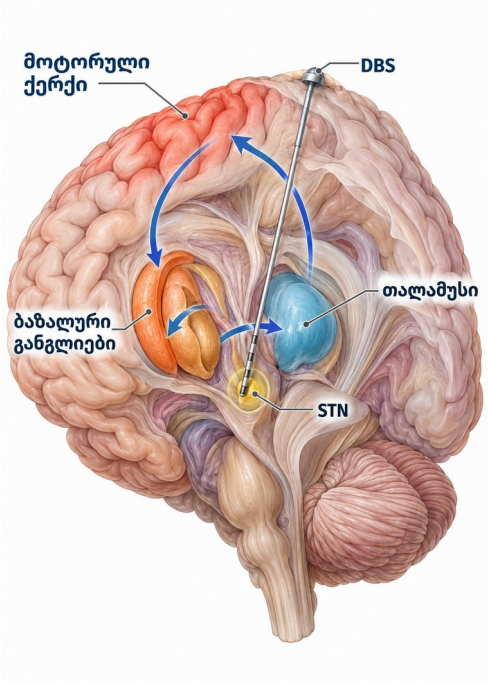
სასწავლო სახელმძღვანელო სამედიცინო სტუდენტებისთვის

ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია

ნორმალური ფუნქციიდან დაავადების მექანიზმამდე და მიზნობრივ მკურნალობამდე



შეადგინა ვლადიმერ ბაზიაშვილმა

ბათუმი · 2026

სარჩევი

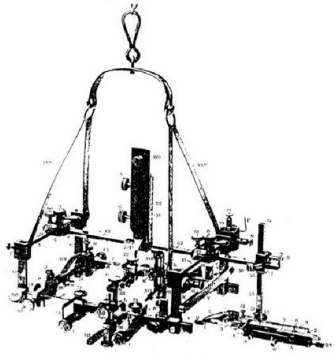
ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია: ისტორია და ზოგადი პრინციპები 5
ფუნქცია და ზუსტი სამიზნე....5
ლოკალიზაციიდან ფუნქციის შემოწმებამდე....6
როგორ გაჩნდა სამგანზომილებიანი დამიზნება....6
ფსიქოქირურგიის ისტორიული გაკვეთილი....7
ადამიანის სტერეოტაქსია და ფუნქციური რუკები....7
რადიოქირურგია და ნეირომოდულაციის დასაწყისი....8
ვიზუალიზაციიდან DBS-ის ეპოქამდე....8
თანამედროვე მეთოდები და მომავალი....9
მოძრაობითი დარღვევები და სპასტიურობა....10
ნებითი მოძრაობა და კუნთის ტონუსი....10
ბაზალური განგლიები და ნათხემის ქსელი....17
მოძრაობითი დარღვევების ამოცნობა....22
პარკინსონის დაავადება და ქირურგიული შერჩევა....25
STN და GPi და ლეზიური ალტერნატივები....31
ტრემორი და ნათხემ თალამური სამიზნეები....37
დისტონია და შერჩევითი შეკავების დარღვევა....42
ქორეა ბალიზმი ტარდიული მოძრაობები და ტიკები....46
DBS-ის გზა დაგეგმვიდან შემდგომ მოვლამდე....50
სპასტიურობა და რეფლექსური რკალის მართვა....55

ტკივილის ფუნქციური ნეიროქირურგია.....65
ტკივილის სიგნალიდან ცნობიერ განცდამდე.....65
ტკივილის ტიპები და ქრონიზაცია.....72
პაციენტის შეფასება და მკურნალობის მიზანი.....76
სახის ნევრალგია და ნერვის კომპრესია.....78
ზურგის ტვინის და პერიფერიული სტიმულაცია.....86
ტვინის სტიმულაცია ტკივილისთვის.....91
ლეზიური ოპერაციები და დეაფერენტაცია.....94
ინტრათეკალური თერაპია.....98
ტკივილის სინდრომები და პრაქტიკული არჩევანი.....100
ეპილეფსიის ქირურგიული მკურნალობა.....107
ნორმალური აქტივობიდან ეპილეფსიურ შეტევამდე.....107
როდის არის საჭირო ქირურგიული შეფასება?.....112
კერის ძიება: კლინიკა, EEG და გამოსახულება.....113
SEEG და ფუნქციური კარტირება.....119
რეზექცია: კერის მოცილება და ფუნქციის შენარჩუნება.....124
მცირე მისადგომი და ღრმა კერის მკურნალობა.....130
დისკონექცია: გავრცელების გზის შეწყვეტა.....134
ნეირომოდულაცია ეპილეფსიისას.....138

შედეგი, რეაბილიტაცია და ბავშვის განვითარება....141
ფსიქიატრიული და აღდგენითი ნეიროქირურგია....146
ფსიქიატრიული ქირურგიის ეთიკური საფუძველი....146
ქცევა, ემოცია და ურთიერთდაკავშირებული ქსელები....149
OCD: ეჭვისა და რიტუალის წრის შეცვლა....152
დეპრესია: დამკვიდრებული მკურნალობა და კვლევითი DBS....157
სხვა ფსიქიატრიული მიმართულებები....160
ცნობიერება და პასუხის გამოხატვის უნარი....162
დაკარგული კავშირის ფუნქციური ჩანაცვლება....164
უჯრედული და გენური მიდგომები....168
კურსის მთავარი კითხვა: რას ვაუმჯობესებთ?....170
ტერმინები და აბრევიატურები....173
ვრცელი ილუსტრირებული ქრონოლოგია....175
ლიტერატურა და დამატებითი წყაროები....264
ილუსტრაციების წარმომავლობა....268

თავი 1

ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია: ისტორია და ზოგადი პრინციპები



სურათი 1.1 — ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია: ისტორია და ზოგადი პრინციპები.

ცხრილი 1.1 — მკურნალობის მეთოდების საერთო რუკა

მეთოდი	რა იცვლება	მაგალითი
ლეზიური ჩარევა	მცირე სამიზნის ფუნქცია შეუქცევადად იცვლება	პალიდოტომია, თალამოტომია
ელექტრული მოდულაცია	ქსელის აქტივობა რეგულირებადი სტიმულაციით იცვლება	DBS, SCS, VNS
დეკომპრესია	ნერვზე მექანიკური კონფლიქტი იხსნება	MVD
სელექციური გათიშვა	პათოლოგიური გადაცემის გზა იზღუდება	SDR, კალოზოტომია
მიზნობრივი მიწოდება	წამალი ან ბიოლოგიური მასალა სამიზნესთან აღწევს	ITB, გენური თერაპია
ფუნქციური ჩანაცვლება	სიგნალის დაკარგულ გზას მოწყობილობა ანაცვლებს	BCI, ნეიროპროთეზი

ფუნქცია და ზუსტი სამიზნე

ფუნქციური ნეიროქირურგიის მთავარი კითხვა ასეთია: ნერვული სისტემის რომელ ნაწილზე უნდა ვიმოქმედოთ, რომ ადამიანს მოძრაობა, ტკივილის კონტროლი ან სხვა მნიშვნელოვანი ფუნქცია გაუუმჯობესდეს? სამიზნე შეიძლება იყოს ბირთვი, ნერვული გზა, ქერქის უბანი ან

პერიფერიული ნერვი. ჩარევა ზოგჯერ ქსოვილის მცირე უბანს აზიანებს, ზოგჯერ ელექტრულ აქტივობას ცვლის, ზოგჯერ კი კომპრესიას ხსნის ან წამალს უშუალოდ სამიზნესთან აწვდის. სტერეოტაქსია ამ ამოცანის სივრცითი გადაწყვეტაა. გამოსახულების კოორდინატები პაციენტის ანატომიას უკავშირდება და ინსტრუმენტი დაგეგმილი ტრაექტორიით მიდის სამიზნემდე. ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია ამიტომ მჭიდროდ უკავშირდება ერთმანეთს, მაგრამ იდენტური ცნებები არ არის: სტერეოტაქსია ბიოფსიისთვისაც გამოიყენება, ფუნქციური ჩარევა კი ყოველთვის სტერეოტაქსიულ ჩარჩოს არ მოითხოვს.

ალეგორიული შედარება. რუკა გვეუბნება, სად მდებარეობს მისამართი; მკურნალობის ლოგიკა კი ხსნის, რატომ გვჭირდება სწორედ იქ მისვლა.

Nota bene სამიზნის ზუსტი პოვნა და სწორი სამიზნის არჩევა ორი სხვადასხვა ამოცანაა.

ისტორიული ფოტოები და ყველა პერიოდის სრული დეტალები იხილეთ დამატებაში „ვრცელი ილუსტრირებული ქრონოლოგია“.

ლოკალიზაციიდან ფუნქციის შემოწმებამდე

დარგის ისტორიის პირველი ეტაპი ფუნქციის ლოკალიზაციის ძიებაა. გალის მცდარი ფრენოლოგია აჩვენებს, რომ მიმზიდველი იდეა მტკიცებულებას ვერ ცვლის. ფლურანსისა და ჯექსონის ხაზმა კი ტვინის ნაწილების ერთობლივ და იერარქიულ მუშაობაზე გაამახვილა ყურადღება. ბროკასა და ვერნიკეს კლინიკურმა დაკვირვებებმა მეტყველების დარღვევა კონკრეტულ დაზიანებებს დაუკავშირა. შემდეგი ნაბიჯი იყო ფუნქციის პირდაპირი შემოწმება. ფრიჩის, ჰიციგისა და ფერიერის ექსპერიმენტებში ქერქის სტიმულაციამ მოძრაობა გამოიწვია. კლინიკური ნიშნის მიხედვით კერის დადგენამ ჰორსლის ეპილეფსიის ქირურგია შესაძლებელი გახადა. ფოერსტერის რიზოტომია და სპილერისა და მარტინის კორდოტომია სხვა მნიშვნელოვან იდეას აჩვენებდა: სიმპტომზე გავლენა შეიძლება გამტარ გზაზე ზემოქმედებითაც მივიღოთ. ბართოლოუსა და ბურკჰარდტის ისტორია ამავე დროს შეგვახსენებს თანხმობისა და უსაფრთხოების აუცილებლობას.

ალეგორიული შედარება. მუსიკაში ცალკეული ინსტრუმენტის ამოცნობა მელოდიის გაგებას გვეხმარება, მაგრამ მელოდია მათი ურთიერთქმედებით იქმნება.

Nota bene რეგიონული სპეციალიზაცია და ქსელური მუშაობა ერთმანეთს ავსებს.

როგორ გაჩნდა სამგანზომილებიანი დამიზნება

ღრმა სტრუქტურაზე ზემოქმედებას სხვა სირთულე აქვს: ზედაპირზე დანახული ნიშანი მის სიღრმისეულ მდებარეობას ზუსტად ვერ გვიჩვენებს. დიტმარისა და ზერნოვის მოწყობილობებმა ინსტრუმენტის მართვის შესაძლებლობა წარმოაჩინა. ჰორსლი–კლარკის აპარატმა ჩარჩო, სამი კოორდინატი და ატლასი ერთ სისტემაში გააერთიანა; მასენმა ეს იდეა ადამიანისთვის განავითარა. ადამიანის ტვინის ინდივიდუალური ვარიაცია გარეგან ძვლოვან ორიენტირებს არასაკმარისს ხდიდა. პნევმოენცეფალოგრაფიამ და

ვენტრიკულოგრაფიამ შიდა ორიენტირების დანახვა გახადა შესაძლებელი. სწორედ სამიზნისა და პაციენტის რეალური ანატომიის დაკავშირება იყო კლინიკური სტერეოტაქსიის განვითარების გადამწყვეტი ნაბიჯი.

ალეგორიული შედარება. შენობის გარეთა კედლის ცოდნა ოთახის ზუსტ მდებარეობას ყოველთვის ვერ გვეტყვის; საჭიროა შიდა გეგმაც.

Nota bene კოორდინატების სიზუსტე დამოკიდებულია იმაზე, რამდენად სწორად ვუკავშირებთ რუკას ინდივიდუალურ ანატომიას.

ფსიქოქირურგიის ისტორიული გაკვეთილი

მონიშისა და ლიმას ლეიკოტომია ფსიქიატრიული სიმპტომების შუბლის კავშირებზე ზემოქმედებით შემცირებას ცდილობდა. ფრიმენისა და უოტსის მუშაობის შემდეგ ლობოტომია ფართოდ გავრცელდა. სიმპტომის შემცირებას ზოგჯერ მძიმე აპათია, კოგნიტური და პიროვნული ცვლილებები ახლდა. ფრიმენის ტრანსორბიტალურმა მეთოდმა პროფესიული და ეთიკური დაპირისპირება კიდევ უფრო გაამწვავა. ეს ისტორია თანამედროვე ფსიქიატრიული ქირურგიის შეფასებისთვის აუცილებელია. მცირე ლეზია ან რეგულირებადი სტიმულაცია ტექნიკურ შესაძლებლობას ზრდის, თუმცა წარმატების საზომი პაციენტის კეთილდღეობა და თავისუფალი არჩევანია. გარეგნული დამშვიდება ფუნქციის გაუმჯობესების ტოლფასი არ არის.

ალეგორიული შედარება. ხმაურის გასაჩერებლად მთელი ოთახის ელექტროენერგიის გათიშვა პრობლემას შეიძლება დროებით აჩერებდეს, მაგრამ საჭირო მოწყობილობებსაც აჩერებს.

Nota bene ტექნოლოგიური სიზუსტე ეთიკურ პასუხისმგებლობას ვერ ანაცვლებს.

ადამიანის სტერეოტაქსია და ფუნქციური რუკები

შპიგელისა და უაიკისის 1947 წლის სისტემა ადამიანის ღრმა სამიზნეებზე კლინიკური მუშაობის საკვანძო ეტაპია. ლექსელის, ტალერაშისა და გერმანული სკოლის ჩარჩოებმა სხვადასხვა გზით გადაწყვიტა ერთი ამოცანა: შერჩეულ წერტილამდე ინსტრუმენტის ზუსტი მიყვანა. AC–PC სისტემა ატლასსა და პაციენტს შორის საერთო სივრცით ენად იქცა. ატლასი საშუალო ანატომიას აღწერს; პაციენტი კი ინდივიდუალურია. ჰასლერის ბირთვთა აღწერას, შალტენბრანდის ატლასებსა და მიკროელექტროდულ ჩაწერას ამიტომ განსხვავებული, ურთიერთშემავსებელი მნიშვნელობა აქვს. პენფილდმა და ჯასპერმა ქერქის ინდივიდუალური ფუნქციური რუკის შექმნა განავითარეს. კუპერის, ნარაბაიაშისა და ლექსელის მოძრაობითი ქირურგია სიმპტომის შესაბამისი სამიზნის ძიებას ასახავს. ბეხტერევასა და კანდელის სკოლებმა ქრონიკული ელექტროდებისა და ფუნქციური ჩარევების გამოცდილება გააფართოვა.

ალეგორიული შედარება. ატლასი ქალაქის საერთო რუკას ჰგავს, ხოლო MRI და ფიზიოლოგიური შემოწმება ადგილზე მისამართის დაზუსტებაა.

Nota bene სამიზნე განისაზღვრება ანატომიით, ფუნქციითა და პაციენტის კლინიკური ამოცანით.

რადიოქირურგია და ნეირომოდულაციის დასაწყისი

ლექსელის რადიოქირურგიამ მრავალი სუსტი სხივის ერთ სამიზნეში შეკრება გამოიყენა. ამ პრინციპით დაზიანება ღია ოპერაციის გარეშე მიიღებოდა. პარალელურად ლევოდოპამ პარკინსონის დაავადების მკურნალობა შეცვალა და მოძრაობითი ლეზიური ოპერაციების საჭიროება დროებით შეამცირა. ფუნქციური ქირურგია სხვა მიმართულებებით გაგრძელდა. კარიბჭის თეორიამ ტკივილის სიგნალის რეგულირების შესაძლებლობა წარმოაჩინა და ზურგის ტვინის სტიმულაციის განვითარებას შეუწყო ხელი. ჯანეტას მიკროვასკულური დეკომპრესია ნერვის ზეწოლის მოხსნას ემსახურებოდა. რიზოტომია, DREZ-ოტომია და ინტრათეკალური ბაკლოფენი სპასტიურობისა და ტკივილის განსხვავებულ მექანიზმებზე მოქმედებდა. ამ ისტორიაში მეთოდები ერთმანეთს ყოველთვის არ ცვლის: ისინი სხვადასხვა ამოცანისთვის თანაარსებობს.

ალეგორიული შედარება. წყლის ნაკადის მართვა შეიძლება სარქველით, წნევის რეგულირებით ან გაჭედილი მილის გათავისუფლებით; არჩევანს დარღვევის მიზეზი განსაზღვრავს.

Nota bene დეკომპრესია, ლეზია და მოდულაცია სხვადასხვა მექანიზმის მქონე ჩარევებია.

ვიზუალიზაციიდან DBS-ის ეპოქამდე

CT-მ, N-ლოკალიზატორმა და MRI-მ სამიზნის პაციენტის გამოსახულებაზე დაგეგმვა გააუმჯობესა. კომპიუტერულმა ნავიგაციამ სივრცითი ინფორმაცია ინსტრუმენტის მდებარეობას დაუკავშირა. ლევოდოპის გრძელვადიანმა გართულებებმა და ბაზალური განგლიების ფიზიოლოგიის განვითარებამ მოძრაობითი ქირურგია კვლავ აქტუალური გახადა. ლაიტინენმა პოსტეროვენტრალური პალიდოტომია განაახლა. ბენაბიდისა და პოლაკის ქრონიკულმა მაღალსიხშირულმა სტიმულაციამ რეგულირებადი მკურნალობის გზა გააძლიერა. DBS-ის ეფექტი მხოლოდ ნეირონების „გამორთვით“ არ აიხსნება: მნიშვნელოვანია აქსონების, ქსელური კავშირებისა და პათოლოგიური რიტმების ცვლილებაც. რანდომიზებულმა კვლევებმა გარკვეულ ჩვენებებში სარგებელი დაადასტურა, სხვებში კი მოლოდინი ვერ გაამართლა. ეპილეფსიის ქირურგია ამავე პერიოდში რეზექციიდან დისკონექციისა და ნეირომოდულაციის მიმართულებებით გაფართოვდა.

ალეგორიული შედარება. რეგულირებადი მოწყობილობა ხმის პულტს ჰგავს: პარამეტრების შეცვლა შესაძლებელია, თუმცა პულტის დაყენებასა და სადენების გაყვანას თავისი რისკი აქვს.

Nota bene DBS-ის სტიმულაცია რეგულირებადია; იმპლანტაცია სრულიად შექცევადი ან ურისკო არ არის.

თანამედროვე მეთოდები და მომავალი

MRgFUS ენერგიას თავის ქალის გავლით ფოკუსირებს; LITT სამიზნეში შეყვანილი ბოჭკოთი სითბოს ქმნის. ორივე შემთხვევაში ლეზიის საზღვრებსა და მეზობელი ქსოვილის დაცვას არსებითი მნიშვნელობა აქვს. რობოტი დაგეგმილ ტრაექტორიას ასრულებს, მაგრამ სამიზნის კლინიკურ არჩევანს გუნდი აკეთებს. მიმართული ელექტროდები ელექტრული ველის განაწილებას ცვლის. ადაპტური სისტემები ნერვული სიგნალის მიხედვით სტიმულაციას განსაზღვრულ ფარგლებში არეგულირებს. კონექტომიკა გვახსენებს, რომ ბირთვი უფრო ფართო ქსელის ნაწილია. აღდგენითი მიმართულება ცდილობს დაკარგული კომუნიკაციისა და მოძრაობის მხარდაჭერას, უჯრედული ან გენური მიდგომები კი კონკრეტულ ბიოლოგიურ პრობლემაზე მოქმედებს. მათი მტკიცებულება და დამტკიცების სტატუსი ერთმანეთისგან უნდა გავმიჯნოთ.

ალეგორიული შედარება. ხიდის აღდგენა, შემოვლითი გზის შექმნა და მოძრაობის შუქნიშნით მართვა ერთი და იმავე პრობლემის განსხვავებული გადაწყვეტებია.

Nota bene მომავლის ტექნოლოგია ფასდება უსაფრთხოებითა და პაციენტისთვის მიღებული ფუნქციური სარგებლით.

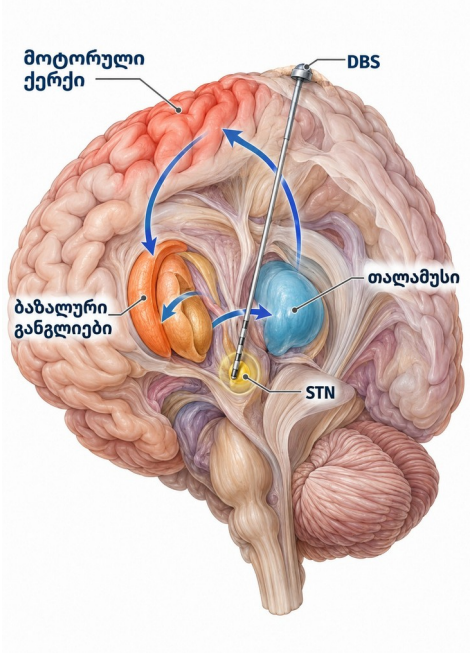
ძირითადი დასკვნები

Nota bene ფუნქციური ქირურგია განსაზღვრავს, რომელი ფუნქციის გაუმჯობესება გვინდა; სტერეოტაქსია სამიზნემდე ზუსტად მისვლის მეთოდია.

Nota bene სტიმულაციის გამორთვა შესაძლებელია, მაგრამ იმპლანტაციას ოპერაციული და ქსოვილოვანი რისკი რჩება.

თავი 2

მოძრაობითი დარღვევები და სპასტიურობა



სურათი 2.1 — მოძრაობითი დარღვევები და სპასტიურობა.

ნებითი მოძრაობა და კუნთის ტონუსი

პერანგის ღილის შეკვრა იმდენად ჩვეულებრივი მოქმედებაა, რომ იშვიათად ვფიქრობთ მის სირთულეზე. სინამდვილეში ტვინმა უნდა განსაზღვროს მიზანი, შეარჩიოს თითების მოძრაობა, საჭირო ძალა და სიჩქარე, შემდეგ კი შეხების შეგრძნებით მუდმივად შეამოწმოს შედეგი. ღილი შეიძლება ხელიდან გაგვისხლტეს, ქსოვილი დაიჭიმოს ან თითი არასწორი მიმართულებით წავიდეს — თითოეული ასეთი ცვლილება მოძრაობის შესწორებას მოითხოვს. მოქმედების განზრახვის ჩამოყალიბებაში პრეფრონტალური ქერქი მონაწილეობს. პრემოტორული ქერქი და დამატებითი მოტორული არე — SMA — მოძრაობის მომზადებასა და თანმიმდევრობის ორგანიზებაში ერთვება. თხემის ქერქი ამ პროცესს სხეულის მდებარეობისა და გარემოს შესახებ ინფორმაციას აწვდის. პირველადი მოტორული ქერქი — M1 — კი კუნთების მუშაობის სამართავად დაღმავალი სიგნალების წარმოქმნაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს.

