება მიიპყრო წლების მანძილზე, ნანახი იქნა 1960 წელს, ჰარვარდის სამედიცინო სკოლის მკვლევარების ნორმან გეშვინდისა და მისი კოლეგების მიერ. მათ ნახეს, რომ თხემის წილის ერთ-ერთი ნაწილი – „planum temporale“ მნიშვნელოვნად განსხვავდება ზომაში მარცხენა და მარჯვენა ნახევარსფეროებში. ვინაიდან აღნიშნული წილი ევრნიკეს ზონასთან და სმენის ასოციაციურ ზონასთან ახლოს მდებარეობს, თავიდან იგარაუდეს, რომ ის მეტყველებასთან იქნებოდა დაკავშირებული, თუმცა, ეს ასიმეტრია ადამიანების მხოლოდ 67%-შია დაფიქსირებული, ენის მხრივ ასიმეტრია კი – 97%-ში.

ბროკასა და ევრნიკეს პიონერული ნაშრომების და მოგვიანებით **გეშვინდისა და სპერის ნაშრომებმა** ნათლად აჩვენა განსხვავებები ჰემისფეროების ფუნქციებში. შემდგომ მთელი რიგი მეთოდები იქნა შემუშავებული ჰემისფეროების შესასწავლად ჯანმრთელ ადამიანებსა და იმ პაციენტებში, რომელთაც ინტაქტური ჰქონდათ კორძიანი სხეული.

ერთ-ერთი მეთოდი, რომლითაც განსაზღვრული იქნა მეტყველების ლატერალიზაცია პაციენტებში, ეს იყო ვადას ტესტი, შემუშავებული მონრეალის ნევროლოგიის ინსტიტუტში 1960 წელს, კანადელი ნევროლოგის **ჯონ ვადას** მიერ. ის მოკლევადიანი საანესთეზიო საშუალებით თიშავდა მარცხენა ნახევარსფეროს ქერქს და ამით ამოწმებდა ჰემისფეროების შესაძლებლობებს. ამით კიდევ ერთხელ დადასტურდა, რომ უმეტესობას (97%) ენისა და მეტყველების ფუნქციები თავმოყრილი ჰქონდა მარცხენა ნახევარსფეროში, ხოლო 3%-ს – მარჯვენაში. დღესდღეობით ვადას ინვაზიური ტესტი შეცვლილია თავის ტვინის კვლევის თანამედროვე არაინვაზიური მეთოდებით პეტ, ფუნქციური მრტ და ტრანსკრანიალური მაგნიტური სტიმულაცია.

მარჯვენა ჰემისფეროს როლი მეტყველებაში

რა ფუნქციას ასრულებს მეტყველებასთან დაკავშირებული ბროკასა და ევრნიკეს ზონის შესაბამისი უბნები მარჯვენა ნახევარსფეროში?

ფაქტია, რომ მეტყველების დეფიციტი ხშირად თან სდევს მარჯვენა ჰემისფეროს დაზიანებასაც, რაც გამოიხატება მეტყველების ინტონაციური ელფერის დაზიანებაში, ენის „შეფერილობა“ კი უმნიშვნელოვანესია კომუნიკაციაში. მაგ. ჩინურ ენაში ტონის ვარიაციით იცვლება სიტყვის მნიშვნელობა და, როცა დაზიანებულია ენის „შეფერვის“ უნარი, მაშინ ადგილი აქვს არასწორ კომუნიკაციას და მეტყველებას თავისებურ დეფიციტს, რომელსაც ეწოდება **აფროსოლია**. აფროსოლია ვითარდება ბროკასა და ევრნიკეს შესაბამისი ზონების დაზიანებით მარჯვენა ნახევარსფეროში.

ენა და დომინანტი ხელი

სხვადასხვა კულტურაში 10-დან დაახლოებით 9 ადამიანი მემარჯვენეა და ეს პროპორცია საუკუნეების მანძილზე არ შეცვლილა. წლების მანძილზე დებატები მიდიოდა იმასთან დაკავშირებით, იყო თუ არა პათოლოგია მემარცხენეობა. მოჰყავდათ სხვადასხვა არგუმენტები, თუმცა ფაქტი ერთია, მემარცხენეებში ბევრია ნიჭიერი და გამორჩენილი ადამიანი და ეს არ უნდა ჩაითვალოს პათოლოგიად.