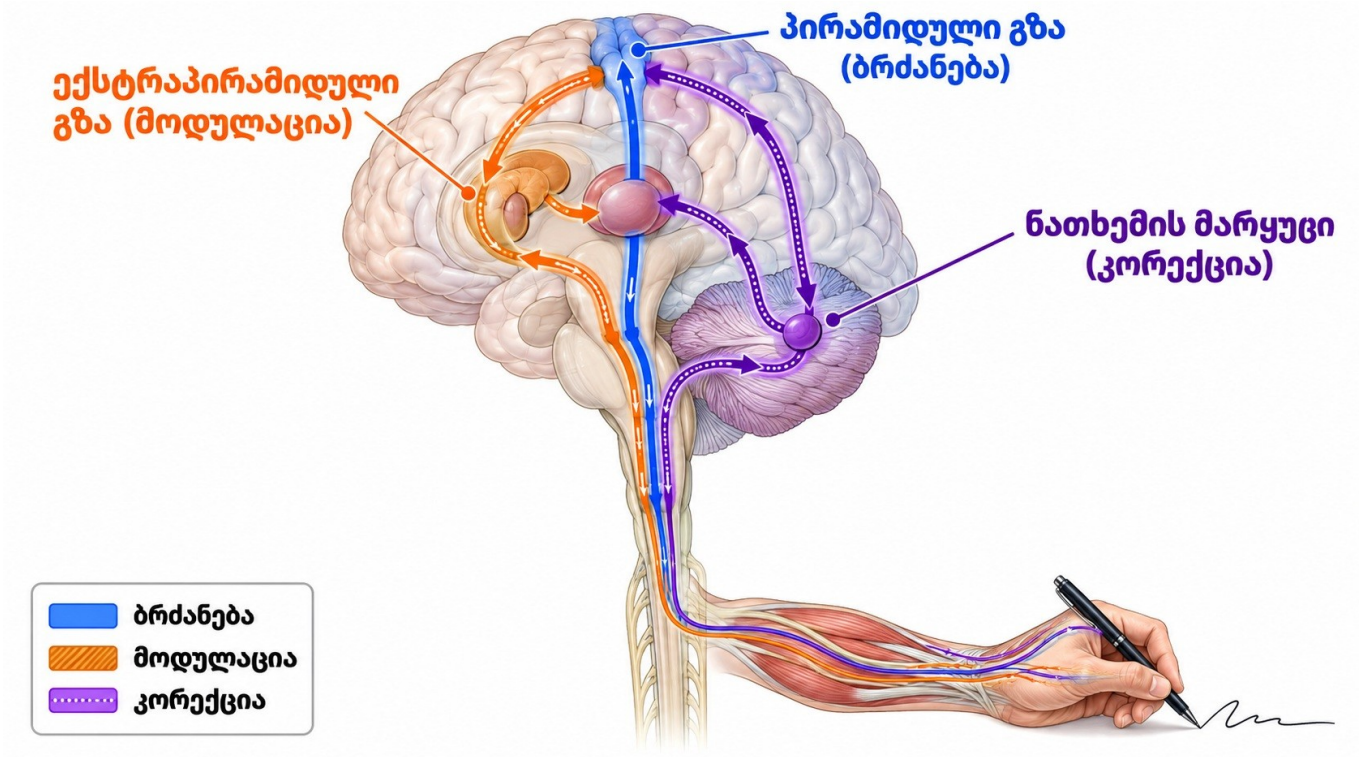
ეს უბნები ერთმანეთისგან იზოლირებულად არ მუშაობს. მოძრაობის მომზადებასა და შესრულებაში მათთან ერთად მონაწილეობს ბაზალური განგლიები და ნათხემი. ბაზალური განგლიების ქსელი ხელს უწყობს შესაბამისი მოქმედების შერჩევასა და მისი ინტენსივობის რეგულირებას. ნათხემი მონაწილეობს მოძრაობის დროის, სიზუსტისა და შეცდომების გამოსწორებაში. მგრძნობელობითი სისტემა ტვინს უწყვეტად ატყობინებს, სად არის ხელი და რას ეხება თითები. ამ თანამშრომლობის დარღვევისას ადამიანს შეიძლება ძალა შენარჩუნებული ჰქონდეს, მაგრამ მოძრაობა გაუჭირდეს: ხელი ნელა გაიწოდოს,

კანკალებდეს ან უნებლიედ მოიგრიხოს. მოძრაობის დარღვევა ყოველთვის კუნთის სისუსტეს არ ნიშნავს. პრობლემა შეიძლება მოძრაობის შერჩევაში, სიჩქარეში, ამპლიტუდაში ან კუნთების შეთანხმებულ მოქმედებაში იყოს.

ალეგორიული შედარება. მოძრაობა ორკესტრის შესრულებას ჰგავს: მხოლოდ თითოეული ინსტრუმენტის გამართულობა საკმარისი არ არის. საჭიროა, მუსიკოსებმა დროულად დაიწყონ, დაიცვან ტემპი და ერთმანეთს შეუთანხმდნენ. ასევე, ძლიერი კუნთიც ვერ უზრუნველყოფს ზუსტ მოძრაობას, თუ ნერვული ქსელის მუშაობა შეთანხმებული არ არის.

Nota bene ნორმალური მოძრაობისთვის ძალასთან ერთად აუცილებელია სწორი მოქმედების შერჩევა, დროული შესრულება და შედეგის უწყვეტი კონტროლი.

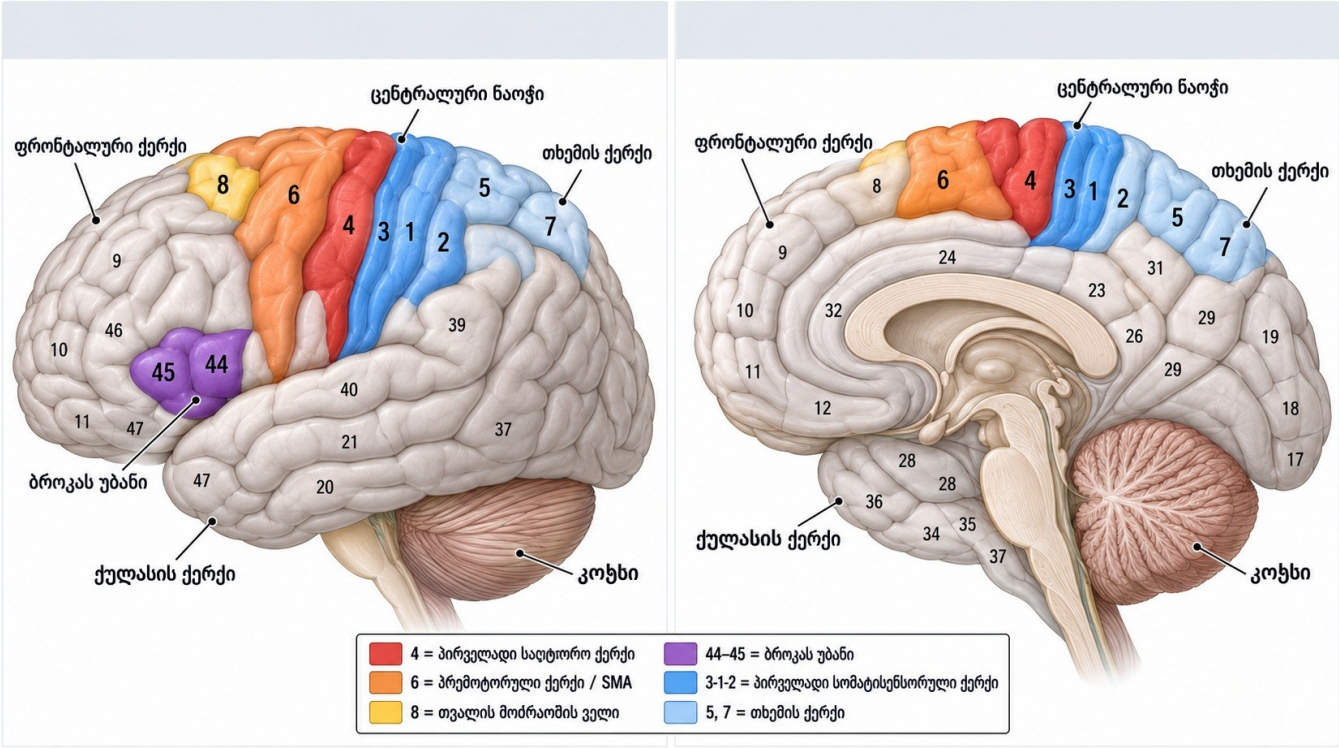
ნებითი მოძრაობის ძირითადი გზები



სურათი 2.2 — ნებითი მოძრაობის ძირითადი გზები.

მოძრაობის ქერქული წარმოდგენა

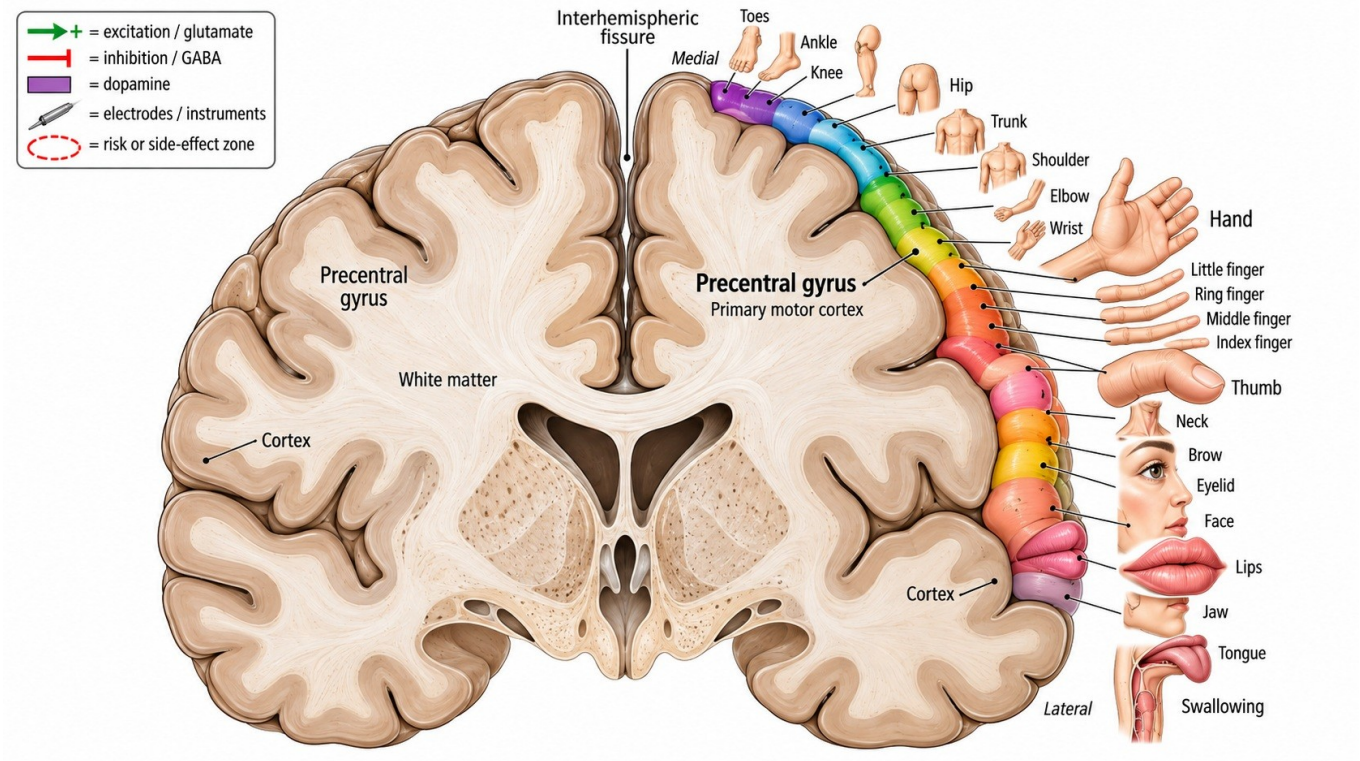
ქერქის უბნების აღწერისას ხშირად გამოიყენება ბროდმანის ნომრები. პრეფრონტალურ ფუნქციებთან დაკავშირებულია, მათ შორის, 9, 10 და 46 არეები; პრემოტორული ქერქი და SMA მე-6 არეს უკავშირდება, M1 კი მე-4 არეს შეესაბამება. თხემის ასოციაციური უბნები, მათ შორის მე-5 და მე-7 არეები, მოძრაობის დაგეგმვას სივრცითი ინფორმაციით ამარაგებს. პირველადი სომატოსენსორული ქერქის 3, 1 და 2 არეები სხეულიდან შემოსულ შეგრძნებებს ამუშავებს. ლატერალური და მედიალური ზედაპირების ერთად დანახვა მნიშვნელოვანია: მოძრაობის მომზადებისა და შესრულების უბნები მხოლოდ ტვინის გარეთა ხილულ ზედაპირზე არ მდებარეობს (სურათი 2.3).



სურათი 2.3 — მოტორული და სომატოსენსორული ქერქის უბნები.

მოძრაობის ქერქული წარმოდგენა

მოტორული ჰომუნკულუსი ქერქზე სხეულის ნაწილების ფუნქციურ წარმოდგენას აჩვენებს. ხელისა და სახის დიდი გამოსახულება მათ ფიზიკურ ზომას არ ასახავს: ამ ნაწილების დახვეწილ კონტროლს შედარებით ფართო ქერქული წარმომადგენლობა სჭირდება. სხეულის ეს რუკა საორიენტაციოა; რეალური წარმომადგენლობები ნაწილობრივ გადაფარული და ინდივიდუალურად განსხვავებულია.



სურათი 2.4 — მოტორული ჰომუნკულუსი.

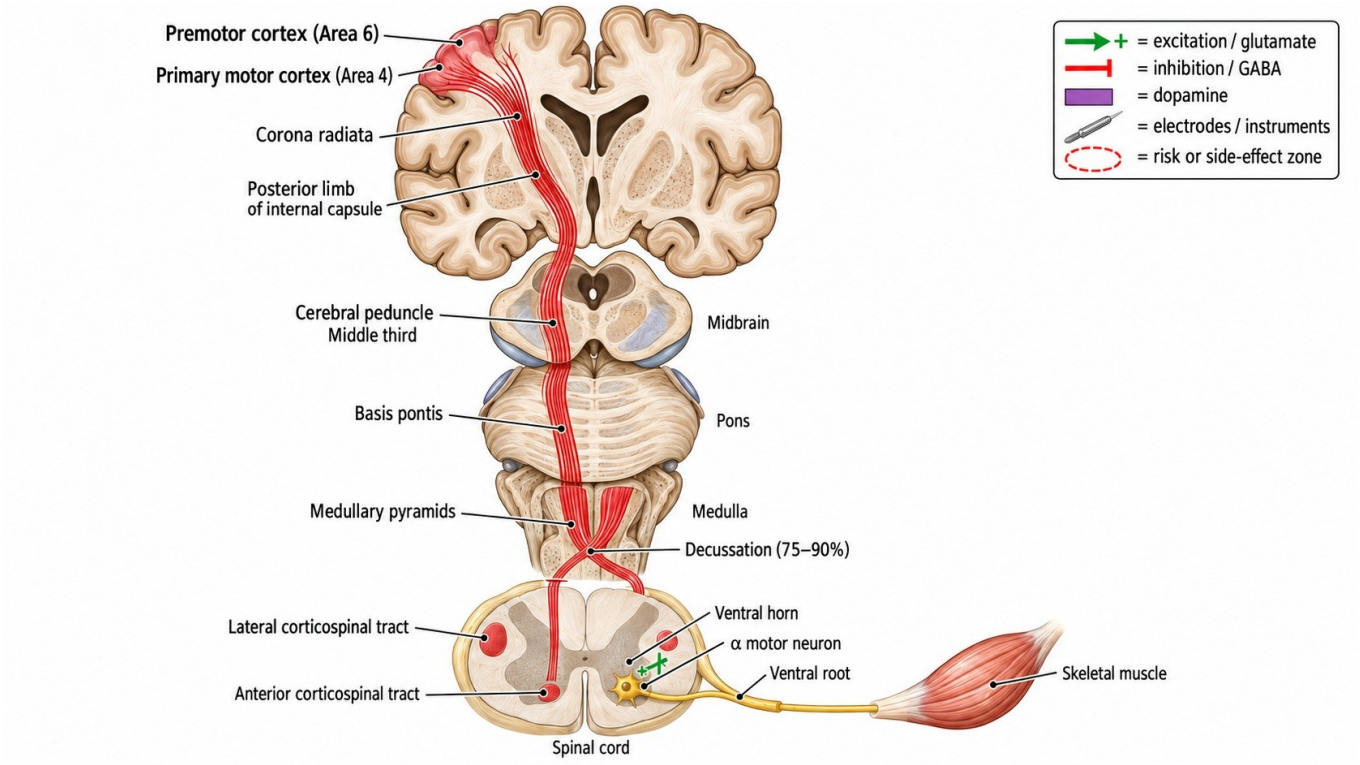
პირამიდული (კორტიკოსპინალური) გზა

მოძრაობის მომზადების შემდეგ სიგნალმა კუნთამდე უნდა მიაღწიოს. ხელისა და თითების ნებითი, განსაკუთრებით დახვეწილი მოძრაობებისთვის უმნიშვნელოვანესია კორტიკოსპინალური გზა, რომელსაც პირამიდული სისტემის შემადგენლობაში განიხილავენ. ამ გზის ბოჭკოები ქერქიდან გამოდის, გაივლის შიგნითა კაფსულას, შუა ტვინის ტვინის ფეხებს, ხიდს და მოგრძო ტვინის პირამიდებს. მოგრძო ტვინის ქვედა ნაწილში მათი უმეტესობა საპირისპირო მხარეს გადადის და ზურგის ტვინში ეშვება. სწორედ ამიტომ თავის ტვინის ერთი ნახევარსფეროს დაზიანება ხშირად სხეულის საპირისპირო მხარის სისუსტეს იწვევს. ზურგის ტვინში ეს სიგნალები ინტერნეირონებისა და მოტონეირონების მუშაობაზე მოქმედებს. კუნთამდე საბოლოო იმპულსი ქვედა მოტონეირონის აქსონით მიდის, რომელიც პერიფერიული ნერვის შემადგენლობაში გადის. ნერვ-კუნთოვან შეერთებაში სიგნალის გადაცემას კუნთოვანი ბოჭკოს შეკუმშვა მოსდევს.

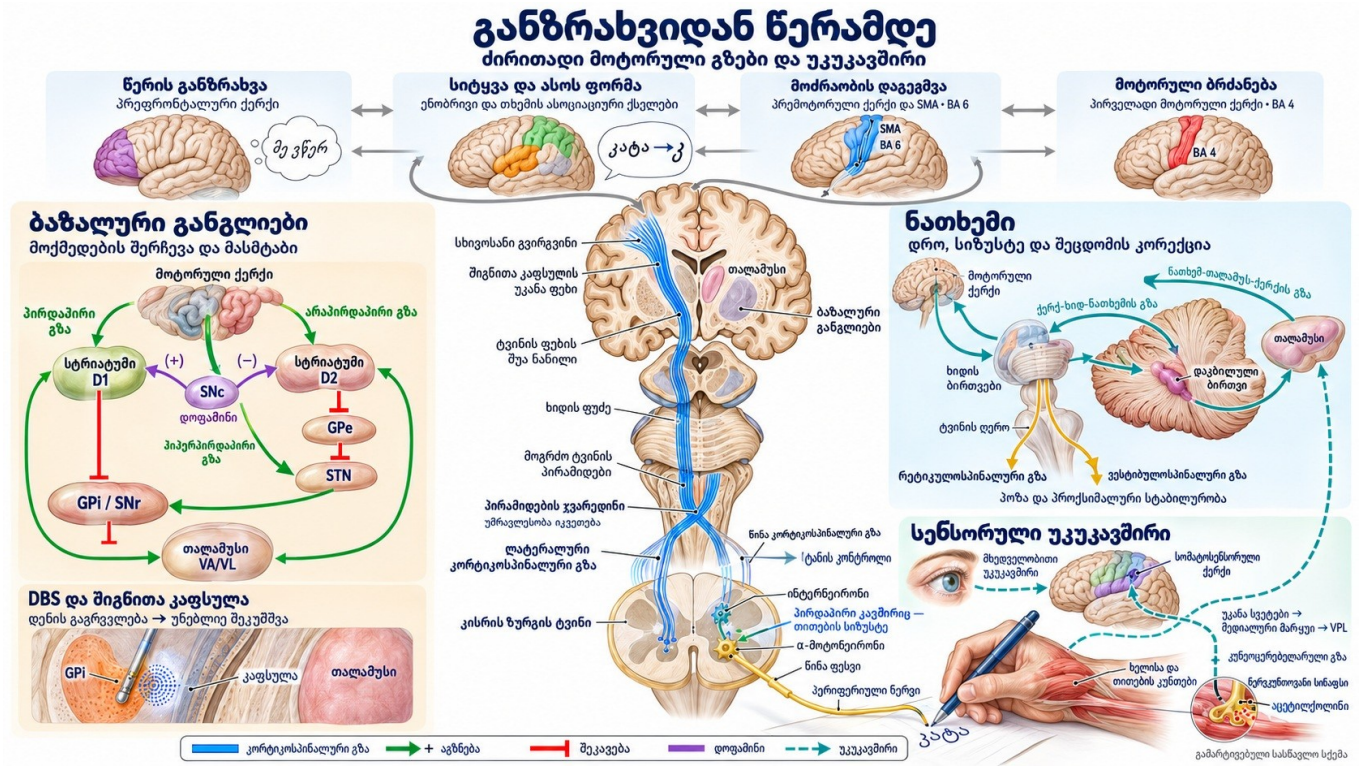
რეტიკულოსპინალური და ვესტიბულოსპინალური გზები სხეულის პოზას, წონასწორობასა და კუნთების ფონურ აქტივობას არეგულირებს. ბაზალური განგლიები და ნათხემი ქერქისა და ღეროს მოტორულ სისტემებზე ზემოქმედებით მოძრაობის ორგანიზებაში მონაწილეობს. ტერმინი „ექსტრაპირამიდული სისტემა“ ისტორიულად ამ მარეგულირებელი სტრუქტურებისა და კავშირების ნაწილს აერთიანებს; იგი ერთ კონკრეტულ გამტარ გზას არ ნიშნავს.

ალეგორიული შედარება. მოძრაობის მართვა სატრანსპორტო ქსელს ჰგავს: დანიშნულების ადგილის არჩევა, მოძრაობის რეგულირება და გზის გამტარობა განსხვავებული ამოცანებია. გზის დაზიანება და არასწორად მოქმედი შუქნიშანი ორივე აფერხებს გადაადგილებას, მაგრამ სხვადასხვა გზით — ამიტომ გამოსწორებაც განსხვავებულია.

Nota bene ბრძანების გადაცემის დარღვევა და მოძრაობის ორგანიზების დარღვევა განსხვავებული მექანიზმებია.



სურათი 2.5 — კორტიკოსპინალური გზა და მოძრაობის კონტროლი.



სურათი 2.6 — კორტიკოსპინალური გზა და მოძრაობის კონტროლი.

ზედა და ქვედა მოტონეირონი, გაჭიმვის-რეფლექსი

ზედა მოტონეირონის სისტემის დაზიანებას შეიძლება ახლდეს სისუსტე, დახვეწილი მოძრაობების დაკარგვა, რეფლექსების გაძლიერება და სპასტიურობა. ქვედა მოტონეირონის დაზიანებისას უფრო დამახასიათებელია სისუსტე, კუნთის ატროფია და რეფლექსების დაქვეითება. ბაზალური განგლიების დარღვევისას კი წამყვანი შეიძლება იყოს მოძრაობის შენელება ან უნებლიე მოძრაობები.



სურათი 2.7 — ზედა და ქვედა მოტონეირონის დაზიანება.

კიდურის პასიური მოძრაობისას კუნთები გარკვეულ წინააღმდეგობას გვიწევს. კლინიკურად ამ წინააღმდეგობას კუნთის ტონუსის შეფასებისთვის ვიყენებთ. მას განაპირობებს როგორც ნერვული მექანიზმები, ისე კუნთისა და შემაერთებელი ქსოვილის მექანიკური თვისებები. შესაბამისად, მომატებული წინააღმდეგობა ყოველთვის ერთსა და იმავე დარღვევას არ ნიშნავს.

გაჭიმვის რეფლექსის რკალი: კუნთის თითისტარა → Ia ბოჭკო → α-მოტონეირონი, γ-მოტონეირონი, დაღმავალი ინჰიბიცია

ტონუსის ნერვული რეგულაციის ერთ-ერთი საფუძველია გაჭიმვის რეფლექსი. კუნთში მოთავსებული კუნთის თითისტარა კუნთის სიგრძისა და მისი ცვლილების შესახებ ინფორმაციას იღებს. გაჭიმვისას სიგნალი Ia მგრძნობიარე ბოჭკოებით ზურგის ტვინში მიდის და იმავე კუნთის ალფა-მოტონეირონების გააქტიურებას უწყობს ხელს. კუნთი იკუმშება და გაჭიმვას ეწინააღმდეგება. გამა-მოტონეირონები თითისტარის მგრძნობელობას არეგულირებს, რათა იგი კუნთის მუშაობის დროსაც ინფორმაციული დარჩეს. ამავდროულად, ზურგის ტვინის ინტერნეირონები საპირისპიროდ მოქმედი კუნთის აქტივობის შემცირებაში მონაწილეობს. ამას რეციპროკული შეკავება ეწოდება. მაგალითად, იდაყვის მოხრისას

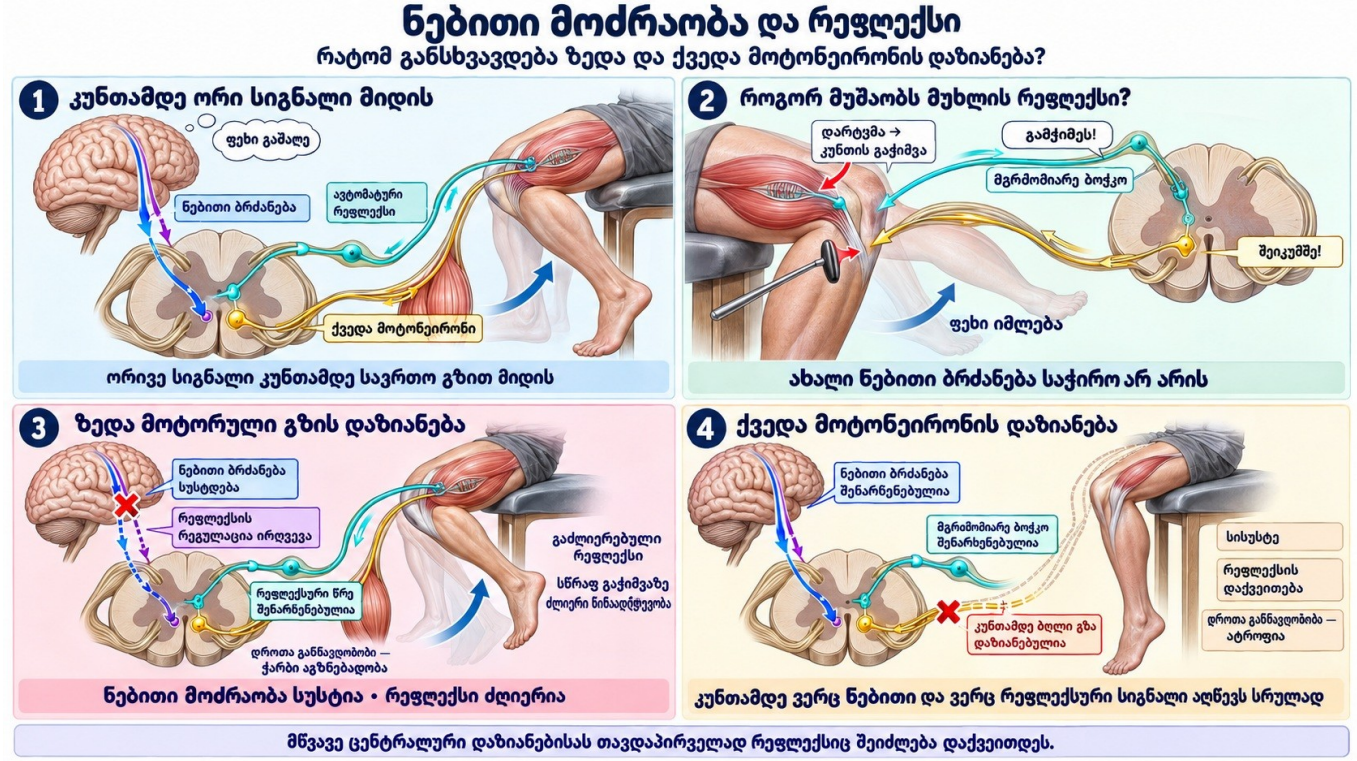
მომხრელი და გამშლელი კუნთების შეთანხმებული მუშაობაა საჭირო: თუ ორივე შეუფერებლად ძლიერ გააქტიურდა, მოძრაობა გაძნელდება.

რეფლექსი იზოლირებულად არ მოქმედებს. ტვინიდან ჩამომავალი გზები მის მგრძნობელობასა და მოტონეირონების აგზნებადობას ცვლის. დაღმავალი რეგულაციის დარღვევისას გაჭიმვაზე პასუხი შეიძლება გადაჭარბებული გახდეს. სპასტიურობისას კიდურის უფრო სწრაფი გაჭიმვა, ჩვეულებრივ, უფრო ძლიერ წინააღმდეგობას წარმოქმნის. ეს მას რიგიდობისგან განასხვავებს, რომლის დროსაც წინააღმდეგობა გაჭიმვის სიჩქარეზე ნაკლებად არის დამოკიდებული. ხანგრძლივი უძრაობისა და კუნთის სტრუქტურული ცვლილებების შედეგად შესაძლოა ჩამოყალიბდეს კონტრაქტურა — მოძრაობის ფიქსირებული მექანიკური შეზღუდვა. გადაჭარბებული ნერვული აქტივობის შემცირებამ შეიძლება სპასტიურობა შეამსუბუქოს, მაგრამ უკვე ჩამოყალიბებული კონტრაქტურა თავისთავად ვერ გააქროს. ტონუსის შემცირება დაკარგული კუნთოვანი ძალის აღდგენასაც არ ნიშნავს.

ამ მექანიზმიდან გამომდინარეობს მკურნალობის ლოგიკა: სელექციური დორსალური რიზოტომია (SDR) რეფლექსის მგრძნობიარე, შემავალ ნაწილს ამცირებს; ინტრათეკალური ბაკლოფენი (ITB) კი GABA-B რეცეპტორებით ზურგის ტვინის შემაკავებელ მოქმედებას აძლიერებს.

ალეგორიული შედარება. გაჭიმვის რეფლექსი ავტომატურ დაჭიმვის მარეგულირებელს ჰგავს: თუ მგრძნობელობა ზედმეტად მაღალია, მცირე გაჭიმვასაც გადაჭარბებული პასუხი მოჰყვება. ხოლო თუ თვითონ მასალა გამაგრდა და დამოკლდა, მხოლოდ მარეგულირებლის შეცვლა პრობლემას ვეღარ მოაგვარებს.

Nota bene სპასტიურობა, რიგიდობა და კონტრაქტურა სხვადასხვა მექანიზმით წარმოქმნილი მდგომარეობებია. მკურნალობის მიზანია მოძრაობის, კომფორტისა და მოვლის გაუმჯობესება.



სურათი 2.8 — ნებითი მოძრაობა და რეფლექსი.

ბაზალური განგლიები და ნათხემის ქსელი

ბაზალური განგლიები კუნთს უშუალოდ არ უბრძანებს შეკუმშვას. ისინი ქერქთან და თალამუსთან ერთად მოქმედების შერჩევას, მასშტაბს, დროსა და სწავლას არეგულირებს. ქერქიდან სტრიატუმში ძირითადად ამგზნები სიგნალი შედის. GPi და SNr თალამუსზე მუდმივ შემაკავებელ გავლენას ახდენს. პირდაპირი გზის გააქტიურება ამ შეკავებას ამცირებს — ეს დეზინჰიბიციაა. არაპირდაპირი გზა GPe-სა და STN-ის გავლით გამომავალ შეკავებას ცვლის. ჰიპერპირდაპირი გზა ქერქს უშუალოდ STN-თან აკავშირებს. SNc-ის დოფამინი D1 და D2 რეცეპტორების გავლით სტრიატულ ნეირონთა აგზნებადობასა და პლასტიკურობას არეგულირებს. ნათხემი შესრულების სიზუსტესა და დროსთან დაკავშირებულ ინფორმაციას ამუშავებს; მისი გამომავალი სიგნალი დაკბილული ბირთვიდან თალამუსსა და ქერქს აღწევს. გზები იზოლირებულად არ მუშაობს. სიმპტომებისთვის მნიშვნელოვანია როგორც განმუხტვის სიხშირე, ისე დროითი განაწილება და ნეირონთა სინქრონიზაცია.

ალეგორიული შედარება. ორკესტრში პრობლემა შეიძლება ზედმეტი ხმაურიც იყოს და ისიც, რომ ყველა ინსტრუმენტი ერთსა და იმავე რიტმს არასწორ დროს იმეორებს.

Nota bene „წადი“ და „გაჩერდი“ სასწავლო ანალოგიებია; რეალური ქსელი ერთდროულად მოქმედი გზებისგან შედგება.

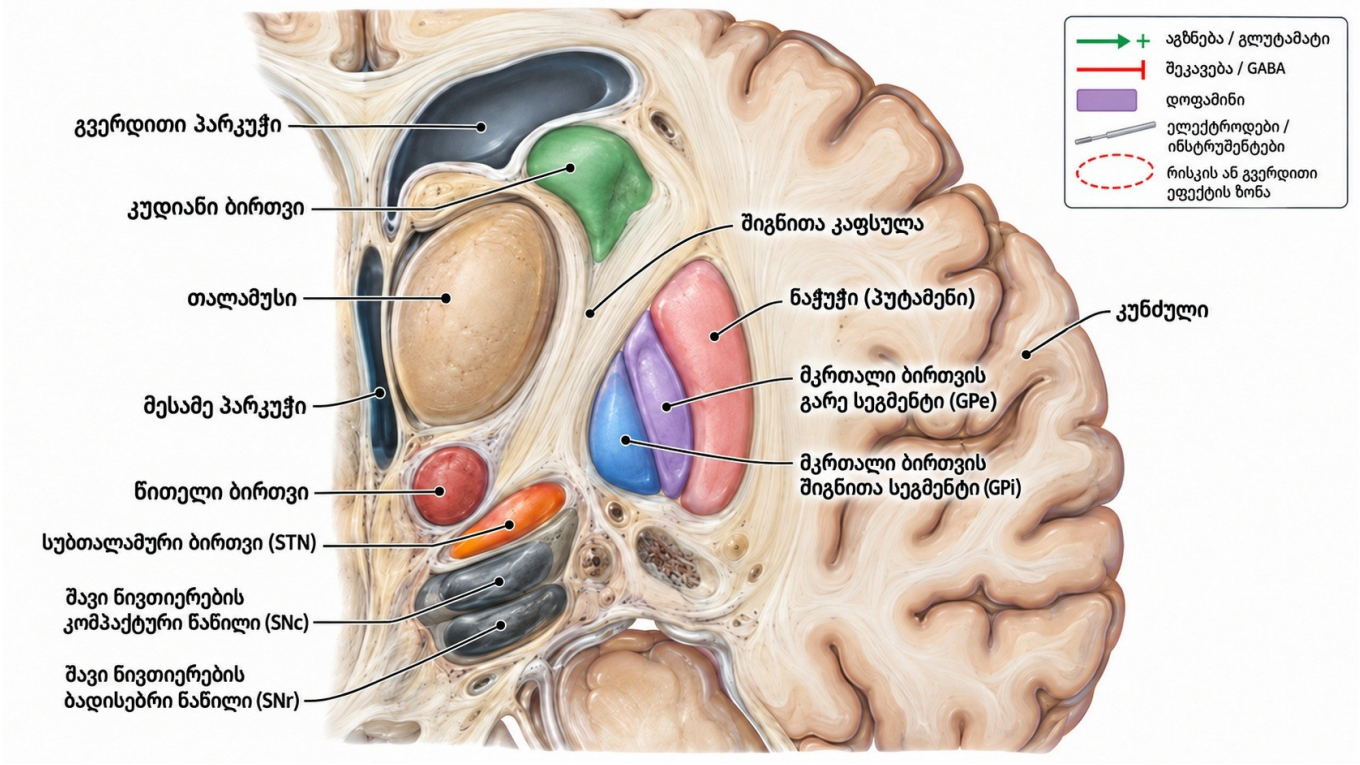
ბაზალური განგლიების შემადგენლობა

ბაზალური განგლიების შემავალი ნაწილი სტრიატუმია, რომელიც კუდიან ბირთვსა და ნაჭუჭს (putamen) მოიცავს. იგი ქერქიდან გლუტამატერგულ, ძირითადად ამგზნებ ინფორმაციას

იღებს, შავი ნივთიერების კომპაქტური ნაწილიდან კი დოფამინერგულ რეგულაციას ექვემდებარება. ამგვარად, ქერქიდან მოსული მოქმედების გეგმა სტრიატუმში იმ პირობებს ხვდება, რომლებიც მის შემდგომ გატარებას ცვლის. ფერმკრთალ ბირთვში გარეთა (GPe) და შიგნითა (GPi) სეგმენტები გამოიყოფა. GPe შიდა კავშირების რეგულირებაში მონაწილეობს; GPi კი შავი ნივთიერების ბადისებრ ნაწილთან (SNr) ერთად ქსელის ძირითად გამომავალ სისტემას ქმნის. მათი GABA-ერგული სიგნალები სამიზნე სტრუქტურებზე მუდმივ შემაკავებელ გავლენას ახდენს.

სუბთალამური ბირთვი (STN) ბაზალური განგლიების ძირითადი შიდა ბირთვებიდან გლუტამატერგულ, ამგზნებ გამოსავალს ქმნის. ეს არ ნიშნავს, რომ მთელ ქერქულ–თალამურ წრეში სხვა ამგზნები კვანძი არ არის. იგი მცირე, ირიბად მდებარე, ლინზისებრი სტრუქტურაა, დაახლოებით 10–12 მმ სიგრძით. შავი ნივთიერების ორი ნაწილი ფუნქციურად განსხვავდება: კომპაქტური ნაწილი (SNc) სტრიატუმს დოფამინს აწვდის, ბადისებრი ნაწილი (SNr) კი გამომავალი შემაკავებელი კვანძია. თალამუსი ამ წრეებში გადაცემისა და დამუშავების რგოლია: VA/VL-ის შესაბამისი უბნები ბაზალური განგლიებიდან იღებს ინფორმაციას, Vim კი ნათხემის გამომავალ გზებთან არის დაკავშირებული.

ბაზალური განგლიების ანატომიური ორიენტირები



სურათი 2.9 — ბაზალური განგლიების ანატომიური ორიენტირები.

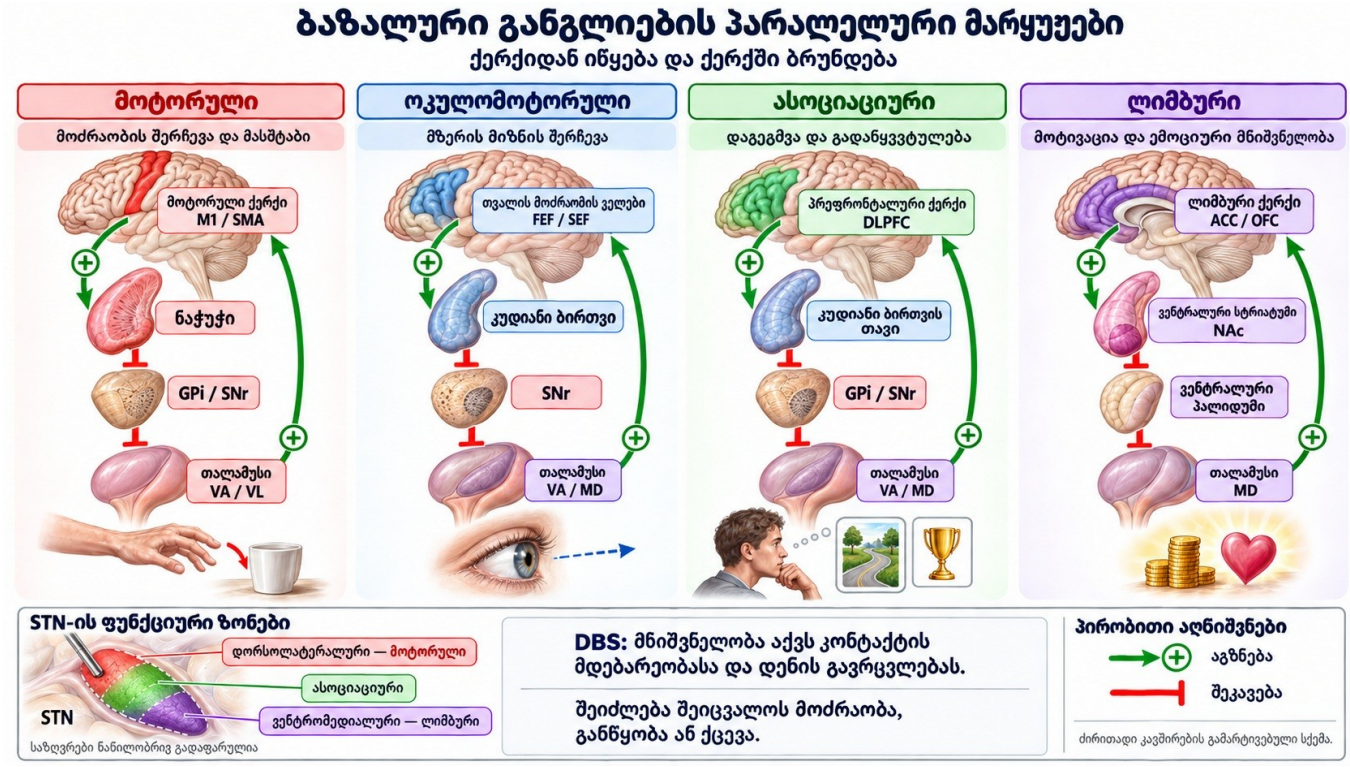
კორტიკო-ბაზალურ-თალამო-კორტიკული მარყუჟები

ალექსანდერმა, დელონგმა და სტრიკმა 1986 წელს აღწერეს პარალელური ფუნქციური მარყუჟების მოდელი. მოტორული, ოკულომოტორული, ასოციაციური და ლიმბური წრეები ქერქს, ბაზალურ განგლიებსა და თალამუსს ერთმანეთთან აკავშირებს. ამიტომ ეს სისტემა მოძრაობასთან ერთად მოქმედების დაგეგმვას, თვალების მოძრაობას, მოტივაციასა და

ქცევასაც უკავშირდება. მოტორული წრის გამარტივებული მარშრუტია M1/SMA → ნაჭუჭი → GPi/SNr → თალამუსი → მოტორული ქერქი. ამ წრეში მონაწილეობს თალამუსის VA/VL-ის შესაბამისი უბნები, მათ შორის Voa/Vop. ბირთვების შიგნით ფუნქციური განაწილებაც არსებობს: STN-ის სენსომოტორული ნაწილი უმეტესად დორსოლატერალურია, GPi-ისა კი პოსტეროვენტრალური.

ამ განაწილებას ქირურგიული მნიშვნელობა აქვს. ელექტრული ველის გავრცელებამ მოტორული უბნიდან ასოციაციურ ან ლიმბურ კავშირებზე შეიძლება მოძრაობის გაუმჯობესებასთან ერთად განწყობა ან ქცევაც შეცვალოს. STN-DBS-ის შემდეგ ჰიპომანია და იმპულსურობა მხოლოდ ერთი მიზეზით არ აიხსნება, თუმცა ლიმბური კავშირების ჩართვა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მექანიზმია. იგივე ქსელური ანატომია ფსიქიატრიული ქირურგიის სამიზნეების გაგებასაც საფუძვლად უდევს.

ბაზალური განგლიების პარალელური მარყუჟები



სურათი 2.10 — ბაზალური განგლიების პარალელური მარყუჟები.

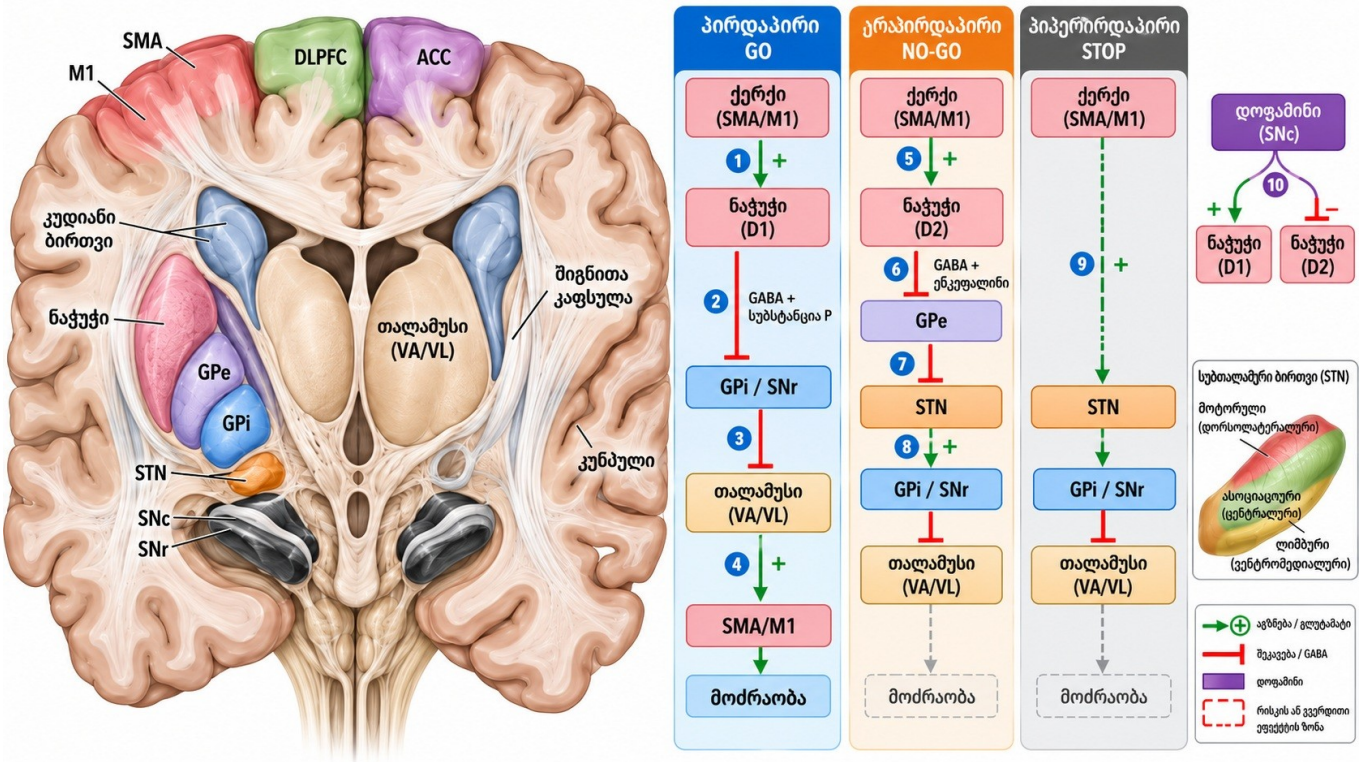
პირდაპირი, არაპირდაპირი და ჰიპერპირდაპირი გზა

ქერქიდან შემოსულმა სიგნალმა მოძრაობას შეკავების შემცირებითაც შეიძლება შეუწყოს ხელი. პირდაპირი გზის სტრიატული ნეირონები GPi-სა და SNr-ს აკავებს; შედეგად თალამუსზე მათი შემაკავებელი გავლენა სუსტდება. შეკავებისგან ასეთ გათავისუფლებას დეზინჰიბიცია ეწოდება. იგი საჭირო მოქმედების შესრულებას ხელს უწყობს. არაპირდაპირ გზაში სტრიატუმი GPe-ს აკავებს. GPe ნორმაში STN-ზე შემაკავებლად მოქმედებს; ამიტომ GPe-ის დათრგუნვა STN-ს შედარებით ათავისუფლებს. STN-ის ამგზნები გავლენა GPi/SNr-ზე ძლიერდება და გამომავალი შეკავებაც იზრდება. გამარტივებული მოდელით, ეს კონკურენტი მოძრაობების შეზღუდვას ეხმარება.

ჰიპერპირდაპირი გზა ქერქს უშუალოდ STN-თან აკავშირებს და გამომავალი შეკავების სწრაფ გაძლიერებაში მონაწილეობს. SNc-დან გამოყოფილი დოფამინი D1 და D2 რეცეპტორების განსხვავებული მოქმედებით ამ გზების ბალანსსა და სწავლას არეგულირებს: D1-ის გავლით ძირითადად პირდაპირ გზას უწყობს ხელს, D2-ის გავლით კი არაპირდაპირი გზის შესაბამისი სტრიატული ნეირონების აქტივობას ამცირებს.

ალეგორიული შედარება. „წადი“, „არ წახვიდე“ და „შეჩერდი“ ამ კავშირების დამახსოვრებას ამარტივებს, თუმცა გზები ცალ-ცალკე ჩამრთველები არ არის. მოძრაობისას ისინი ერთობლივად მუშაობს. ნახატზე მწვანე ისარი აგზნებას, წითელი ხაზი კი შეკავებას აღნიშნავს.

Nota bene ეს გამარტივებული მოდელია: სამივე გზა ერთობლივად მუშაობს, რათა საჭირო მოძრაობა შესრულდეს და არასაჭირო შეიზღუდოს.