კორელაცია დომინანტი ხელსა და სხვა ლატერალიზებული ფუნქციებს, განსაკუთრებით მეტყველებას შორის, კამათის საგანს წარმოადგენდა დიდი ხნის მანძილზე. მიუხედავად იმისა, რომ ადამიანების 97%-ის მეტყველებაზე მარცხენა ნახევარსფეროა პასუხისმგებელი, ვადას ტესტმა, მათ შორის, მემარცხენეებზეც აჩვენა, რომ მხოლოდ მცირე ნაწილში იყო მარჯვენა ნახევარსფერო პასუხისმგებელი მეტყველებაზე. როგორც ჩანს, დომინანტი ხელი, ისევე, როგორც მეტყველება,

წარმოადგენს რომელიმე პემისფეროს უპირატეს ფუნქციას, რომელიც მიმართულია, ზოგადად, ამ ფუნქციის უკეთ შესრულებისკენ.

შესტავის ქნა

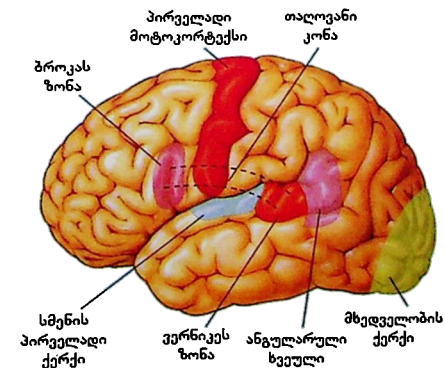
მიუხედავად იმისა, რომ ყრუ-მუნჯებს არ შეუძლიათ საუბარი, ისინი თავისუფლად კომუნიცირებენ ფესტების ენის საშუალებით. ის უბნები, რომლებიც ჩვეულებრივ შემთხვევაში მეტყველებაზე პასუხისმგებელი, ყრუ-მუნჯთა შემთხვევაში პასუხისმგებელია ფესტების ენაზე.

ფესტების ენას გააჩნია სამეტყველო ენის ყველა კომპონენტი – როგორც გრამატიკა, ისე ემოციური ტონები. ამაზე დაყრდნობით, ურსულა ბელუჯიმ და მისმა კოლეგებმა შეისწავლეს ფესტების ენის ქერქული ლოკალიზაცია იმ ყრუ-მუნჯე პაციენტებში, რომელთაც პქონდათ დაზიანება მარჯვენა ან მარცხენა ნახევარსფეროში. ყველა ამ პაციენტს ჰყავდა, ასევე, ყრუ-მუნჯი მეუღლე და იყვნენ ყრუ-მუნჯთა საზოგადოების წევრები. ყველა მათგანი იყო მემარჯვენე. პაციენტები, რომელთაც პქონდათ დაზიანებული მარცხენა ნახევარსფეროს ენასთან დაკავშირებული ზონები, გამოირჩეოდნენ ფესტების წარმოქმნის დეფიციტით. პაციენტებს, რომელთაც დაახლოებით იგივე უბანი პქონდათ დაზიანებული მარჯვენა ნახევარსფეროში, არ აღენიშნებოდათ „აფაზია“. ამის ნაცვლად, არა ყრუ-მუნჯი პაციენტების მსგავსად, ევრნიკესა და ბროკას შესაბამის ზონებში არსებული დაზიანება ფესტების ენას უკარგავდა ემოციურ ტონალობას. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი პაციენტების რაოდენობა ცოტა იყო (რთულია, იპოვო ყრუ-მუნჯი ადამიანი და, ამავე დროს, ქერქის მეტყველების უბნების დაზიანებით), მაინც ნათლად გამოვლინდა, რომ სამეტყველო ფესტების ენის გაგება და მოქმედებაში მოყვანა ხდება მარცხენა ნახევარსფეროში.

კითხვა

კითხვა წარმოადგენს ენასთან დაკავშირებული ვიზუალური სიმბოლოების ინტერპრეტაციას. ზოგიერთი დაავადების გადატანის შემდეგ ინდივიდებს კითხვის უნარი ეკარგებათ.