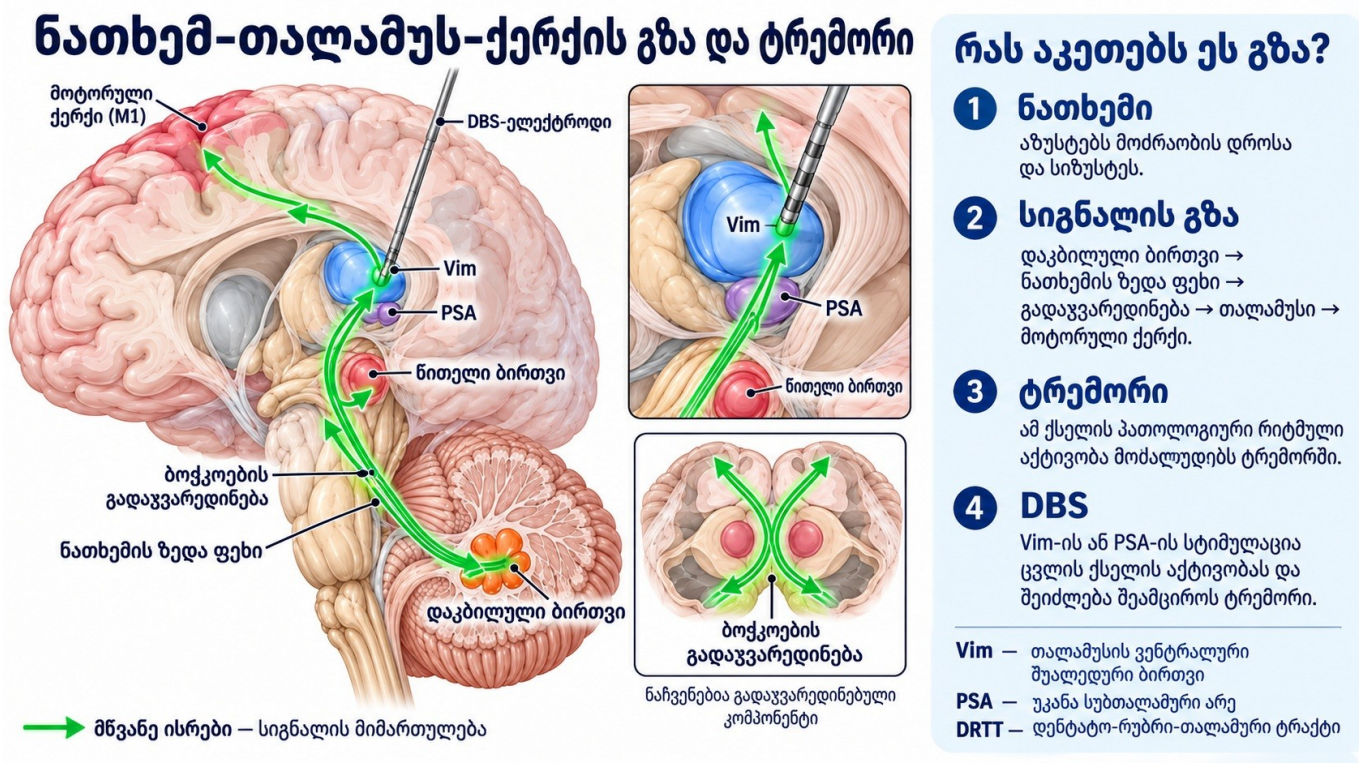


სურათი 2.11 — პირდაპირი არაპირდაპირი და ჰიპერპირდაპირი გზები.

ნათხემ-თალამო-კორტიკული წრე

ნორმაში ნათხემი მოძრაობის დროს, სიზუსტესა და კოორდინაციას არეგულირებს. სიგნალი გაივლის გზას: ნათხემის დაკბილული ბირთვი → ნათხემის ზედა ფეხი → ბოჭკოების გადაჯვარედინება → თალამუსი → მოტორული ქერქი. ტრემორის დროს ამ ქსელში პათოლოგიური რიტმული აქტივობა მონაწილეობს კიდურის უნებლიე, განმეორებითი რხევის წარმოქმნაში. DBS — თალამუსის Vim ბირთვის ან უკანა სუბთალამური არის (PSA) სტიმულაცია — ცვლის ამ ქსელის პათოლოგიურ აქტივობას და შეიძლება შეამციროს ტრემორი.

Nota bene ტრემორი მხოლოდ ერთი ბირთვის პრობლემა არ არის — მასში ურთიერთდაკავშირებული ნერვული ქსელი მონაწილეობს. სტიმულაცია ამ ქსელის აქტივობას არეგულირებს.



სურათი 2.12 — ნათხემ თალამურ ქერქული გზა.

პათოლოგიური ოსცილაციები

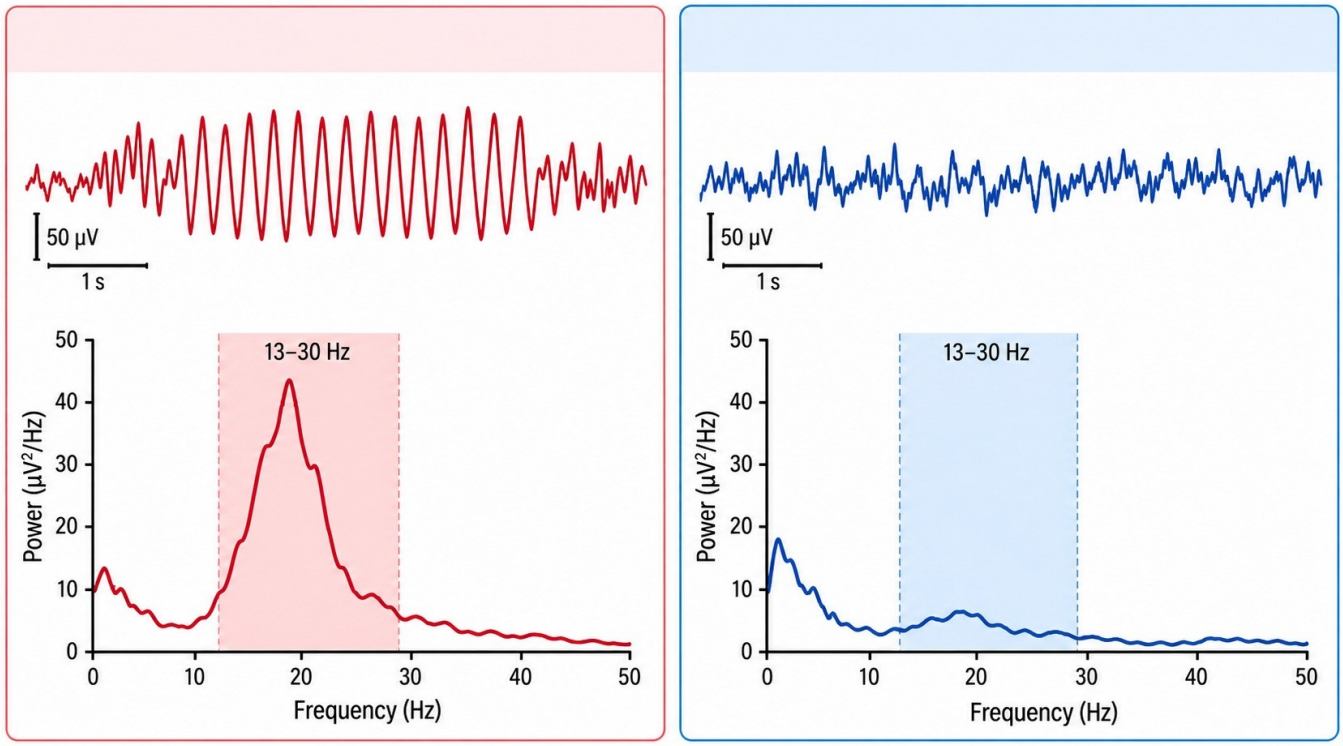
β-რიტმი — პარკინსონის დაავადება: მოძრაობის ქსელი თითქოს ერთ რიტმში „იჭედება“, რაც მოძრაობის მოქნილ მართვას უშლის ხელს. ჭარბი β-სინქრონიზაცია დაკავშირებულია მოძრაობის შენელებასა და რიგიდობასთან; ლევოდოპა და DBS ხშირად ამცირებს მას. ნელი, დაახლოებით 4–12 ჰც რიტმები — დისტონია: GPi-ში გაძლიერებული რიტმული აქტივობა დაკავშირებულია უნებლიე კუნთურ შეკუმშვებთან. თუმცა ეს დისტონიის მთელი მექანიზმის ახსნა არ არის. ტრემორი: ქსელის განმეორებითი რიტმული სიგნალები კიდურის რხევასთან არის დაკავშირებული. ესენციურ ტრემორში მონაწილეობს ნათხემ–თალამუს–ქერქის ქსელი; ქვედა ოლივის, როგორც მთავარი „რიტმის წარმომქმნელის“, როლი საბოლოოდ დადასტურებული არ არის. პარკინსონის ტრემორის ერთ-ერთი მოდელით, ბაზალური განგლიები „ჩამრთველია“, ხოლო ნათხემ–თალამუს–ქერქის ქსელი რხევის სიძლიერეს არეგულირებს.

ადაპტური DBS: მოწყობილობა ტვინის სიგნალს აკვირდება. β-ზე დაფუძნებულ რეჟიმში, როდესაც მისი სიძლიერე დადგენილ ზღვარს აჭარბებს, სტიმულაცია ავტომატურად ძლიერდება, ხოლო შემცირებისას — სუსტდება.

Nota bene მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ რამდენად აქტიურია ნეირონი, არამედ როდის და რამდენად შეთანხმებულად აქტიურდება სხვა ნეირონებთან ერთად.

ეს არის „rate model“-იდან „pattern model“-ზე გადასვლა: მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ რამდენად აქტიურია ნეირონი, არამედ როგორ რიტმში და რამდენად სინქრონულად მუშაობს ქსელი.

ბეტა აქტივობის შედარებითი სასწავლო სქემა



სურათი 2.13 — ბეტა აქტივობის შედარებითი სასწავლო სქემა.

მოძრაობითი დარღვევების ამოცნობა

ჯერ მოძრაობა უნდა აღვწეროთ და მხოლოდ შემდეგ ვივარაუდოთ დაავადება. ბრადიკინეზია შენელებას განმეორებითი მოძრაობის სიჩქარის ან ამპლიტუდის შემცირებასთან აერთიანებს. ტრემორი რიტმული რხევაა; ქორეა კი არარეგულარული, მოულოდნელად ცვალებადი მოძრაობაა. დისტონია მდგრად ან პერიოდულ კუნთურ შეკუმშვასა და ხშირად განმეორებად მოგრეხილ პოზას ქმნის. ბალიზმი დიდი ამპლიტუდის, უმეტესად პროქსიმალური მოძრაობით გამოირჩევა; ათეტოზი უფრო ნელი და დისტალურია. ტიკს ხშირად წინმსწრები შინაგანი მოთხოვნილება ახლავს და დროებით შეკავება შეიძლება. მიოკლონუსი ხანმოკლე, დარტყმის მსგავსი მოძრაობაა. სპასტიურობა ამ ჩამონათვალში ცალკე უნდა გავიგოთ: იგი ზედა მოტონეირონის სინდრომის ნაწილია და პასიური გაჭიმვის სიჩქარეზე დამოკიდებული წინააღმდეგობით ხასიათდება. ერთი პაციენტი რამდენიმე ფენომენს შეიძლება აერთიანებდეს. ფენომენოლოგიური სახელწოდება მიზეზსა და ოპერაციის სამიზნეს ავტომატურად არ განსაზღვრავს.

ალეგორიული შედარება. ავტომობილის რხევა, შენელება და საჭის მოულოდნელი გადახრა სხვადასხვა ნიშანია; მათი დანახვა ჯერ მიზეზის ცოდნას არ ნიშნავს.

Nota bene ჯერ აღწერეთ მოძრაობა, შემდეგ მიზეზი და ბოლოს მკურნალობის შესაძლო სამიზნე.

მოძრაობითი დარღვევების ვიზუალური კლასიფიკაცია

ჰიპოკინეზია მოძრაობის სიმცირეს აღნიშნავს, ბრადიკინეზია კი შენელებასა და განმეორებითი მოძრაობის დაპატარავებას. ჰიპერკინეზიებია ზედმეტი უნებლიე მოძრაობები: ტრემორი, დისტონია, ქორეა, ბალიზმი, ათეტოზი, მიოკლონუსი და ტიკები. სპასტიურობა ზედა მოტონეირონის სინდრომის ნაწილია და ამავე სასწავლო თავში ცალკე მექანიზმით განიხილება.



სურათი 2.14 — მოძრაობითი დარღვევების ვიზუალური კლასიფიკაცია.

ჰიპოკინეტური დარღვევები და ტრემორი

ცხრილი 2.1 — ჰიპოკინეტური დარღვევები და ტრემორი

დარღვევა	დაზიანების ადგილი	მექანიზმი	ქირურგიული სამიზნე
პარკინსონის დაავადება	SNc → სტრიატუმი	დოფამინის დეფიციტი, STN/GPi ჰიპერაქტივობა, β-ოსცილაცია	STN, GPi; ტრემორისას Vim
ესენციური ტრემორი	ნათხემ-თალამო-კორტიკული წრე	პათოლოგიური ოსცილაცია, პურკინიეს უჯრედების დისფუნქცია	Vim, PSA/cZI, DRTT
ჰოლმსის (რუბრული) ტრემორი	წითელი ბირთვი, ნათხემ-თალამური და ნიგროსტრიატული გზები	კომბინირებული დაზიანება	Vim ± GPi, Vo

დარღვევა	დაზიანების ადგილი	მექანიზმი	ქირურგიული სამიზნე
ცერებელარული/MS ტრემორი	ნათხემი, ზემო ფეხი	ინტენციური ოსცილაცია	Vim (შედეგი ნაკლებად მდგრადია)
დისტონიური ტრემორი	ბაზალური განგლიები და ნათხემის ქსელი	დისტონიის ნაწილი	Vim, Vo, GPi

ტრემორის ტიპი — მოსვენების, პოსტურული თუ ინტენციური — შესაძლო ქსელის შეფასებას ეხმარება. სამიზნე მხოლოდ ამ ნიშნის მიხედვით არ განისაზღვრება.

ჰიპერკინეტური დარღვევები და სპასტიურობა

ცხრილი 2.2 — ჰიპერკინეტური დარღვევები და სპასტიურობა

დარღვევა	დაზიანების ადგილი	მექანიზმი	ქირურგიული სამიზნე
დისტონია	ბაზალური განგლიები, ნათხემი, სენსომოტორული ქერქი	ინჰიბიციის დეფიციტი, დარღვეული პლასტიკურობა	GPi (STN)
ქორეა (ჰანტინგტონი)	სტრიატუმი (ჯერ D2, არაპირდაპირი გზის ნეირონები)	GPi-ის გამოსავალი ↓	GPi (შეზღუდული)
ჰემიბალიზმი	კონტრალატერალური STN	GPi-ის აგზნება ↓	GPi, პალიდოტომია
ათეტოზი	სტრიატუმი/ფერმკრთალი (პერინატალური)	დისკინეტიკური ცერებრული დამბლა	GPi (ზომიერი ეფექტი)
ტიკები / ტურეტი	CSTC: ასოციაციური და ლიმბური მარყუჟი	ინჰიბიციის დეფიციტი, დოფამინი	CM-Pf, ანტერომედიალური GPi
სპასტიურობა	ზედა მოტონეირონი	გაჭიმვის რეფლექსის ჰიპერაგზნებადობა	SDR, ITB, ნევროტომია, DREZ

ჰემიბალიზმის და ქორეის შემთხვევაში პარადოქსია: ჰიპერკინეზია, როცა GPi-ის გამოსავალი დაქვეითებულია, მაგრამ პალიდოტომია (გამოსავლის კიდევ უფრო შემცირება) მას ამცირებს.

ჰიპოკინეზია და ჰიპერკინეზია: სიხშირე თუ რიტმი?

სიხშირის მოდელი ყურადღებას იმაზე ამახვილებს, რამდენ იმპულსს წარმოქმნის ნეირონი. ამ მოდელში GPi-ის გაძლიერებული გამომავალი აქტივობა თალამუსს მეტად აკავებს და ჰიპოკინეზიას უკავშირდება, შემცირებული აქტივობა კი ზედმეტ მოძრაობას შეიძლება უწყობდეს ხელს. ეს კავშირი პარკინსონიზმის გარკვეულ ნიშნებს ხსნის, მაგრამ ყველა კლინიკურ მოვლენას ვერ მოიცავს. მაგალითად, პალიდოტომიამ შეიძლება დისკინეზია შეამციროს, მიუხედავად იმისა, რომ GPi-ის გამომავალი გავლენის ნაწილს წყვეტს. ამ ფაქტის გასაგებად საჭიროა სიგნალის დროითი ორგანიზაციაც: როდის ჩნდება იმპულსები, ჯგუფდება თუ არა ისინი და რამდენად სინქრონულად მუშაობენ ნეირონები. ლეზიამ ან DBS-

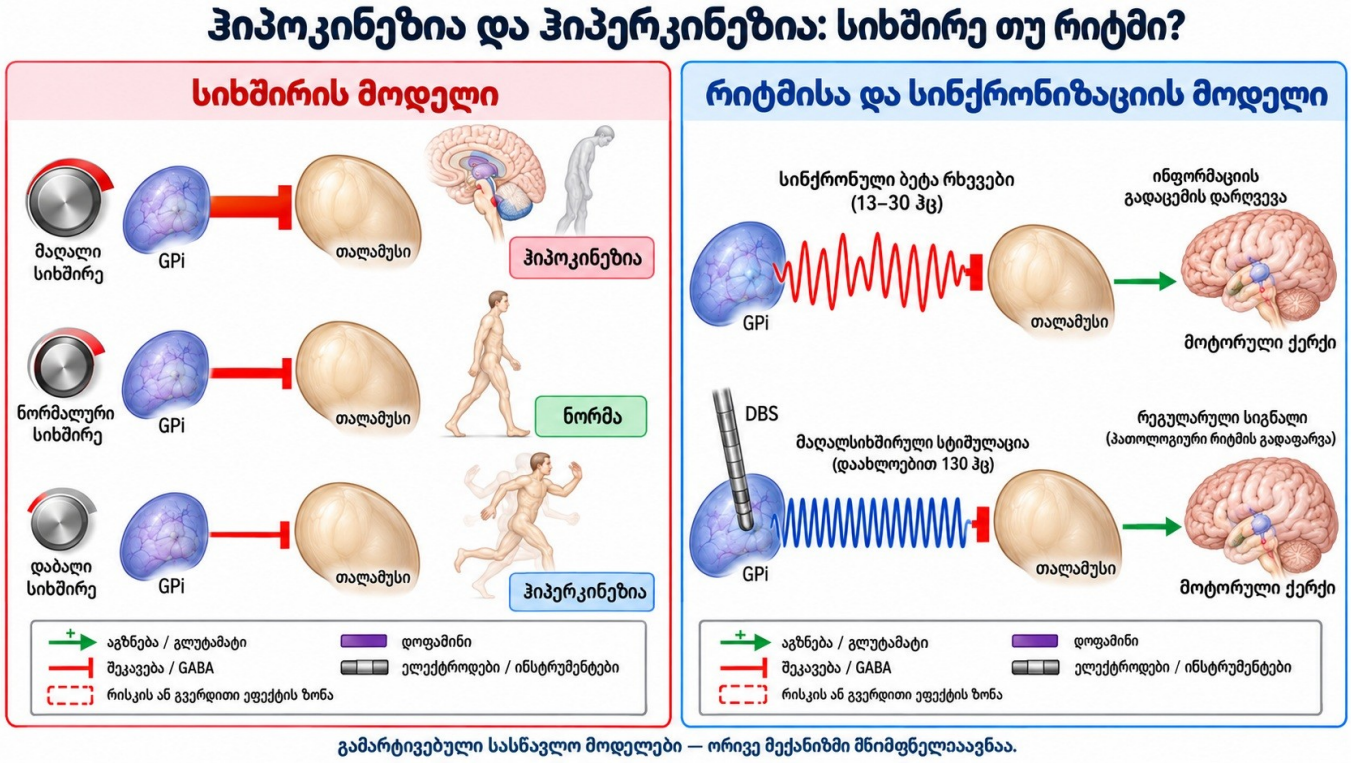
მა პათოლოგიური სიგნალის გავრცელება შეიძლება შეცვალოს; DBS-ის მოქმედება უბრალო „გამორთვით“ არ ამოიწურება.

ალეგორიული შედარება. რადიოში დამახინჯებული ხმა მხოლოდ ხმის სიძლიერის პრობლემა არ არის. ხმის დაწევა ხმაურთან ერთად სასარგებლო ინფორმაციასაც ამცირებს; გაუმჯობესებისთვის თავად სიგნალის დამახინჯების შემცირებაა საჭირო.

Nota bene მოძრაობითი დარღვევა დამოკიდებულია როგორც აქტივობის რაოდენობაზე, ისე მის რიტმსა და ქსელურ განაწილებაზე.

განმუხტვის სიხშირე რიტმი და სინქრონიზაცია

მარცხნივ — „რამდენი იმპულსი?“ გამარტივებული მოდელით, ფერმკრთალი ბირთვის შიგნითა ნაწილის (GPi) აქტივობის მატება თალამუსს მეტად აკავებს და მოძრაობას ამცირებს — ჰიპოკინეზია. შეკავების შემცირება კი ჭარბ მოძრაობას შეიძლება უწყობდეს ხელს — ჰიპერკინეზია. მარჯვნივ — „როგორი რიტმით?“ მნიშვნელოვანია იმპულსების დროში განაწილებაც. ზედმეტად სინქრონული ბეტა რხევები მოძრაობისთვის საჭირო ინფორმაციის გადაცემას აფერხებს. ტვინის ღრმა სტიმულაციის (DBS) მოქმედების ერთ-ერთი ახსნა ამ პათოლოგიური რიტმის დარღვევა და სიგნალის გადაცემის გაუმჯობესებაა.



სურათი 2.15 — განმუხტვის სიხშირე რიტმი და სინქრონიზაცია.

პარკინსონის დაავადება და ქირურგიული შერჩევა

პარკინსონის დაავადება პროგრესირებადი ნეიროდეგენერაციული დაავადებაა. მოძრაობითი ნიშნები მჭიდროდ უკავშირდება შავი ნივთიერების კომპაქტური ნაწილის დოფამინერგული უჯრედების დაკარგვასა და სტრიატუმში დოფამინის შემცირებას. ხშირია

ალფა-სინუკლეინთან დაკავშირებული ლევის პათოლოგია, თუმცა ყველა გენეტიკური ფორმა ერთნაირი არ არის. დაავადება ასევე მოიცავს ძილის, ყნოსვის, განწყობის, ვეგეტატიური და შემეცნებითი ფუნქციების ცვლილებებს. პარკინსონიზმი კლინიკური სინდრომია: ბრადიკინეზია რიგიდობასთან ან მოსვენების ტრემორთან ერთად. იგი პარკინსონის დაავადების სინონიმი არ არის. დოფამინის დეფიციტისას იცვლება პირდაპირი და არაპირდაპირი გზების რეგულაცია, გამომავალი სიგნალის რიტმი და თალამოკორტიკულ ქსელში ინფორმაციის გადაცემა. ამიტომ ადამიანს მოძრაობის დაწყება და სათანადო მასშტაბით შესრულება უჭირს.

ლევოდოპაზე კარგი პასუხი DBS-ის მოსალოდნელი მოტორული სარგებლის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია. მოგვიანებით ეფექტის მერყეობა და დისკინეზია მოწინავე თერაპიის განხილვას საჭიროებს. გადაწყვეტილება დიაგნოზს, კოგნიციას, ფსიქიკურ მდგომარეობას, თანმხლებ დაავადებებსა და პაციენტის მიზნებს აერთიანებს.

ალეგორიული შედარება. თუ მოძრაობის პროგრამა არსებობს, მაგრამ მისი ჩართვა და მასშტაბირება ფერხდება, პრობლემა ბრძანების შერჩევაშია და არა აუცილებლად კუნთის ძალაში.

Nota bene DBS სიმპტომებს მართავს; დიაგნოზის დაზუსტება და რეალისტური მიზანი შერჩევის საფუძველია.

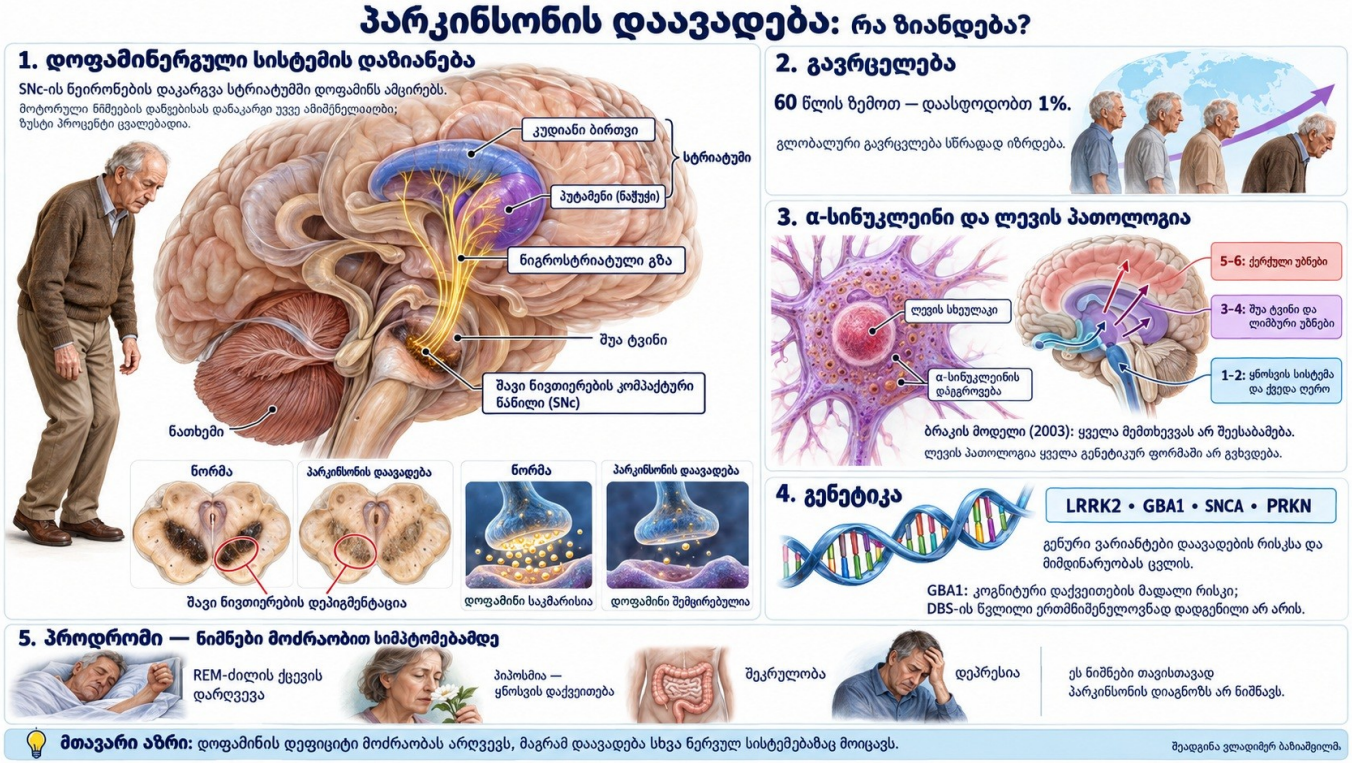
პარკინსონის დაავადება და ნიგროსტრიატული დაზიანება

პარკინსონის დაავადება: რა ზიანდება?

პარკინსონის დაავადება პროგრესირებადი ნეიროდეგენერაციული დაავადებაა. SNc-ის დოფამინერგული ნეირონების დაკარგვა სტრიატუმში დოფამინის მიწოდებას ამცირებს; დაავადება სხვა სისტემებსაც მოიცავს. ხშირია α-სინუკლეინთან დაკავშირებული ლევის პათოლოგია, თუმცა ყველა გენეტიკური ფორმა ერთნაირი არ არის. ბრაკის სტადიები გავრცელების ერთ მოდელს აღწერს და ყველა პაციენტში სავალდებულო თანმიმდევრობა არ არის.

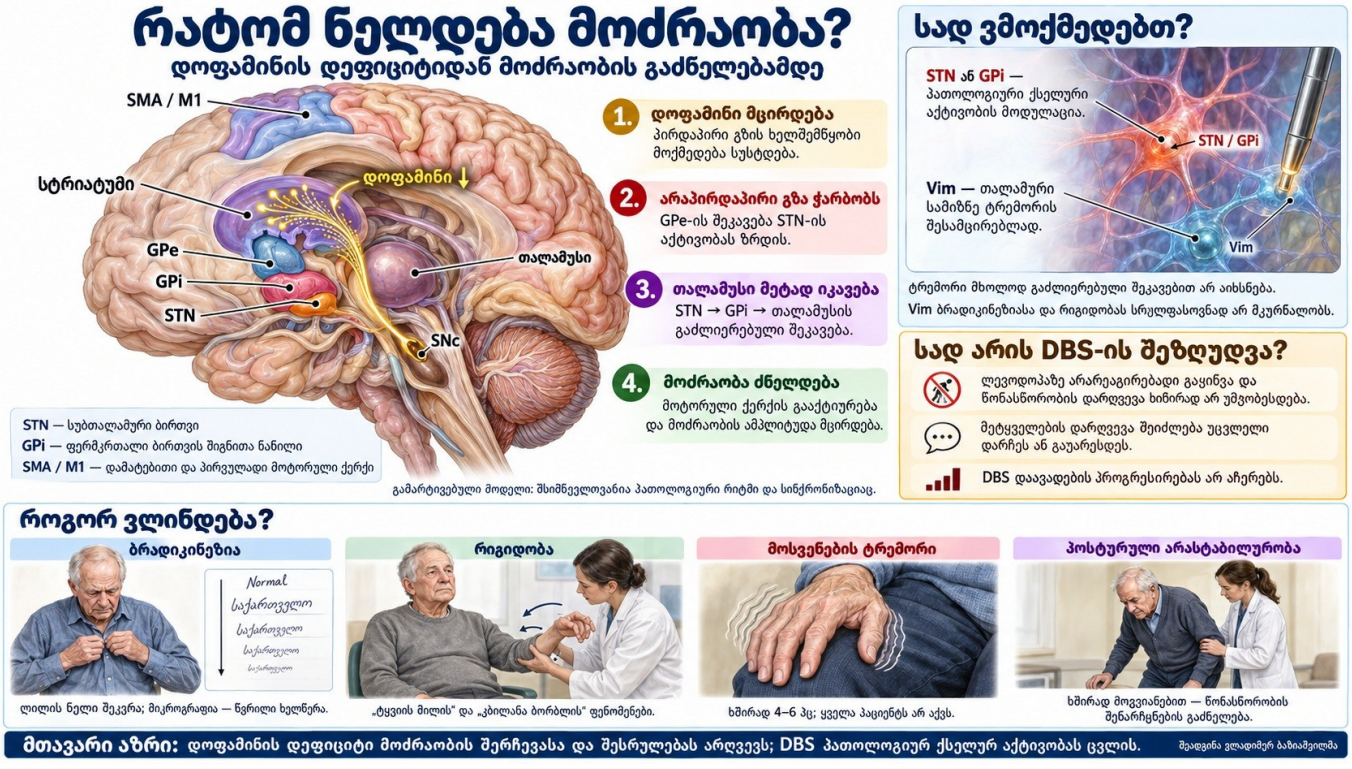
ეპიდემიოლოგია, გენეტიკა და პროდრომი

60 წლის ზემოთ გავრცელება დაახლოებით 1%-ია, თუმცა ასაკისა და პოპულაციის მიხედვით იცვლება. სიმპტომების დაწყებამდე მნიშვნელოვანი ნიგროსტრიატული დანაკარგი არსებობს; ხშირად მოყვანილი „ნეირონების ნახევარზე მეტი“ და „დოფამინის 70–80%“ საორიენტაციო შეფასებებია და არა ინდივიდუალური დიაგნოსტიკური ზღვარი. LRRK2, GBA1, SNCA და PRKN სხვადასხვა რისკსა და ფენოტიპს უკავშირდება. GBA1-თან დაკავშირებული კოგნიტური რისკი DBS-ის შერჩევაში გასათვალისწინებელია, მაგრამ გადაწყვეტილებას მხოლოდ გენოტიპი არ განსაზღვრავს. REM-ძილის ქცევითი დარღვევა, ჰიპოსმია, შეკრულობა და დეპრესია შეიძლება მოტორულ ნიშნებს უსწრებდეს; ცალ-ცალკე ისინი პარკინსონის დიაგნოზს არ ადასტურებს.



სურათი 2.16 — პარკინსონის დაავადება და ნიგროსტრიატული დაზიანება.

რატომ ნელდება მოძრაობა



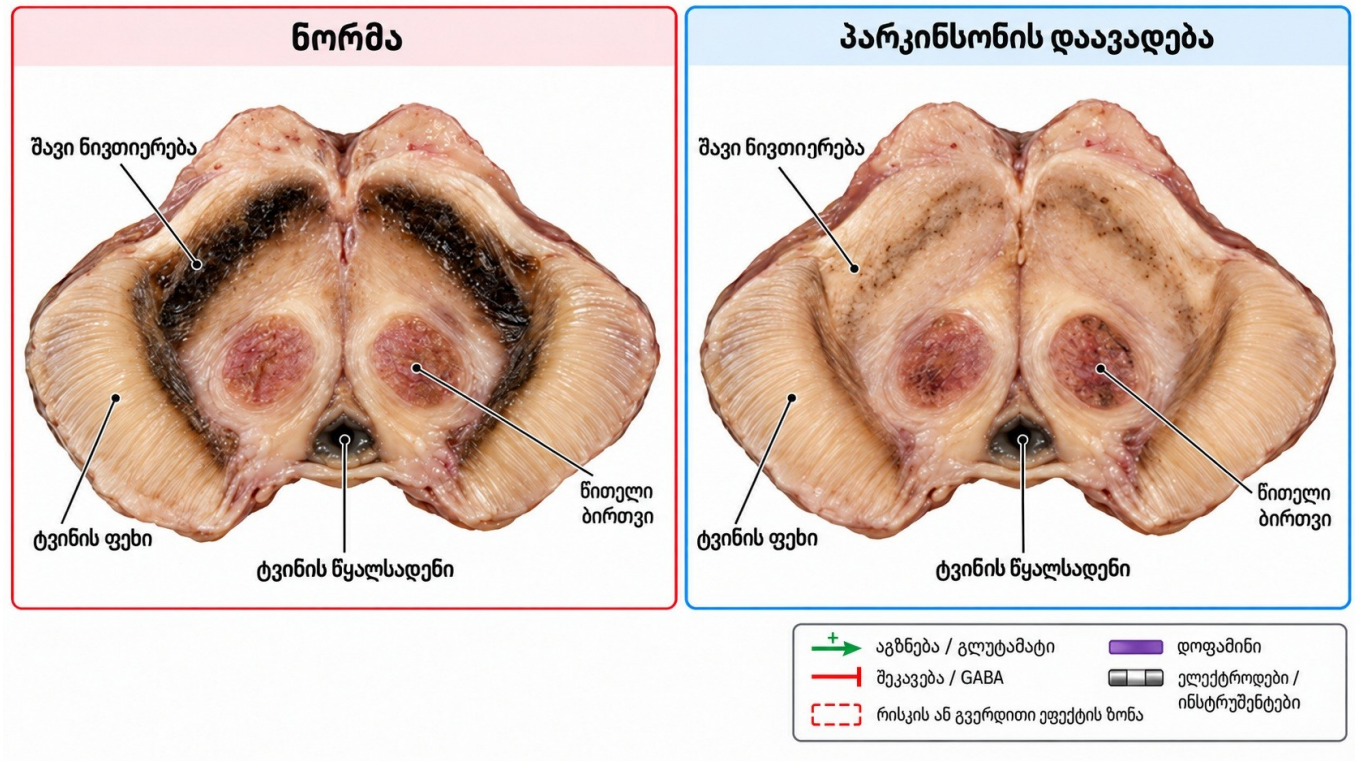
სურათი 2.17 — რატომ ნელდება მოძრაობა.

რატომ ნელდება მოძრაობა?

დოფამინის დეფიციტისას პირდაპირი გზის ხელშემწყობი მოქმედება სუსტდება და არაპირდაპირი გზის რეგულაცია იცვლება. კლასიკური მოდელით, STN-ისა და GPi-ის გავლენა თალამუსზე შემაკავებელ მიმართულებას იღებს. ამასთან, ქსელში იცვლება რიტმი და სინქრონიზაცია, რის გამოც თალამოკორტიკული სისტემა მოძრაობის მოქნილ მართვას ვეღარ უზრუნველყოფს. შედეგი ყოველდღიურ მოქმედებებში ჩანს: ღილის შეკვრა ნელდება, წერა პატარავდება — ვითარდება მიკროგრაფია. რიგიდობა პასიური მოძრაობისას წინააღმდეგობით ვლინდება და შეიძლება „ტყვიის მილის“ ან „კბილანა ბორბლის“ ფენომენს ჰგავდეს. მოსვენების ტრემორი ხშირად 4–6 ჰც სიხშირისაა; მოგვიანებით შესაძლოა პოსტურული არასტაბილურობაც განვითარდეს. ამ ნიშნებს მთლიანად ერთი მარტივი წრე ვერ ხსნის.

STN-სა და GPi-ზე ჩარევა პათოლოგიური მოტორული ქსელის აქტივობის შეცვლას ემსახურება. ტრემორისთვის Vim-იც მნიშვნელოვანი სამიზნეა, რადგან ნათხემ–თალამურ კავშირებში მონაწილეობს. ლევოდოპაზე არარეაგირებადი მეტყველება, სიარულის გაყინვა და წონასწორობის დარღვევა ხშირად ნაკლებად უმჯობესდება; ზოგჯერ სტიმულაციამ ისინი შეიძლება გააუარესოს. ღილის შეკვრის მაგალითში ადამიანს შეიძლება ზუსტად ესმოდეს, რა უნდა გააკეთოს, მაგრამ თითების მოძრაობა ნელი და მცირე ამპლიტუდის იყოს. მთავარი პრობლემა ამ შემთხვევაში მხოლოდ ბრძანების გამტარ გზაში არ არის — დარღვეულია მოძრაობის მასშტაბისა და შესრულების რეგულაცია.

შავი ნივთიერების პიგმენტაციის ცვლილების სასწავლო ნახატი



სურათი 2.18 — შავი ნივთიერების პიგმენტაციის ცვლილების სასწავლო ნახატი.

მედიკამენტური მკურნალობა და მოტორული გართულებები

პარკინსონის დაავადების მედიკამენტური მკურნალობა მოიცავს ლევოდოპა/კარბიდოპას, დოფამინის აგონისტებს, MAO-B და COMT ინჰიბიტორებსა და ამანტადინს. პირველ წლებში ეფექტი ხშირად შედარებით სტაბილურია; ამ პერიოდს ხატოვნად „თაფლობის თვეს“ უწოდებენ. დროთა განმავლობაში ერთი დოზის მოქმედება შეიძლება შემდეგ მიღებამდე შესუსტდეს — ეს wearing-off, ანუ დოზის ეფექტის ამოწურვაა. ON–OFF ფლუქტუაციებისას კარგი მოძრაობის პერიოდებს გაძნელებული მოძრაობის პერიოდები ენაცვლება. დოზის მაქსიმალური ეფექტის დროს შესაძლოა უნებლიე მოძრაობები, პიკ-დოზის დისკინეზიები განვითარდეს. სალექციო შეფასება — დაახლოებით ნახევარი პაციენტი ხუთ წელიწადში — საორიენტაციოა: რისკი ასაკზე, დოზასა და დაავადების თავისებურებებზეა დამოკიდებული.

როდესაც ეს გართულებები ოპტიმიზებული მკურნალობის მიუხედავად მნიშვნელოვნად ზღუდავს ცხოვრებას, განიხილება DBS, ლევოდოპა-კარბიდოპას ენტერალური გელი (LCIG), აპომორფინის ან ფოსლევოდოპის კანქვეშა ინფუზია და შერჩეულ შემთხვევაში MRgFUS. ამ მეთოდებს განსხვავებული მიზნები და შეზღუდვები აქვს. ქირურგიული შეფასება მხოლოდ დაავადების უკიდურესად გვიან ეტაპზე არ უნდა იწყებოდეს. EARLYSTIM-ის ლოგიკა შერჩეულ პაციენტებში უკვე შემაწუხებელი მოტორული გართულებების დროულ მართვას ემყარება, სანამ მკურნალობაზე ნაკლებად რეაგირებადი ღერძული და კოგნიტური დარღვევები დომინანტური გახდება. ეს ყველასთვის ერთნაირ კალენდარულ ვადას არ გულისხმობს.

მედიკამენტური მკურნალობა და მოტორული გართულებები



სურათი 2.19 — მედიკამენტური მკურნალობა და მოტორული გართულებები.

ვინ არის DBS-ის კარგი კანდიდატი?

დიაგნოზი: სარწმუნო პარკინსონის დაავადება. ატიპიური პარკინსონიზმისას, მაგალითად MSA-სა და PSP-ის დროს, ჩვეულებრივი მოტორული DBS უმეტესად რეკომენდებული არ არის. ლევოდოპის ტესტი: OFF-დან ON-ში მკაფიო მოტორული გაუმჯობესება მნიშვნელოვანი პროგნოსტიკური ნიშანია. დაახლოებით 30%-იანი ზღვარი ხშირად გამოიყენებოდა ტრადიციული UPDRS-III-ით; MDS-UPDRS-III-ის ზღვარი და ტესტის პირობები ცენტრის პროტოკოლზეა დამოკიდებული. მედიკამენტრეზისტენტული ტრემორი შესაძლო გამონაკლისია. დიაგნოზის სარწმუნოებას დაავადების მიმდინარეობაც აძლიერებს. პრაქტიკაში ხშირად ფასდება სულ მცირე 4–5-წლიანი ისტორია, რაც ატიპიური პარკინსონიზმის ნიშნების გამოვლენას ეხმარება; ხანგრძლივობა ერთადერთი კრიტერიუმი არ არის.

მნიშვნელოვანია მნიშვნელოვანი დემენციის არარსებობა და ფსიქიკური მდგომარეობის სტაბილურობა. გუნდი აფასებს დეპრესიასა და შფოთვას, ბიოლოგიურ ასაკს, თანმხლებ დაავადებებს, MRI-ზე ატროფიასა და სისხლძარღვოვან ცვლილებებს. საბოლოო არჩევანი ნევროლოგის, ნეიროქირურგისა და შესაბამისი სპეციალისტების ერთობლივ შეფასებასა და რეალისტურ მოლოდინს ეფუძნება. ლევოდოპაზე კარგი პასუხი DBS-ის მოსალოდნელი მოტორული სარგებლის მნიშვნელოვანი ორიენტირია, თუმცა გარანტია არ არის. მედიკამენტრეზისტენტული ტრემორი გამონაკლისია და სტიმულაციაზე შეიძლება კარგად რეაგირებდეს. მკურნალობის ხშირი მიზანია კარგი ON მდგომარეობის გახანგრძლივება და მერყეობის შემცირება; საუკეთესო ON-ზე უკეთესი შედეგის დაპირება გამართლებული არ არის.

DBS კანდიდატის შეფასება



სურათი 2.20 — DBS კანდიდატის შეფასება.

STN და GPi და ლეზიური ალტერნატივები

STN და GPi ორივე შეიძლება ეფექტური იყოს სწორად შერჩეული პარკინსონის დაავადებისას. STN ხშირად მაშინ განიხილება, როცა დოფამინერგული მედიკამენტის შემცირება მნიშვნელოვანი მიზანია. GPi-ს პირდაპირი ანტიდისკინეზიური ეფექტი აქვს და შეიძლება უპირატესობა მიენიჭოს, როცა კოგნიტური ან განწყობის რისკი განსაკუთრებით საყურადღებოა. ეს შედარებითი მოსაზრებებია და ინდივიდუალურ უსაფრთხოებას ვერ უზრუნველყოფს. სამიზნის მეზობლები ხსნის გვერდით მოვლენებს. შიგნითა კაფსულის სტიმულაციამ კუნთის შეკუმშვა შეიძლება გამოიწვიოს; მგრძნობიარე გზის ჩართვამ — პარესთეზია; GPi-ის ქვემოთ მდებარე მხედველობის ტრაქტის სტიმულაციამ — სინათლის ციმციმი. MRI და ფიზიოლოგიური შემოწმება სასურველ ეფექტსა და გვერდითი მოვლენის ზღურბლს შორის სამუშაო დიაპაზონს ადგენს.

ლეზიური მეთოდი შერჩეულ შემთხვევაში ალტერნატივაა. პალიდოტომია, სუბთალამოტომია და Vim-თალამოტომია სხვადასხვა კომპონენტზე მოქმედებს. მათი შეუქცევადობა განსაკუთრებით ორმხრივი ჩარევისას მოითხოვს ფრთხილ შეფასებას. ლევოდოპაზე არამოპასუხე მეტყველება, გაყინვა და წონასწორობა ხშირად ნაკლებად უმჯობესდება.

ალეგორიული შედარება. თერაპიული ფანჯარა იმ ხმის დონეს ჰგავს, სადაც საუბარი კარგად ისმის, მაგრამ დამახინჯება ჯერ არ იწყება.

Nota bene სამიზნის არჩევანი მოიცავს სასურველ სარგებელს, მეზობელ სტრუქტურებსა და კონკრეტული პაციენტის რისკს.

STN თუ GPi?

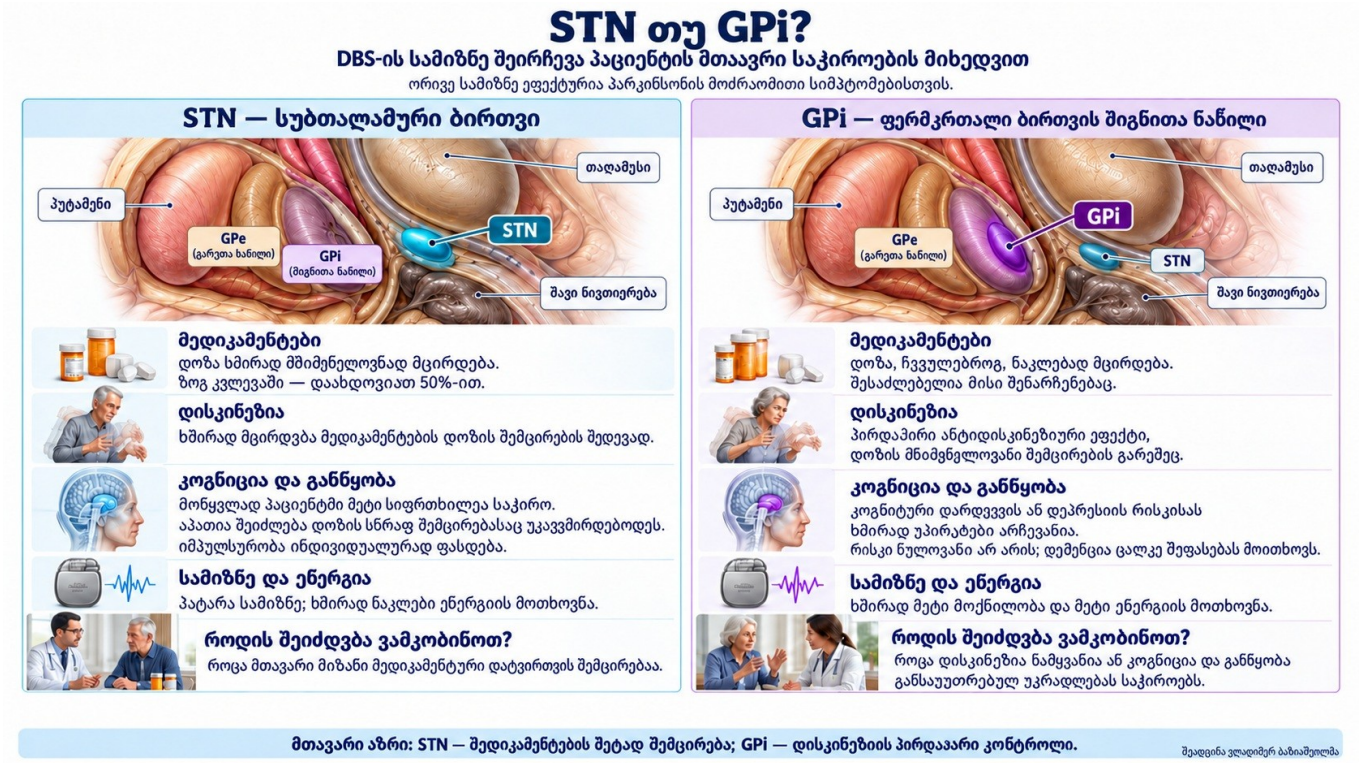
ცხრილი 2.3 — STN თუ GPi?

საკითხი	STN	GPi
მედიკამენტები	ხშირად მეტად მცირდება; დაახლოებით 50% მხოლოდ საორიენტაციოა	ხშირად ნაკლებად მცირდება
დისკინეზია	მნიშვნელოვანი სარგებელი, ნაწილობრივ დოზის შემცირებით	უშუალო ანტიდისკინეზიური ეფექტი
სამიზნე და ენერგია	მცირე სამიზნე; ხშირად ნაკლები ენერგომოხმარება	უფრო დიდი სამიზნე; ხშირად მეტი ენერგომოხმარება
კოგნიცია და განწყობა	კოგნიტური და ფსიქიატრიული მოწყვლადობა განსაკუთრებით გასათვალისწინებელია	შესაბამისი რისკისას შეიძლება უპირატესი იყოს; რისკი ნულოვანი არ არის
შერჩევა და პროგრამირება	ფართოდ გამოიყენება; არჩევანი ინდივიდუალურია	ხშირად სასარგებლოა მძიმე დისკინეზიის ან კოგნიტური მოწყვლადობისას; პროგრამირება მოქნილია

რანდომიზებულმა კვლევებმა (ფოლეტი, NEJM 2010; NSTAPS) აჩვენა, რომ მოტორული ეფექტი მსგავსია. არჩევანი ინდივიდუალურია და მეტწილად გვერდით მოვლენებსა და პაციენტის პროფილს ეფუძნება.

დაზუსტება. STN და GPi საშუალოდ მსგავს მოტორულ სარგებელს იძლევა. STN ხშირად მედიკამენტის მეტად შემცირებას უწყობს ხელს, GPi კი დისკინეზიაზე უშუალო გავლენით გამოირჩევა. კოგნიტური ან დეპრესიული რისკისას GPi შეიძლება უპირატესი იყოს, მაგრამ არც ერთი სამიზნე ამ რისკს სრულად არ გამორიცხავს. „50%“ ინდივიდუალური დაპირება არ არის. [დამატებითი წყარო: CNS, 2018.]

STN და GPi სამიზნეების შედარება



სურათი 2.21 — STN და GPi სამიზნეების შედარება.