აღნიშნულ საკითხთან დაკავშირებით უნდა განვიხილოთ ანგულარული ხვეული (სურ. 20.2), რომელიც დიდი ტვინის ქერქის თხემის წინა ნაწილის უმნიშვნელოვანესი ზონაა და მოთავსებულია უშუალოდ ევრნიკეს ზონის უკან. ის ევრნიკეს ზონასა და მხედველობის პირველად საპროექციო ზონას შორის ქმნის დამაკავშირებელ ხიდს. ადამიანს, რომელსაც დაზიანებული აქვს ანგულარული ხვეული, მაგრამ შენარჩუნებული აქვს ევრნიკეს ზონა, კარგად აცნობიერებს სმენით ინფორმაციას, მაგრამ დაბლოკილი აქვს გზა მხედველობითი ზონიდან ევრნიკეს ზონამდე. შესაბამისად, ადამიანს შეუძლია სიტყვების წაკითხვა, მაგრამ ვერ აცნობიერებს მათ შინაარსს. ასეთ პათოლოგიას დისლექსიას ანუ სიტყვით სიზრმავეს უწოდებენ.



სურ. 20.2. ენასა და მეტყველებაში პირდაპირ თუ ირიბად ჩართული სტრუქტურები. თალოვანი კონა ბროკასა და ევრნიკეს ზონების შემაკავშირებელ აქსონთა მიერ შექმნილი გზაა.

ზოგჯერ, ყოველგვარი დაზიანების გარეშე, აღინიშნება დისლექსია, რომელიც გავლენას ახდენს ბავშვის კითხვის უნარზე. ნორმალური ან უფრო მაღალი ინტელექტის მიუხედავად, დისლექსიით დაავადებულები ცუდად კითხულობენ და გააჩნიათ პრობლემები წაკითხულის გააზრებასთან დაკავშირებით, ან პირიქით. ასევე, უჭირთ წერა, დამარცვლა და, ზოგადად, მიდრეკილნი არიან შეცდომებისკენ.

დისლექსია უფრო ხშირად გვხვდება ბიჭებში (ბიჭების 5-15%) და მოსწავლეობის პერიოდში იგი ინვალიდობად ითვლება.

1. Neuroscience. Sixth edition, Dale Purves et al. (2018)
2. Vander's Human Physiology – 15th Edition. Eric Widmaier (Author) Eric Widmaier (Boston University) Hershel Raff (Medical College of Wisconsin) and Kevin Strang (University of Wisconsin). The Mechanisms of Body Function. Moving beyond the listing of mere facts it stresses the causal chains of events that constitute the mechanisms of body function. 2018
3. Neuroscience-Exploring the Brain, 4th Edition, Bear, Connors, Paradiso. 2016
4. Fundamentals of Human Neuropsychology, 7th Edition, Bryan Kolb, Ian Q. Whishaw. Worth Publishers. 2015.
5. Vander's Human Physiology – 15th Edition. Eric Widmaier (Author) Eric Widmaier (Boston University) Hershel Raff (Medical College of Wisconsin) and Kevin Strang (University of Wisconsin). The Mechanisms of Body Function. Moving beyond the listing of mere facts it stresses the causal chains of events that constitute the mechanisms of body function. 2018
6. Human Physiology Stuart Ira Fox 12th 2011
7. Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell, Steven A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth - Principles of Neural Science, Fifth Edition-McGraw-Hill Professional (2013)
8. Atlas of Neuroanatomy and Neurophysiology Frank.H.Netter, Kraig, Perkins, 2002
9. Neuroscience. 2nd edition. Dale Purves, George J Augustine, David Fitzpatrick, Lawrence C Katz, Anthony-Samuel LaMantia, James O McNamara, and S Mark Williams.,2001.
10. Catecholamines and the Heart, Delius, Gerlach, Grobecker, Kübler, 2011
11. Cognitive, Neuroscience of Emotion. Oxford University. 2000, 33 3–9
12. The thalamic reticular nucleus: structure, function and concept, Brain Research Reviews, Volume 46, Issue 1, August 2004, Pages 1-31
13. Anatomy and Physiology, Salladin 2003
14. adamianis fiziologia. kunTovani da nervuli sistemebi. T. ioseliani. Tbilisi saxelmwifo universitetis gamomcemloba, 1993, gv. 7, 16-17
15. Astrocytes Control Synapse Formation, Function, and Elimination. Won-Suk Chung,1 Nicola J. Allen,2 and Cagla Eroglu3. Cold Spring Harb Perspect Biol. 2015 Sep; 7(9): a020370
16. <https://www.slideserve.com/violet/resting-membrane-potential>
17. A new case of complete primary cerebellar agenesis: clinical and imaging findings in a living patient Feng Yu, Qing-jun Jiang, Xi-yan Sun, Rong-wei Zhang. *Brain*, Volume 138, Issue 6, June 2015, Page e353, <https://doi.org/10.1093/brain/awu239>
18. <https://hirnforschung.kyb.mpg.de/en/methods/electrophysiology.html>
19. <https://www.hydroassoc.org/neurons-a-brain-superhighway/>
20. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/cell-membrane-vector-10499143> 8q886663
21. https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/_/viewer.aspx?path=MosbyMD&name=saltatory-conduction.jpg&url=https%3A%2F%2Fmedical-dictionary.thefreedictionary.com%2Fsaltatory%2Bconduction
22. <https://www.pediatricophthalmologypa.com/strabismus-surgery-table-contents/anatomy-actions-extra-ocular-muscles/>
23. <https://ka.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-synapse>
24. https://www.brainkart.com/article/Support-of-the-Body-Against-Gravity--Roles-of-the-Reticular-and-Vestibular-Nuclei_19737/