STN: ანატომია, დამიზნება, ფიზიოლოგია

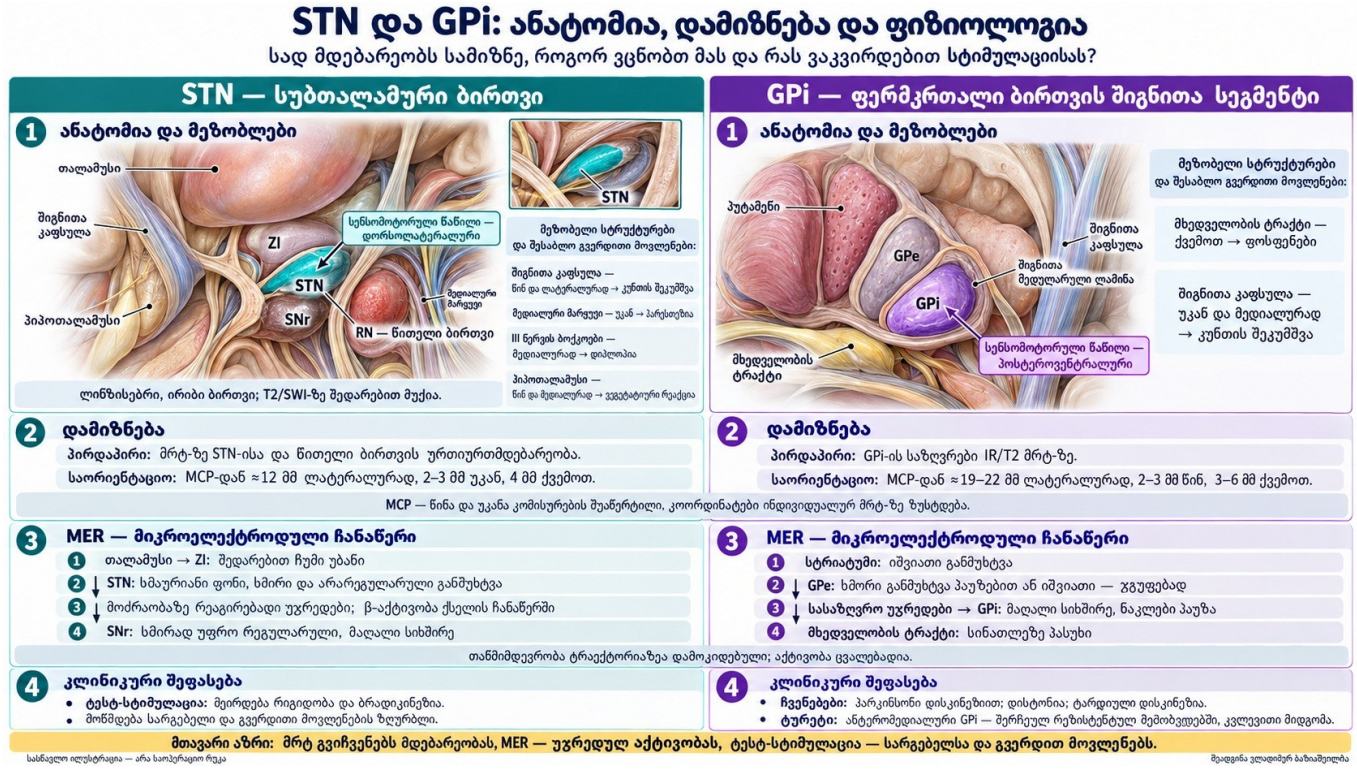
STN მცირე, ირიბად მდებარე, ლინზისებრი ბირთვია, რომელიც T2/SWI გამოსახულებაზე შედარებით დაბალი სიგნალით ჩანს. მოტორული სამიზნე უმეტესად მისი დორსოლატერალური ნაწილია. მეზობელი კავშირები გვერდით მოვლენებს ხსნის: ლატერალურად შიგნითა კაფსულის ჩართვამ შეიძლება კუნთების შეკუმშვა გამოიწვიოს, მგრძნობიარე გზებზე გავრცელებამ — პარესთეზია, თვალის მამოძრავებელ ბოჭკოებზე ზემოქმედებამ — დიპლოპია, ჰიპოთალამურ მიდამოზე გავრცელებამ კი ვეგეტატიური ცვლილებები. პირდაპირი დამიზნება ინდივიდუალურ MRI-სა და წითელი ბირთვის მიმართ მდებარეობას ეყრდნობა. კლასიკური არაპირდაპირი ორიენტირია შუაკომისურული წერტილიდან (MCP) დაახლოებით 12 მმ ლატერალურად, 2–3 მმ უკან და 4 მმ ქვემოთ. ეს მნიშვნელობები საწყისი ორიენტირებია და პაციენტის რეალურ ანატომიას ვერ ცვლის.

მიკროელექტროდული ჩანაწერისას ტრაექტორიაზე შეიძლება თანმიმდევრულად გამოჩნდეს თალამური აქტივობა, შედარებით ჩუმი zona incerta, STN-ის ხშირი და არარეგულარული აქტივობა და უფრო ღრმად SNr-ის მაღალი, რეგულარული განმუხტვა. STN-ში შეიძლება ბეტა-რხევები და მოძრაობაზე მგრძნობიარე უჯრედებიც აღირიცხოს. ტესტ-სტიმულაცია აფასებს რიგიდობისა და ბრადიკინეზიის ცვლილებას და იმ ზღვარს, რომელზეც გვერდითი მოვლენები იწყება.

დაზუსტება. ატლასური მილიმეტრები დამიზნების საწყისი ორიენტირებია. მეზობელ კაფსულასთან, მგრძნობიარე გზებსა და თვალის მამოძრავებელ ბოჭკოებთან

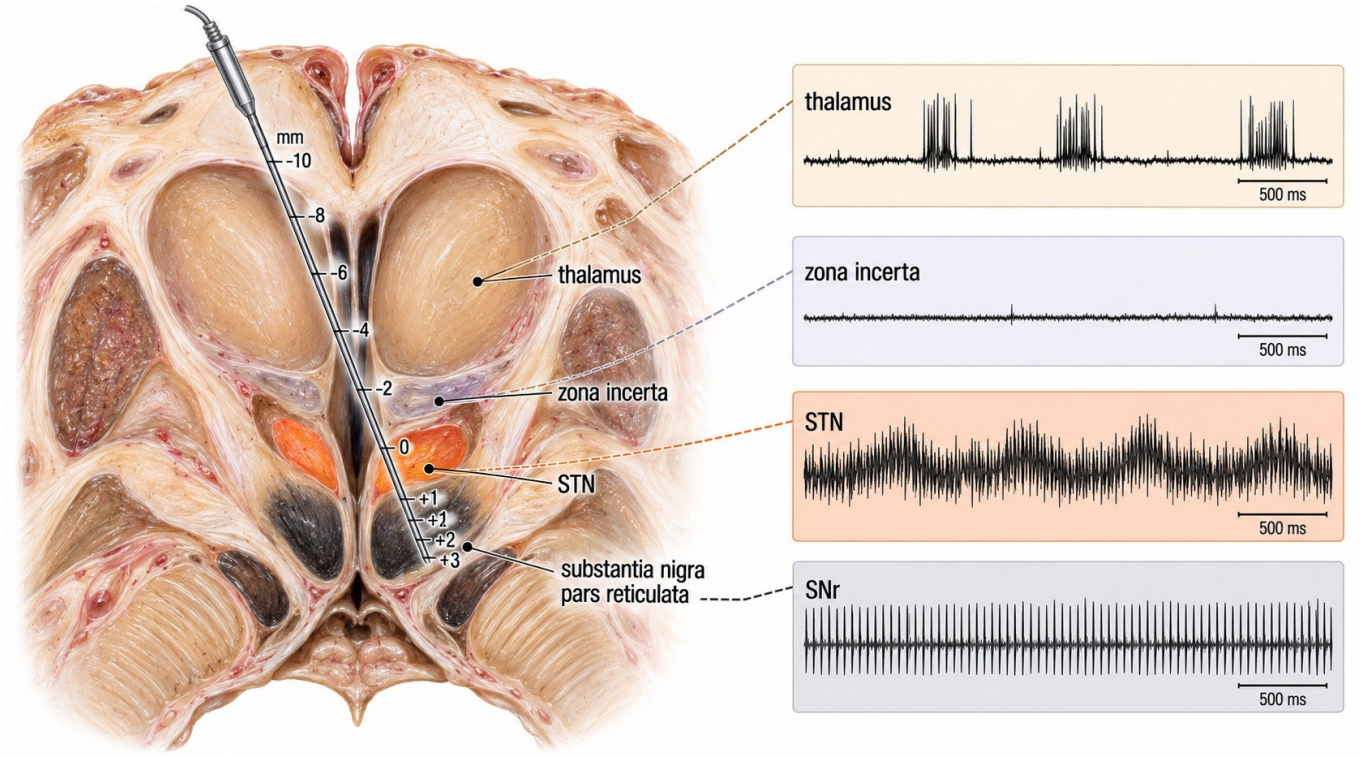
დამოკიდებულება ინდივიდუალურ ჭრილებსა და ტრაექტორიაზე უნდა შეფასდეს; ისინი ყველა დონეზე ერთსა და იმავე სიბრტყეში არ მდებარეობს.

STN და GPi ანატომია დამიზნება და ფიზიოლოგია



სურათი 2.22 — STN და GPi ანატომია დამიზნება და ფიზიოლოგია.

მიკროელექტროდული ჩანაწერის ცვლილება ტრაექტორიის გასწვრივ



სურათი 2.23 — მიკროელექტროდული ჩანაწერის ცვლილება ტრაექტორიის გასწვრივ.

GPi: ანატომია, დამიზნება, ფიზიოლოგია

GPi-ის მოტორული სამიზნე პოსტეროვენტრალურ ნაწილში მდებარეობს. მას GPe-სგან შიგნითა მედულარული ლამინა გამოყოფს. ქვემოთ მხედველობის ტრაქტია, რომლის სტიმულაციამ ფოსფენები — სინათლის ციმციმის განცდა — შეიძლება წარმოქმნას; უკან და მედიალურად შიგნითა კაფსულაზე გავრცელებამ კუნთების შეკუმშვა შეიძლება გამოიწვიოს. არაპირდაპირი საორიენტაციო კოორდინატებია MCP-დან დაახლოებით 19–22 მმ ლატერალურად, 2–3 მმ წინ და 3–6 მმ ქვემოთ. უშუალო დამიზნება IR/T2 გამოსახულებაზე ხილულ საზღვრებს იყენებს. მიზანია ფუნქციური სამიზნისა და მეზობელი გზების ინდივიდუალური ურთიერთობის გათვალისწინება. MER: სტრიატუმის შედარებით იშვიათ განმუხტვას მოსდევს GPe, სადაც გვხვდება მაღალი სიხშირის პაუზებიანი და დაბალი სიხშირის ჯგუფური აქტივობა; შემდეგ — სასაზღვრო უჯრედები და GPi-ის მაღალი, შედარებით მუდმივი სიხშირე. ქვემოთ მხედველობის ტრაქტის სინათლეზე პასუხი ორიენტირს ქმნის. ჩანაწერი ტრაექტორიასა და კლინიკურ პირობებზეა დამოკიდებული.

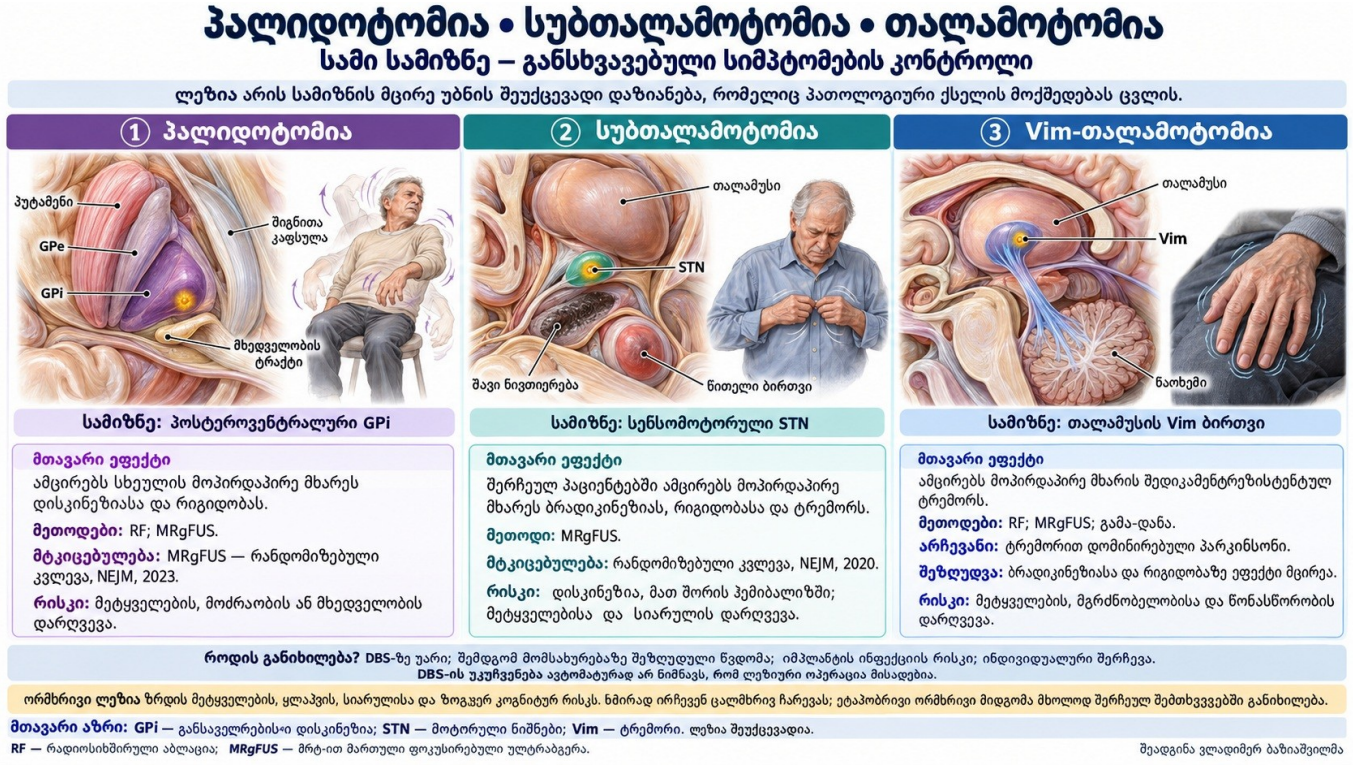
GPi პარკინსონის დაავადების, განსაკუთრებით დისკინეზიის, დისტონიისა და შერჩეული მძიმე ტარდიული მოძრაობების სამიზნეა. ტურეტის სინდრომის კვლევებსა და სპეციალიზებულ გამოყენებაში ანტერომედიალური ნაწილი განიხილება. მხედველობის ტრაქტის სინათლეზე პასუხი GPi-ის ქვედა საზღვრის დამატებითი ფიზიოლოგიური ორიენტირია.

პალიდოტომია, სუბთალამოტომია, თალამოტომია

ლეზიური ოპერაცია შეიძლება განიხილებოდეს, როდესაც DBS შეუსაბამოა, პაციენტი მას არ ირჩევს ან მოწყობილობის ხანგრძლივი მომსახურება მიუწვდომელია. ინფექციის რისკი და სხვა თანმხლები გარემოებები ორივე ტიპის ჩარევისთვის ინდივიდუალურად ფასდება. ცალმხრივი პოსტეროვენტრალური პალიდოტომია განსაკუთრებით სხეულის საპირისპირო მხარის დისკინეზიასა და რიგიდობაზე მოქმედებს; MRgFUS-პალიდოტომიის რანდომიზებული კვლევა NEJM-ში 2023 წელს გამოქვეყნდა. MRgFUS-სუბთალამოტომიის 2020 წლის კვლევამაც აჩვენა შერჩეულ პაციენტებში სარგებელი, თუმცა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რისკი ჰემიბალიზმია.

Vim-თალამოტომია ძირითადად ტრემორზე მოქმედებს და შეიძლება RF-ით, MRgFUS-ით ან რადიოქირურგიით შესრულდეს. ორმხრივი დაზიანება მეტყველების, წონასწორობისა და სხვა ფუნქციების რისკს ზრდის; ამიტომ მოცულობა, ცალმხრივი თუ ეტაპობრივი მიდგომა მეთოდისა და პაციენტის მიხედვით განისაზღვრება. ლეზია შეუქცევადია, მაგრამ იმპლანტის პროგრამირებასა და ბატარეის შეცვლას არ მოითხოვს.

პალიდოტომია სუბთალამოტომია და თალამოტომია



სურათი 2.24 — პალიდოტომია სუბთალამოტომია და თალამოტომია.

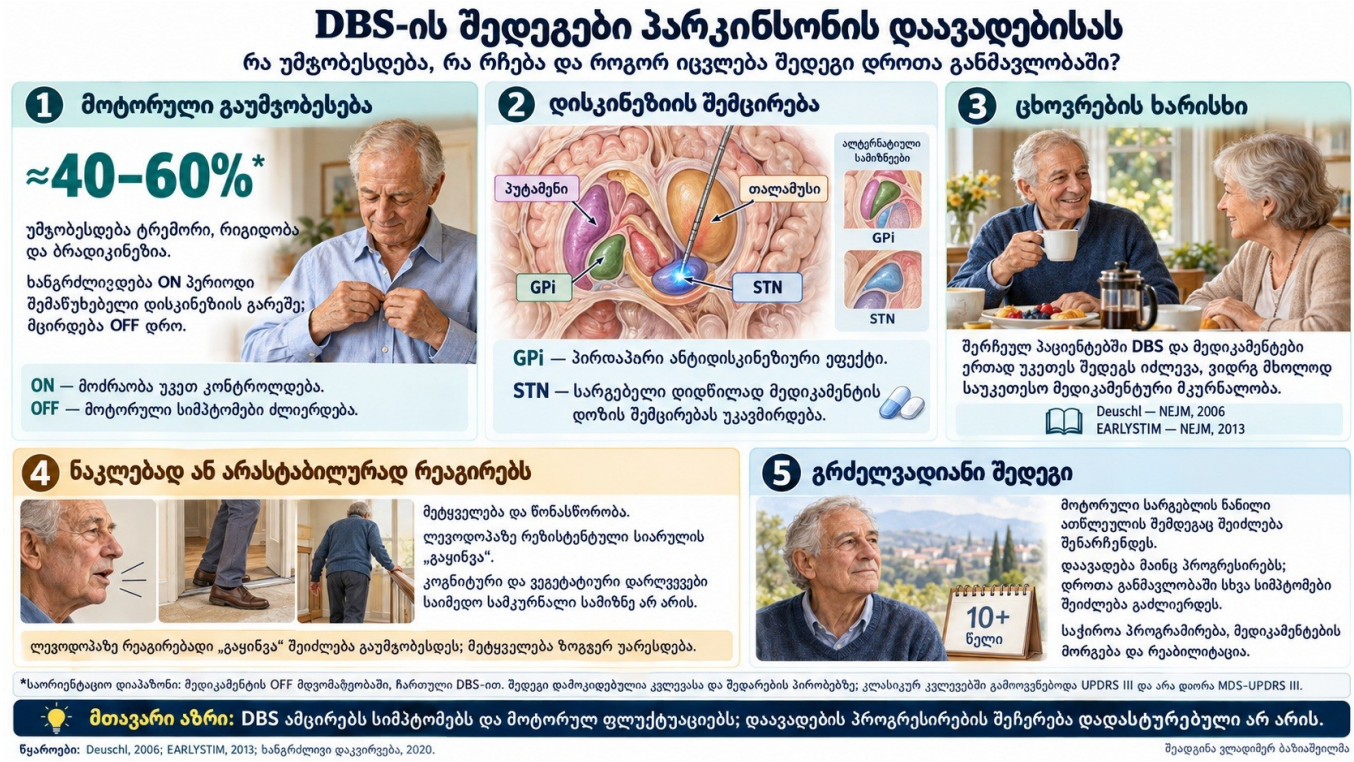
DBS-ის შედეგები პარკინსონის დაავადებისას

სწორად შერჩეულ პარკინსონის დაავადების მქონე პაციენტებში DBS-ის შემდეგ OFF მდგომარეობის მოტორული შეფასება ხშირად დაახლოებით 40–60%-ით უმჯობესდება და კარგი ON პერიოდი ხანგრძლივდება. ეს ჯგუფური საორიენტაციო მაჩვენებელია; გამოყენებული სკალა, საწყისი მდგომარეობა და დაკვირვების დრო შედეგის

შედარებისთვის აუცილებელია. დისკინეზიის შემცირება GPi-ის შემთხვევაში მნიშვნელოვანწილად უშუალო ეფექტს უკავშირდება, STN-ის შემთხვევაში კი ხშირად მედიკამენტის დოზის შემცირებაც მონაწილეობს. დოიშლის 2006 წლის და EARLYSTIM-ის 2013 წლის კვლევებმა შესაბამის შერჩეულ ჯგუფებში ცხოვრების ხარისხის გაუმჯობესება აჩვენა საუკეთესო მედიკამენტურ მართვასთან შედარებით.

მეტყველება, ლევოდოპაზე არარეაგირებადი გაყინვა და წონასწორობა, კოგნიცია და ვეგეტატიური დარღვევები ნაკლებად პროგნოზირებადი სამიზნეებია. DBS სიმპტომურია და დაავადების პროგრესირებას არ აჩერებს; ხანგრძლივი მოტორული სარგებელი ზოგ პაციენტში ათწლეულის შემდეგაც ნაწილობრივ რჩება. მკურნალობის არსია დღის უფრო დიდი ნაწილის უკეთეს ფუნქციურ მდგომარეობაში გატარება.

DBS-ის შედეგები პარკინსონის დაავადებისას



სურათი 2.25 — DBS-ის შედეგები პარკინსონის დაავადებისას.

ტრემორი და ნათხემ თალამური სამიზნეები

ტრემორი სხეულის ნაწილის უნებლიე რიტმული რხევაა. მოსვენების ტრემორი მოდუნებულ და დაყრდნობილ კიდურში ჩანს. მოქმედებითი ტრემორი პოზის შენარჩუნებისას ან მოძრაობისას ვლინდება; ინტენციური კომპონენტის ამპლიტუდა მიზანთან მიახლოებისას იზრდება. ესენციური ტრემორის სინდრომი, კონსენსუსის მიხედვით, მოიცავს ზედა კიდურების ორმხრივ მოქმედებით ტრემორს სულ მცირე სამი წლის განმავლობაში და სხვა მკაფიო ნევროლოგიური ნიშნების არყოფნას. ესენციურ ტრემორში მნიშვნელოვანია ნათხემ–თალამუს–ქერქის ქსელი. პურკინიეს უჯრედებისა და შემაკავებელი სიგნალიზაციის ცვლილებები შესწავლილია, მაგრამ ერთი უნივერსალური ოსცილატორი დადგენილი არ

არის. Vim და PSA/cZI-ში გამავალი დენტატო-რუბრო-თალამური ბოჭკოები ქსელზე ზემოქმედების შესაძლო სამიზნეებია.

როდესაც ტრემორი ფუნქციას მნიშვნელოვნად ზღუდავს და ადეკვატურ მედიკამენტურ მკურნალობას არ პასუხობს, განიხილება DBS ან ლეზიური მეთოდი. DBS რეგულირებადია და მოწყობილობის მომსახურებას მოითხოვს. MRgFUS კანის გაკვეთის გარეშე ქმნის შეუქცევად ლეზიას. RF და რადიოქირურგიას განსხვავებული წვდომა, ეფექტის ვადა და რისკები აქვს. ჰოლმსის, დისტონიური, გაფანტული სკლეროზისა და პოსტტრავმული ტრემორის შედეგები უფრო ინდივიდუალურია; ორთოსტატული ტრემორის ინვაზიური მკურნალობა იშვიათი და კვლევითია.

ალეგორიული შედარება. თუ რხევა ურთიერთდაკავშირებულ წრეში ვრცელდება, ერთ საკვანძო გადასაცემ უბანზე ზემოქმედებამ მთელი რხევა შეიძლება შეასუსტოს.

Nota bene ტრემორის ტიპი, ფუნქციური ზიანი და ქსელის თავისებურება მეთოდის არჩევას წარმართავს.

ტრემორის კლასიფიკაცია

MDS კონსენსუსი, 2018

ტრემორი სხეულის ნაწილის უნებლიე რიტმული რხევაა. I ღერძი კლინიკურ მახასიათებლებს აღწერს, II ღერძი — მიზეზს. მოსვენების ტრემორი მოდუნებულ, დაყრდნობილ კიდურში ჩანს; პარკინსონული ფორმა ხშირად 4–6 ჰც-ია. მოქმედების ტრემორი მოიცავს პოსტურულსა და კინეტიკურს; ინტენციური კომპონენტისას რხევა მიზანთან მიახლოებისას ძლიერდება.

ესენციური ტრემორი და სხვა ფორმები

ესენციური ტრემორის სინდრომი მოიცავს ზედა კიდურების ორმხრივ მოქმედების ტრემორს მინიმუმ სამი წლის განმავლობაში, სხვა მკაფიო ნევროლოგიური ნიშნების გარეშე; შეიძლება ახლდეს თავის ან ხმის ტრემორი. ET-plus დამატებით მსუბუქ, გაურკვეველი მნიშვნელობის ნიშნებს აღნიშნავს. განსხვავდება დისტონიური, ჰოლმსის, ორთოსტატული, ფუნქციური და მედიკამენტური ტრემორი. სიხშირე სასარგებლო მინიშნებაა, მაგრამ მარტო დიაგნოზს ვერ ადგენს.



სურათი 2.26 — ტრემორის კლასიფიკაცია.

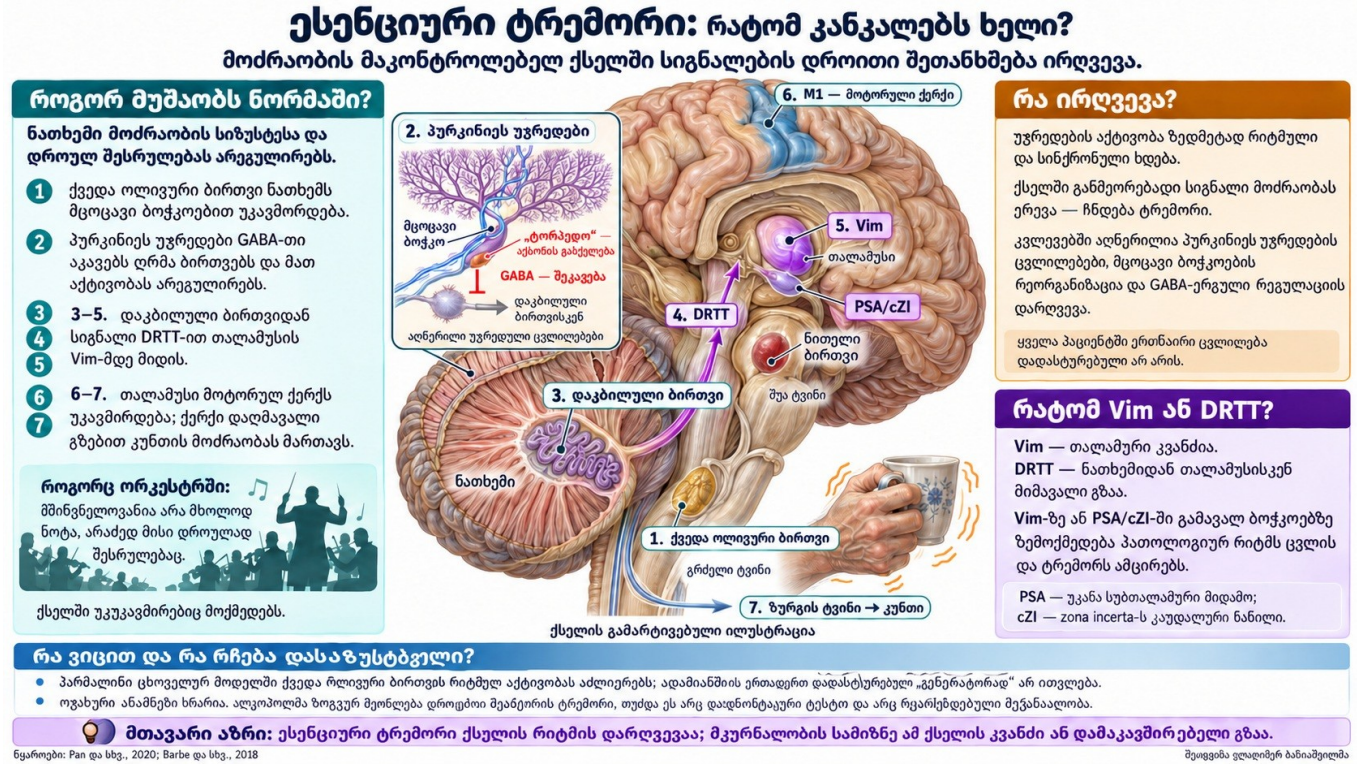
არქიმედეს სპირალის დახატვა ტრემორისა და მოძრაობის მასშტაბის შეფასების ერთ-ერთი მარტივი გზაა. ესენციური ტრემორისას ხშირად რიტმული რხევა ჩანს, პარკინსონის დაავადებისას კი ნახატი შეიძლება მცირე გახდეს. ეს ნიშნები დიაგნოზს დამოუკიდებლად ვერ ადგენს.

ესენციური ტრემორის ქსელი

ნათხემის ქერქის პურკინიეს უჯრედები ღრმა ბირთვებს აკავებს. დაკბილული ბირთვის გამოსავალი დაკბილულ–წითელბირთვოვან–თალამური გზით (DRTT) თალამუსსა და მოტორულ ქერქს უკავშირდება. ამ ქსელის პათოლოგიური რიტმი ტრემორში მონაწილეობს. ქვედა ოლივის ბირთვის მნიშვნელოვანი როლი ცხოველურ მოდელში ნაჩვენებია, მაგრამ ადამიანის ესენციური ტრემორის ერთიან მთავარ ოსცილატორად მისი მიჩნევა დადასტურებული არ არის.

მექანიზმიდან სამიზნემდე

პურკინიეს უჯრედებისა და მათი კავშირების ცვლილებები და GABA-ერგული დისფუნქცია შესწავლის საგანია; ყველა პაციენტში ერთნაირი პათოლოგია არ გვხვდება. ოჯახური ისტორია ხშირია. ალკოჰოლზე დროებითი გაუმჯობესება სპეციფიკური დიაგნოსტიკური ტესტი ან მკურნალობის რეკომენდაცია არ არის. Vim ან PSA/cZI-ის მიდამოში DRTT-ის მოდულაცია ქსელის პათოლოგიური რიტმის გავლენას ამცირებს.



სურათი 2.27 — ესენციური ტრემორის ქსელი.

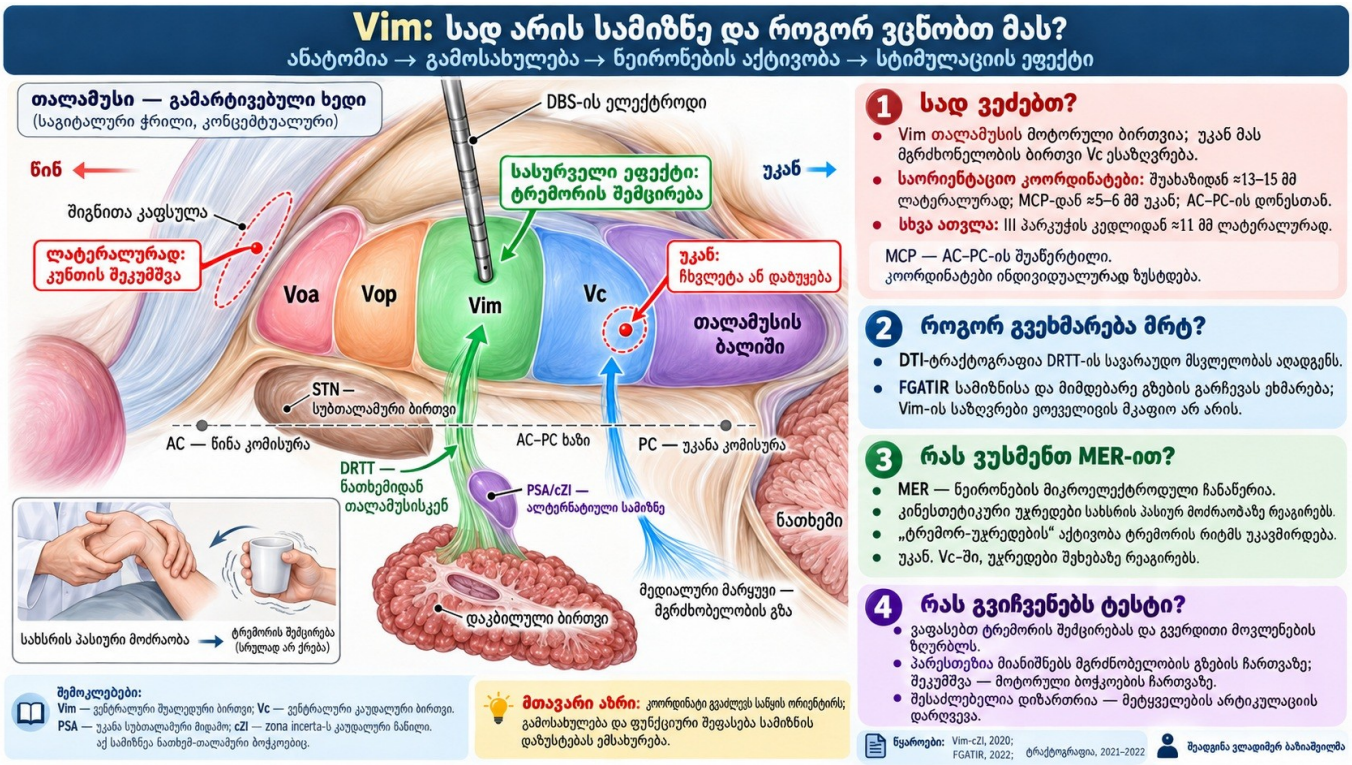
ღილის შეკვრის მაგალითი: ესენციური ტრემორისას იდეა, დაგეგმვა და სიჩქარე ნორმალურია, მაგრამ „როგორ ზუსტად“ ირღვევა. თითი ღილს უახლოვდება და მიზანთან რხევა იზრდება.

Vim: მდებარეობა და ფიზიოლოგია

Vim თალამუსის ნათხემთან დაკავშირებული მოტორული კვანძია. ისტორიული არაპირდაპირი ორიენტირია MCP-დან დაახლოებით 11–14 მმ ლატერალურად, 5–6 მმ უკან და AC–PC სიბრტყესთან ახლოს; III პარკუჭის კედლიდან დათვლა სხვა საწყისი სისტემაა და ამ რიცხვებს პირდაპირ ვერ გავუთანაბრებთ. ეს საორიენტაციო ატლასური მონაცემებია — ინდივიდუალური სამიზნე MRI-ითა და კლინიკურ-ფიზიოლოგიური შეფასებით განისაზღვრება.

რას გვიჩვენებს ჩანაწერი და სტიმულაცია?

DTI-ტრაქტოგრაფია DRTT-ის მდებარეობის შეფასებას ეხმარება; ზოგი ცენტრი სპეციალურ MRI-თანმიმდევრობებსაც იყენებს. MER-ზე გვხვდება სახსრის მოძრაობაზე რეაგირებადი და ტრემორის რიტმთან დაკავშირებული უჯრედები. უკან Vc-ის სტიმულაციამ შეიძლება პარესთეზია გამოიწვიოს, ლატერალურად კაფსულის ჩართვამ — კუნთის შეკუმშვა; შესაძლებელია დიზართრიაც. ალტერნატიული PSA/cZI სამიზნე თალამუსის ქვემოთ მდებარე ბოჭკოებს მოიცავს.



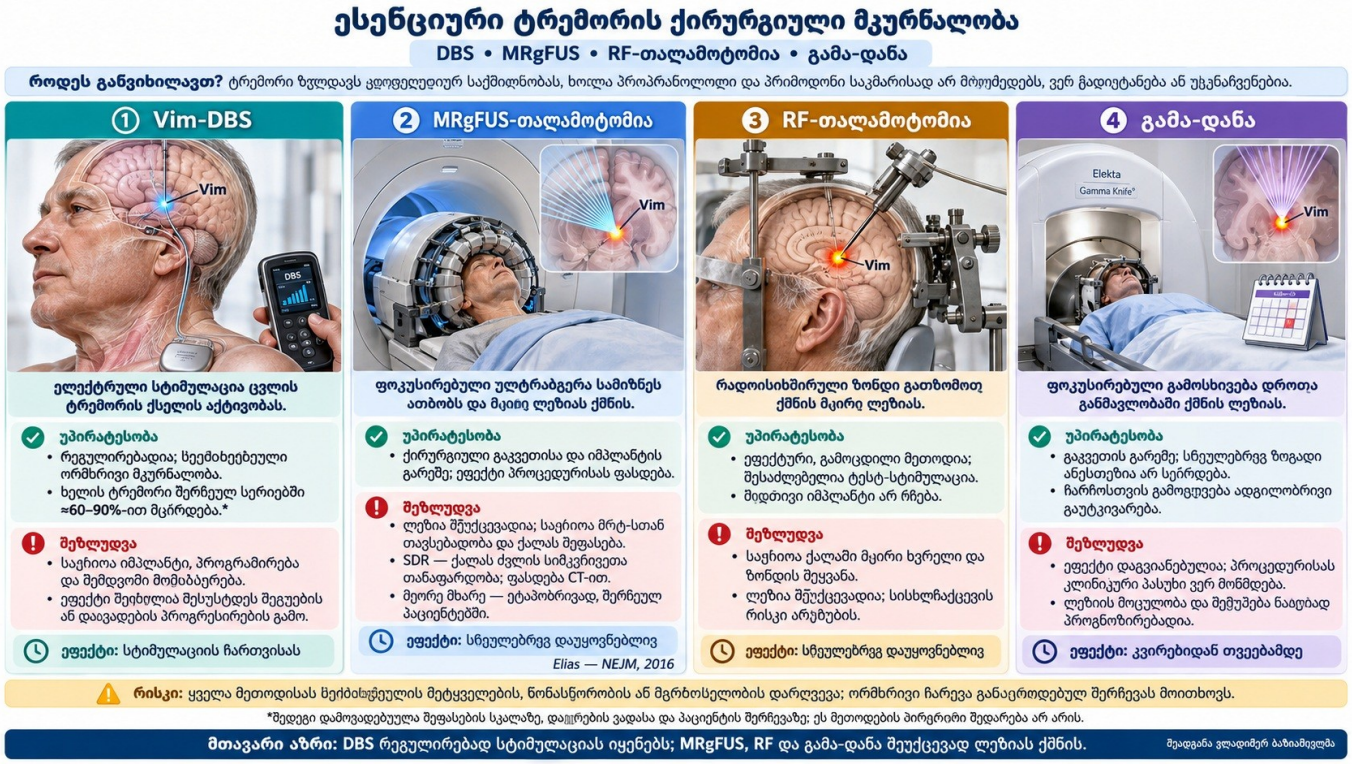
სურათი 2.28 — Vim და დაკავშირებული გზები.

ტრემორის ქირურგიული მკურნალობა

ოპერაცია განიხილება ყოველდღიური ფუნქციის შემზღუდველი, სათანადო მედიკამენტებისადმი რეზისტენტული ტრემორისას. ესენციური ტრემორის პირველი არჩევანის წამლები ხშირად პროპრანოლოლი და პრიმიდონია. Vim-DBS რეგულირებადია და ორმხრივი მკურნალობაც შესაძლებელია; კვლევებში აღწერილი დაახლოებით 60–90%-იანი შემცირება სკალაზე, დროზე და პაციენტთა შერჩევაზეა დამოკიდებული.

ლეზიური ალტერნატივები

MRgFUS ქმნის თერმულ დაზიანებას კანის გაკვეთის გარეშე; საჭიროა თავის ქალას აკუსტიკური გამტარობის შეფასება, მათ შორის SDR-ის გათვალისწინება. ლეზია შეუქცევადია და მეორე მხარის მკურნალობა განსაკუთრებულ, ეტაპობრივ შერჩევას მოითხოვს. RF-თალამოტომია ელექტროდით გათბობას იყენებს. გამა-დანის ეფექტი თვეებში ვითარდება და ლეზიის საბოლოო მოცულობა ნაკლებად უშუალოდ კონტროლდება. DBS-ს აპარატურის მოვლა და პროგრამირება სჭირდება; დროთა განმავლობაში ზოგჯერ ეფექტი სუსტდება.



სურათი 2.29 — ტრემორის ქირურგიული მეთოდების შედარება.

ქალას ძვლის სიმკვრივის ინდექსი (skull density ratio, SDR) MRgFUS-ისთვის კრიტიკულია: დაბალი მაჩვენებლისას ულტრაბგერის ენერგია სამიზნეს ვერ აღწევს. MRgFUS-ის კონტექსტში SDR თავის ქალას ძვლის სიმკვრივეთა შეფარდებას აღნიშნავს; იგივე აბრევიატურა სხვა კონტექსტში სელექციურ დორსალურ რიზოტომიას ნიშნავს.

დისტონია და შერჩევითი შეკავების დარღვევა

წერისას თითის საჭირო მოძრაობას სხვა კუნთების ზუსტი შეთანხმება უნდა ახლდეს. დისტონიისას კუნთების შერჩევა და დროითი კოორდინაცია ირღვევა: შეიძლება ერთდროულად ჩაირთოს კონკურენტი კუნთები და მოქმედება არასასურველ პოზად გადაიქცეს. დარღვევა უკავშირდება ინჰიბიციას, სენსომოტორულ ინტეგრაციასა და პლასტიკურობას; მასში ბაზალური განგლიები, ნათხემი და ქერქი მონაწილეობს. მსუბუქი შეხებით პოზის დროებითი გაუმჯობესება სენსორული ხრიკია. იგი გვიჩვენებს, რომ სენსორულმა ინფორმაციამ ქსელის მდგომარეობა შეიძლება შეცვალოს, თუმცა მისი მექანიზმი ერთი მარტივი კავშირით არ აიხსნება. დისტონია კლასიფიცირდება ასაკით, განაწილებით, თანმხლები ნიშნებითა და მიზეზით.

ფოკალურ დისტონიაში ხშირად ბოტულინური ტოქსინი გამოიყენება. შერჩეულ მძიმე გენერალიზებულ, კისრის ან ტარდიულ ფორმებში GPi-DBS შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს. პასუხი გენეტიკურ და შეძენილ ფორმებში განსხვავდება და ხშირად კვირებსა თუ თვეებში ვითარდება. ფიქსირებული კონტრაქტურა ნერვული აქტივობის მოდულაციით არ ქრება. ბავშვობაში დაწყებული ან შესაბამისი კლინიკური ნიშნების მქონე შემთხვევისას დოფა-მგრძნობიარე დისტონია აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ.

ალეგორიული შედარება. კარგი ორკესტრი საჭირო ინსტრუმენტს აძლიერებს და სხვებს შესაბამის დროს აჩუმებს. დისტონიისას ეს შერჩევითობა ირღვევა.

Nota bene დისტონიის მკურნალობა დამოკიდებულია ფენოტიპზე, მიზეზსა და ჯერ კიდევ შექცევად ფუნქციურ დარღვევაზე.

დისტონია: განმარტება და კლასიფიკაცია

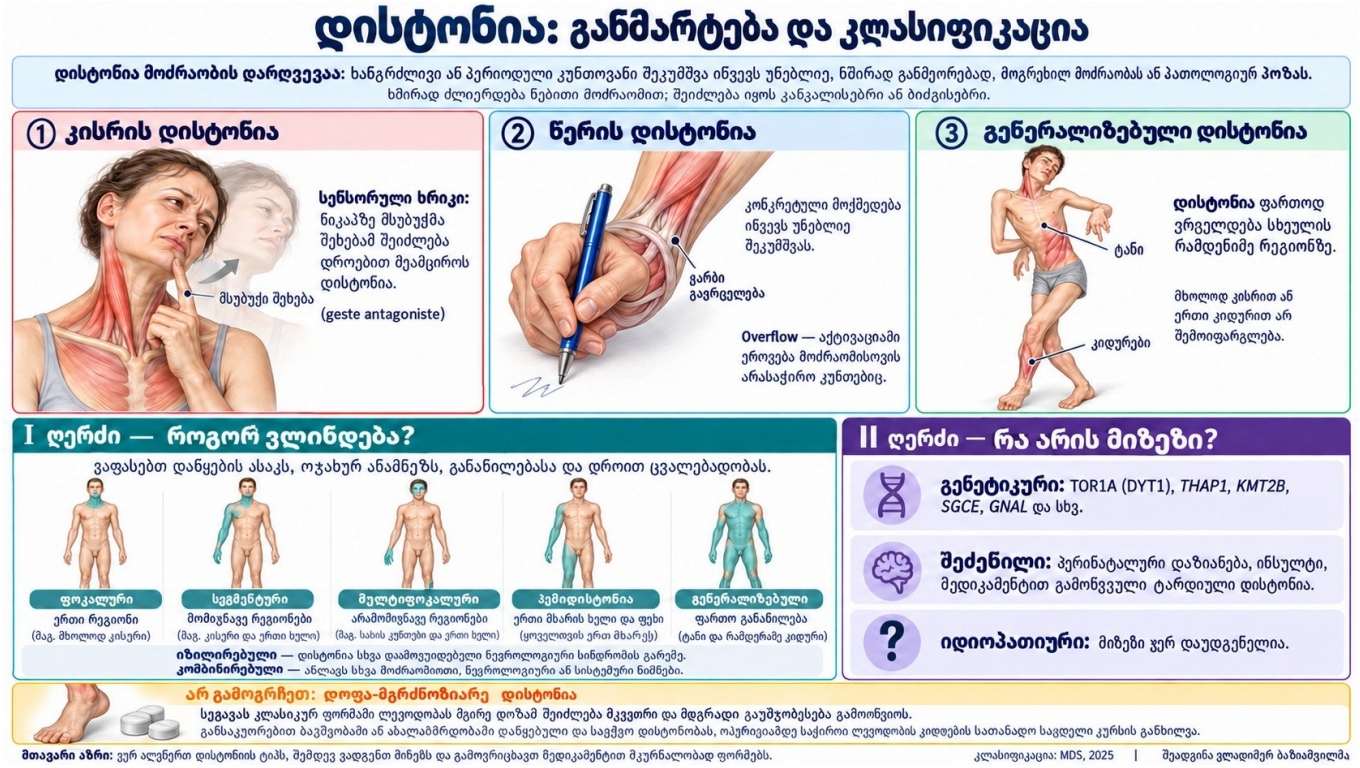
ალბანეზე და სხვ., 2013

დისტონია კუნთების ხანგრძლივი ან პერიოდული შეკუმშვებით გამოწვეული არანორმალური, ხშირად განმეორებადი, მოგრეხილი მოძრაობა ან პოზაა. ნებითმა მოქმედებამ იგი შეიძლება გააძლიეროს. აქტივაცია ზოგჯერ მოქმედებისთვის არასაჭირო კუნთებზეც ვრცელდება — ამას overflow ეწოდება. მაგალითად, წერისას თითებთან ერთად მაჯა და წინამხარიც შეიძლება არასასურველად დაიძაბოს. ზოგ შემთხვევაში ნიკაპზე მსუბუქი შეხება კისრის დისტონიას დროებით ამცირებს. ეს სენსორული ხრიკი, ანუ geste antagoniste, უბრალო მექანიკური გასწორება არ არის: მცირე სენსორული ცვლილება მოძრაობის ქსელზე მოქმედებს.

კლასიფიკაციის პირველი ღერძი კლინიკურ სურათს აღწერს: დაწყების ასაკს, სხეულზე განაწილებასა და თანმხლებ ნიშნებს. ერთი უბნის ჩართვა ფოკალურია; მეზობელი უბნებისა — სეგმენტური; არამეზობელი უბნებისა — მულტიფოკალური; ფართო გავრცელება გენერალიზებულ ფორმას ქმნის, სხეულის ერთი მხარის ჩართვა კი ჰემიდისტონიაა. დისტონია შეიძლება იყოს იზოლირებული ან სხვა ნევროლოგიურ ნიშნებთან კომბინირებული. მეორე ღერძი მიზეზს ეხება. გენეტიკურ ფორმებს უკავშირდება TOR1A/DYT1, THAP1, KMT2B, SGCE და GNAL; შეძენილი ფორმა შეიძლება პერინატალურ დაზიანებას, მედიკამენტურ ზემოქმედებას ან ინსულტს მოჰყვეს. დაუდგენელი მიზეზის შემთხვევაში ფორმა იდიოპათიურად კლასიფიცირდება.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს დოფა-მგრძნობიარე დისტონიის, მათ შორის სეგავას დაავადების ამოცნობას: ლევოდოპის მცირე დოზაზე შეიძლება მკვეთრი გაუმჯობესება მივიღოთ. შესაბამისი ფენოტიპის, განსაკუთრებით ბავშვობაში დაწყებული დისტონიის შეფასებისას, ოპერაციამდე ლევოდოპის ცდა მნიშვნელოვან ადგილს იკავებს.