25. <https://www.eurekalert.org/multimedia/883255>
26. <https://humananatomyonline.in/2020/12/29/diencephalon/>
27. <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/what-endocrine-system>
28. http://ksuisc.com/download_center/Archive/2nd/438/3-%20Endocrine%20block/Teamwork/Physiology/2nd%20Lecture_%20Hypothalamo-Pituitary%20Axis%20and%20Regulatory%20Mechanisms%20-%20Endocrine%20Physiology.pdf
29. <https://semmelweis.hu/anatomia/files/2019/09/TZS-Hypothalamo-pituitary-system-pituitary-gland.pdf>
30. <https://medium.com/exploring-history/the-french-angel-26513e05ccef>
31. https://en.wikipedia.org/wiki/Posterior_parietal_cortex#/media/File:Lobes_of_the_brain_NL.svg
32. <http://websites.umich.edu/~cogneuro/jpg/Brodmann.html>
33. https://www.researchgate.net/figure/Association-fibers-connects-the-various-gyri-and-nuclei-with-in-a-single-cerebral_fig33_281047295
34. <https://slideplayer.com/slide/6617331/>
35. <https://brainclinics.com/history-of-the-eeg-and-qeeg/>
36. https://thebrain.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu13.html
37. <https://pulmonarychronicles.com/index.php/pulmonarychronicles/article/view/771/1675>
38. https://en.wikipedia.org/wiki/Limbic_system
39. <https://image.slidesharecdn.com/thehumanbrain-090908174800-phpapp02/95/the-human-brain-by-nadia-abdullah-11-728.jpg?cb=1252432380>
40. <https://www.verywellmind.com/an-overview-of-the-types-of-emotions-4163976>
41. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hippocampus_and_seahorse.JPG
42. <https://dizziness-and-balance.com/disorders/hearing/conductive.htm>
43. <https://www.d.umn.edu/~jfitzake/Lectures/DMED/InnerEar/CochlearPhysiology/CochlearAnatomy.html>
44. <https://www.pediatricophthalmologypa.com/strabismus-surgery-table-contents/anatomy-actions-extra-ocular-muscles/>
45. <https://brainconnection.brainhq.com/2013/03/05/the-anatomy-of-movement/>
46. <https://www.intechopen.com/chapters/55330>
47. <https://www.newscientist.com/article/mg22329861-900-woman-of-24-found-to-have-no-cerebellum-in-her-brain/>
48. <https://neurotray.com/what-happens-if-the-corpus-callosum-is-cut/>
49. <https://visalakshiramani.wordpress.com/articles/wonderful-body/brain-asymmetry/>
50. <https://www.coursera.org/lecture/medical-neuroscience/overview-of-the-associational-cortex-mTyJK>
51. https://www.pinterest.com/pin/332984966204365174/?amp_client_id=CLIENT_ID%28%29&m-web_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.com%2Famp%2Fpin%2F332984966204365174%2F&expand=true
52. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556027/https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpain.2021.646068/full>
53. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1959222/>