დისტონიის განმარტება და კლასიფიკაცია



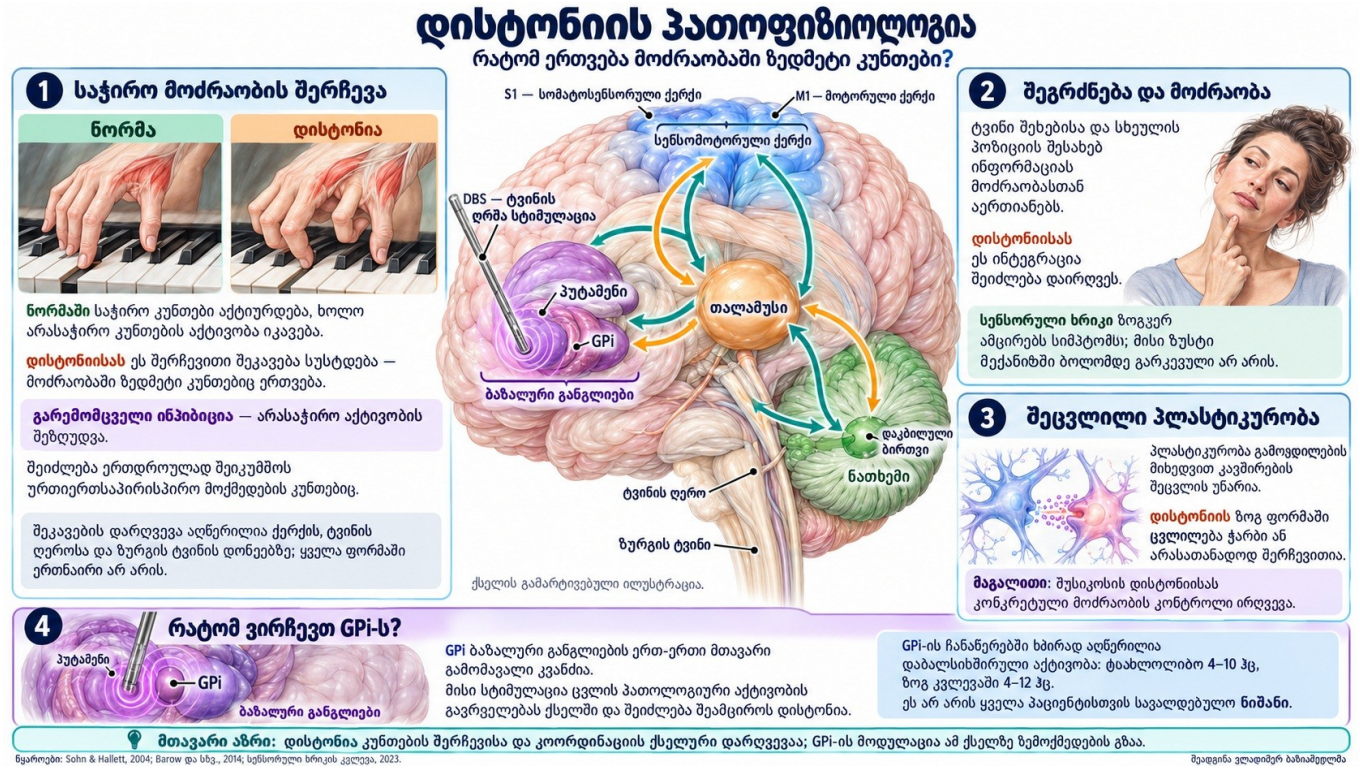
სურათი 2.30 — დისტონიის განმარტება და კლასიფიკაცია.

დისტონიის პათოფიზიოლოგია

ნორმაში სასურველი კუნთების გააქტიურებას არასაჭირო აქტივობის შეკავება ახლავს. დისტონიისას ეს შერჩევითობა ირღვევა. ქერქულ, ღეროვან და ზურგის ტვინის მექანიზმებში აღწერილია შეკავების ცვლილებები; „გარშემო შეკავების“ დაქვეითებამ მოძრაობაში ზედმეტი კუნთები შეიძლება ჩართოს. ამასთან, იცვლება სენსორული ინფორმაციისა და მოძრაობის დაკავშირება — სენსომოტორული ინტეგრაცია. სენსორული ხრიკი ამ ურთიერთობის კლინიკური მაგალითია, თუმცა მხოლოდ სენსორული დისკრიმინაციის დარღვევით მისი ახსნა არასაკმარისია. ჭარბი, არაადაპტური პლასტიკურობა შეიძლება მონაწილეობდეს განმეორებად საქმიანობასთან დაკავშირებულ ფორმებში, მაგალითად მუსიკოსის დისტონიაში.

ბაზალური განგლიები, ნათხემი და სენსომოტორული ქერქი საერთო ქსელში მონაწილეობს. GPi-ში აღწერილია დაბალი სიხშირის, მათ შორის დაახლოებით 4–10 ჰც აქტივობა. GPi-ზე სტიმულაცია ამ გამომავალი კვანძის გავლით უფრო ფართო ქსელს ცვლის. ეფექტის კვირებსა და თვეებში განვითარება ქსელურ ადაპტაციასაც უკავშირდება, თუმცა მხოლოდ „ხელახლა სწავლით“ არ აიხსნება.

დისტონიის პათოფიზიოლოგია



სურათი 2.31 — დისტონიის პათოფიზიოლოგია.

დისტონია: GPi-DBS და სხვა მეთოდები

ფოკალური დისტონიისას ხშირად გამოიყენება ბოტულინური ტოქსინი; მედიკამენტური არჩევანი მოიცავს ანტიქოლინერგულ საშუალებებსა და ბაკლოფენს, შესაბამის შემთხვევებში კი ლევოდოპის ცდას. მძიმე, რეზისტენტულ დისტონიაში GPi-DBS-ის განხილვას წინ უძღვის მიზეზისა და ფიქსირებული დეფორმაციების შეფასება. იზოლირებულ გენერალიზებულ ფორმებში, მათ შორის TOR1A-სა და ზოგ KMT2B შემთხვევებში, მნიშვნელოვანი სარგებელი შეიძლება მივიღოთ. სალექციო წყაროებში BFMDRS-ის დაახლოებით 50–80%-იანი გაუმჯობესება სხვადასხვა შერჩეულ სერიას ეხება და ყველა გენოტიპზე ერთნაირად არ ვრცელდება. ვიდაიეს (2005), კუფშის (2006) და კისრის დისტონიის ფოლკმანის (2014) კვლევები ამ მიმართულების მნიშვნელოვანი საფუძველია. ტარდიულ დისტონიაშიც შედეგი შეიძლება ხელსაყრელი იყოს.

პერინატალურად შეძენილი და დისკინეტიკური ცერებრული დამბლის შემთხვევებში ეფექტი ხშირად უფრო ზომიერია — დაახლოებით 20–30% ზოგ სერიაში; THAP1-ის პასუხი ცვალებადია. მოძრავი, ფაზური კომპონენტი ზოგჯერ ადრე უმჯობესდება, მდგრადი ტონური პოზა კი კვირებსა და თვეებში. ხანგრძლივ კონტრაქტურას DBS ვერ ასწორებს, რის გამოც დროულ შეფასებას მნიშვნელობა აქვს. დისტონიური სტატუსი სიცოცხლისთვის საშიში გამწვავებაა და ინტენსიურ მკურნალობას მოითხოვს; შერჩეულ რეზისტენტულ შემთხვევაში გადაუდებელი GPi-DBS ან პალიდოტომია განიხილება. კისრის დისტონიისას პერიფერიული სელექციური დენერვაცია, ბერტრანის მიდგომით, ცალკეული პაციენტებისთვის ალტერნატივაა.

დისტონიის მკურნალობა და GPi-DBS



სურათი 2.32 — დისტონიის მკურნალობა და GPi-DBS.

ქორეა ბალიზმი ტარდიული მოძრაობები და ტიკები

ქორეა არარეგულარული მოძრაობების უწყვეტ ცვლას ჰგავს; ჰემიბალიზმი კი ერთი მხარის დიდი ამპლიტუდის მოძრაობით გამოირჩევა. ჰანტინგტონის დაავადება, სისხლძარღვოვანი დაზიანება და ჰიპერგლიკემია სხვადასხვა მიზეზია და განსხვავებულ მკურნალობას მოითხოვს. ჰანტინგტონისას ადრეული სტრიატული ცვლილებების არაპირდაპირ გზასთან დაკავშირება სასწავლო მოდელია; დაავადება დროთა განმავლობაში მრავალ სისტემას მოიცავს. ათეტოზი ნელი მოგრეხილი მოძრაობაა, ხშირად სხვა დისკინეზიებთან ერთად. ტარდიული დისკინეზია ან დისტონია შეიძლება დოფამინის რეცეპტორების მაბლოკირებელი პრეპარატების ხანგრძლივ გამოყენებას მოჰყვეს. გამოიყენება მიზეზის შეფასება, შესაბამისი მედიკამენტური ცვლილება და VMAT2-ის ინჰიბიტორები; მძიმე რეზისტენტულ, განსაკუთრებით დისტონიურ ფორმაში GPi-DBS განიხილება. SGCE-სთან დაკავშირებულ მიოკლონუს-დისტონიაში სტიმულაციამ ორივე კომპონენტი შეიძლება შეამციროს.

ტურეტის სინდრომი მოიცავს მრავალ მოტორულ და სულ მცირე ერთ ვოკალურ ტიკს, დასაწყისით 18 წლამდე და ხანგრძლივობით ერთ წელზე მეტი; მათი ერთდროულობა აუცილებელი არ არის. პირველ რიგში ქცევითი და მედიკამენტური მკურნალობა გამოიყენება. DBS მძიმე რეზისტენტულ შემთხვევებში სპეციალიზებული შეფასების საგანია. ჰემიფაციალური სპაზმი ცალკე მდგომარეობაა: სახის ნერვის კომპრესიისას ბოტულინური ტოქსინი ან MVD განიხილება.

ალეგორიული შედარება. მსგავსი გარეგნული მოძრაობა სხვადასხვა მიზეზიდან შეიძლება მოდიოდეს, როგორც ერთი განგაშის ხმა სხვადასხვა სენსორმა შეიძლება ჩართოს.

Nota bene იშვიათი ჰიპერკინეზიისას ქირურგიის მტკიცებულება და მიზეზობრივი მკურნალობის შესაძლებლობა ცალ-ცალკე ფასდება.

ქორეა და ჰემიბალიზმი

ჰიპერკინეზიები

ქორეა სწრაფი, არარეგულარული, მუდმივად ცვალებადი მოძრაობების ნაკადია. ჰანტინგტონის დაავადებისას HTT გენის CAG გამეორებების გაფართოება მიზეზობრივი ფაქტორია; 40 ან მეტი გამეორება სრული პენეტრანტობის დიაპაზონს უკავშირდება. ადრეულ ეტაპზე არაპირდაპირი გზის D2 სტრიატული ნეირონების დაზიანება GPi-ის რეგულაციის ცვლილებას ხსნის, თუმცა დაავადება მხოლოდ ამ გზით არ შემოიფარგლება. ქორეის შესამცირებლად გამოიყენება ტეტრაბენაზინი, დეიტეტრაბენაზინი და შერჩეული ანტიფსიქოზური პრეპარატები. GPi-DBS განსაკუთრებულ რეზისტენტულ შემთხვევებში განიხილება: მოძრაობა შეიძლება შემცირდეს, მაგრამ კოგნიტურ და ფსიქიატრიულ პროგრესიას ეს არ აჩერებს.

ჰემიბალიზმი ერთი მხარის პროქსიმალური, დიდი ამპლიტუდის, მოსროლის მსგავსი მოძრაობაა. იგი შეიძლება მოპირდაპირე STN-ის ან უფრო ფართო ქსელის, მათ შორის სტრიატუმის დაზიანებას მოჰყვეს. შესაძლო მიზეზებია ლაკუნური ინსულტი და არაკეტოზური ჰიპერგლიკემია. მიზეზის მკურნალობითა და მედიკამენტებით მდგომარეობა ხშირად მცირდება; რეზისტენტულ შემთხვევებში GPi-DBS, პალიდოტომია ან შერჩევითი თალამური ჩარევა განიხილება. STN-ის ლეზიისას ბალიზმის რისკი ამ ქსელის კლინიკურ მნიშვნელობას აჩვენებს.

ქორეა და ჰემიბალიზმი



სურათი 2.33 — ქორეა და ჰემიბალიზმი.

ათეტოზი, ტარდიული მოძრაობები და მიოკლონუსი

ათეტოზი ნელი, მოგრეხილი, ხშირად დისტალური მოძრაობაა და შეიძლება პერინატალურ დაზიანებას ან კერნიქტერუსს უკავშირდებოდეს. დისკინეტიკური ცერებრული დამბლისას GPi-DBS-ის ეფექტი ცვალებადია და ხშირად ზომიერია. ტარდიული დისკინეზია ან დისტონია დოფამინის რეცეპტორების მაბლოკირებელ პრეპარატებთან შეიძლება იყოს დაკავშირებული; გამოიყენება VMAT2-ინჰიბიტორები და სხვა ინდივიდუალური მკურნალობა. მძიმე რეზისტენტული ტარდიული დისტონიისას GPi-DBS განიხილება.

მიოკლონუს-დისტონია და ჰემიფაციალური სპაზმი

მიოკლონუსი მოკლე, დარტყმის მსგავსი უნებლიე მოძრაობაა. SGCE-თან დაკავშირებულ მიოკლონუს-დისტონიაში GPi-DBS, ზოგ შემთხვევაში Vim, ორივე კომპონენტზე შეიძლება მოქმედებდეს. ჰემიფაციალური სპაზმი ხშირად სახის ნერვის ტვინის ღეროსთან სისხლძარღვოვან კომპრესიას უკავშირდება; MVD მიზეზობრივ კონფლიქტს ხსნის და შერჩეულ პაციენტებში მაღალი წარმატება აქვს, თუმცა რისკი და რეციდივი რჩება.



სურათი 2.34 — ათეტოზი ტარდიული მოძრაობები მიოკლონუსი და ჰემიფაციალური სპაზმი.

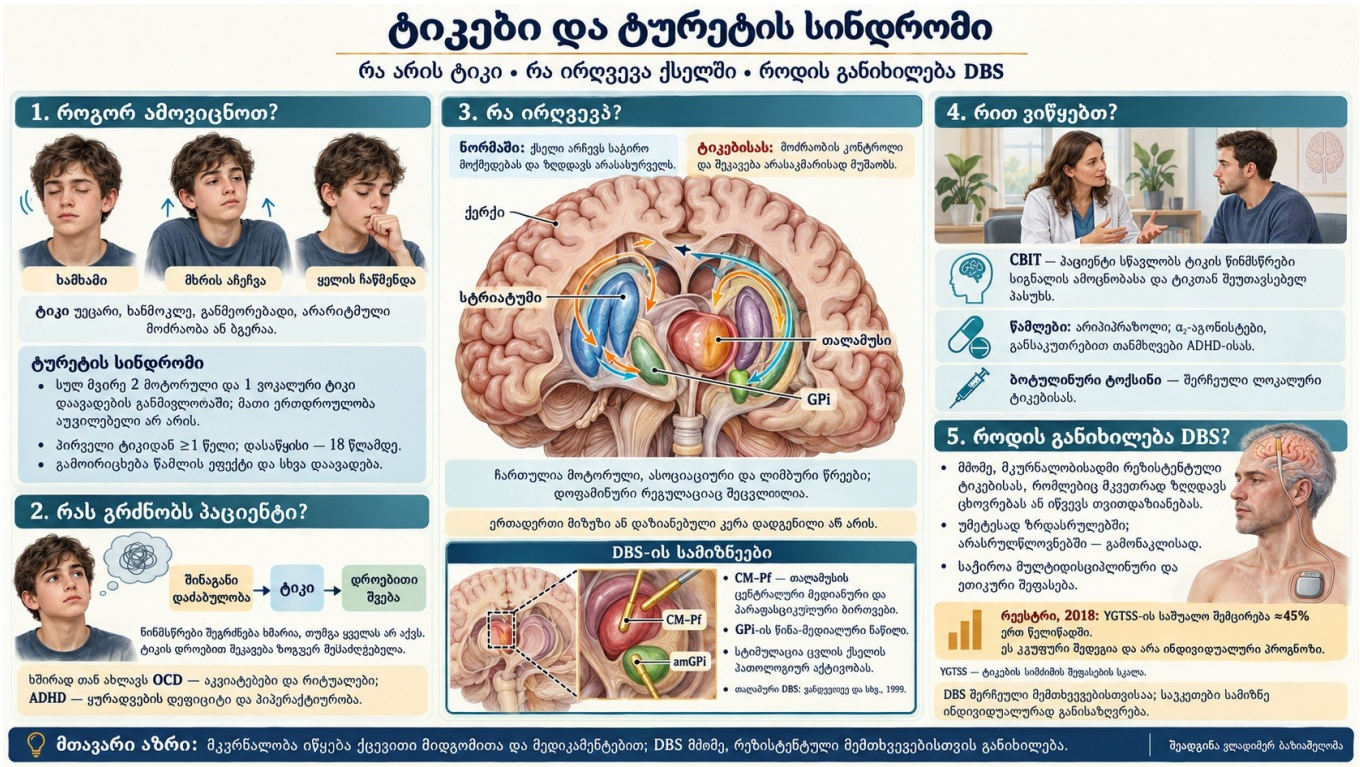
ჰემიფაციალური სპაზმი მოძრაობის დარღვევაა, მაგრამ მისი ქირურგია ანატომიურია: მიზეზი (სისხლძარღვის კომპრესია) იხსნება. ჰემიფაციალური სპაზმისა და სამწვერა ნერვის ნევრალგიის გარკვეულ ფორმებს საერთო ქირურგიული პრინციპი აქვს — შესაბამისი ნერვის სისხლძარღვოვანი კომპრესიის მოხსნა.

ტიკები და ტურეტის სინდრომი

ტიკი უეცარი, განმეორებადი, არარიტმული მოძრაობა ან ვოკალიზაციაა. ტურეტის სინდრომისთვის დამახასიათებელია მრავლობითი მოტორული და მინიმუმ ერთი ვოკალური ტიკი დაავადების განმავლობაში, ერთ წელზე მეტი ხანგრძლივობით და დაწყებით 18 წლამდე; ისინი ყოველთვის ერთდროულად არ ჩანს. ხშირია წინმსწრები მოთხოვნილების შეგრძნება, OCD და ADHD.

მკურნალობის საფეხურები

ქცევითი თერაპია (CBIT), შესაბამისი მედიკამენტები, მათ შორის არიპიპრაზოლი და α2-აგონისტები, და ზოგჯერ ბოტულინური ტოქსინი საწყისი არჩევანებია. მძიმე, რეზისტენტული, ხშირად თვითდაზიანებითი ტიკებისას, უმეტესად ზრდასრულებში, განიხილება CM-Pf ან ანტერომედიალური GPi-ის DBS. 2018 წლის რეესტრში YGTSS საშუალოდ დაახლოებით 45%-ით შემცირდა; რეესტრი რანდომიზებული შედარების ტოლი არ არის. შერჩევა მრავალპროფილურ და ეთიკურ შეფასებას მოითხოვს.



სურათი 2.35 — ტიკები და ტურეტის სინდრომი.

ტურეტის სინდრომი მოძრაობით და ფსიქიატრიულ ქსელებს აკავშირებს; მოტორულთან ერთად ასოციაციური და ლიმბური CSTC მარყუჟებიც მონაწილეობს.

DBS-ის გზა დაგეგმვიდან შემდგომ მოვლამდე

DBS ერთი ოპერაციით დასრულებული მკურნალობა არ არის. თავიდან გუნდი არჩევს პაციენტსა და სამიზნეს, MRI-ზე გეგმავს ტრაექტორიას და სისხლძარღვებთან თუ სხვა მგრძნობიარე სტრუქტურებთან ურთიერთობას აფასებს. ოპერაციისას პოზიცია მოწმდება გამოსახულებით, ფიზიოლოგიური ჩანაწერითა და ტესტ-სტიმულაციით, არჩეული მიდგომის მიხედვით. ელექტროდი გენერატორს კანქვეშა სადენით უკავშირდება. შემდგომი პროგრამირებისას იცვლება კონტაქტი, ამპლიტუდა, პულსის სიგანე და სიხშირე. ფხიზელ და ზოგადი ანესთეზიით ჩატარებულ მიდგომებს განსხვავებული უპირატესობა აქვს; არჩევანი პაციენტის ამტანობას, ვიზუალიზაციასა და გუნდის გამოცდილებას ითვალისწინებს.

სისხლჩაქცევა, ინფექცია და აპარატურის პრობლემა ქირურგიული რისკებია. ზოგი სტიმულაციური გვერდითი მოვლენა პარამეტრების შეცვლით მცირდება, მაგრამ ყველა სიმპტომი პროგრამირებით არ სწორდება. განწყობისა და კოგნიციის შეფასება, მედიკამენტის ფრთხილი ცვლილება და მოწყობილობის ხანგრძლივი მოვლა პროცესის აუცილებელი ნაწილია.

ალეგორიული შედარება. სმენის აპარატის დაყენებას მოჰყვება მორგება და შემოწმება; DBS-საც ინდივიდუალური პროგრამირება სჭირდება, ბევრად უფრო რთული კლინიკური კონტროლით.

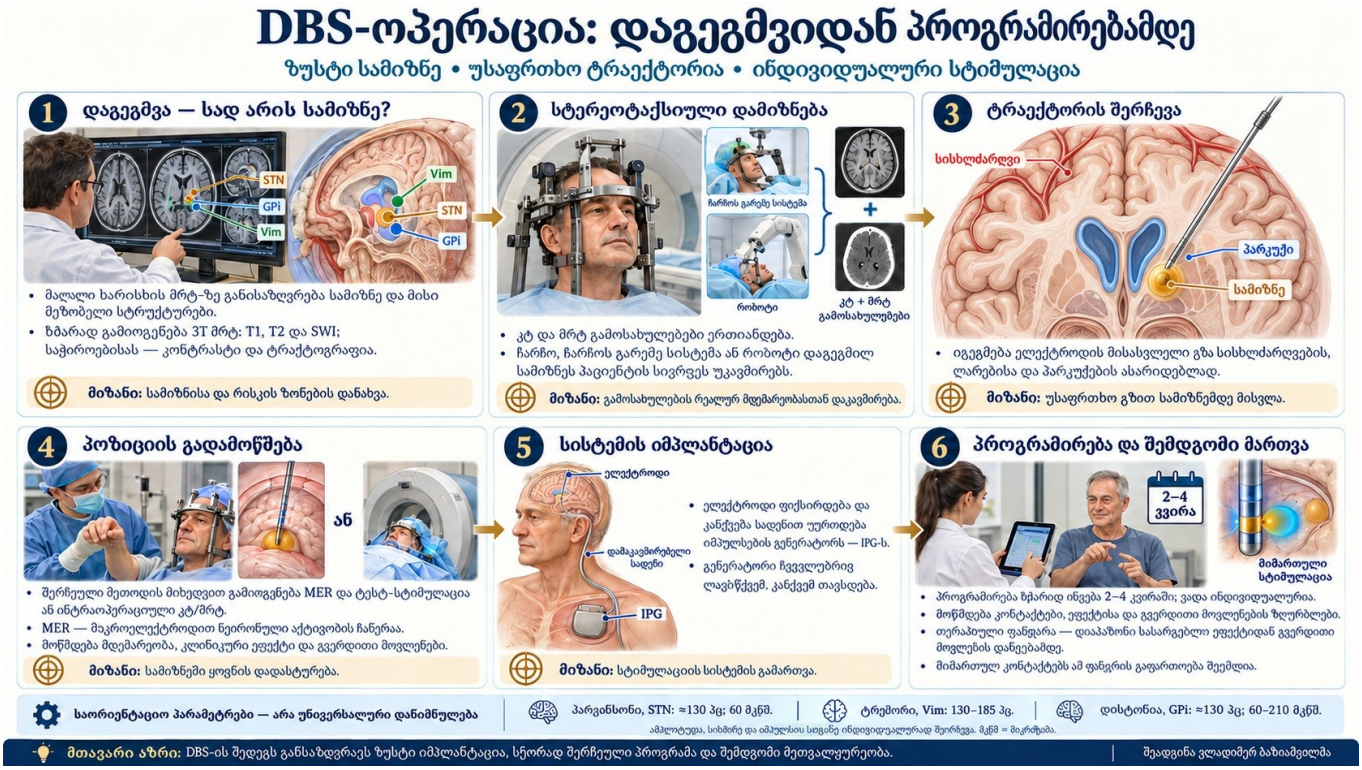
Nota bene ოპერაცია მკურნალობის დასაწყისია; პროგრამირება და მეთვალყურეობა შედეგის შენარჩუნებას ემსახურება.

DBS-ოპერაცია: დაგეგმვიდან პროგრამირებამდე

DBS-ის დაგეგმვა მაღალი ხარისხის MRI-ით იწყება: T1, საჭიროებისამებრ კონტრასტული კვლევა, T2 და SWI სამიზნესა და საფრთხის შემცველ სტრუქტურებს აჩვენებს; ტრაქტოგრაფია დამატებით კავშირებს აღწერს. ჩარჩო, ჩარჩოს გარეშე სისტემა ან რობოტი გამოსახულებას პაციენტის სივრცეს უკავშირებს. CT–MRI შერწყმა ამ შესაბამისობის დადგენის ერთ-ერთი გზაა. ტრაექტორიის მიზანია სამიზნემდე უსაფრთხო მისვლა ღარებისა და სისხლძარღვების გათვალისწინებით; პარკუჭთან დამოკიდებულება ინდივიდუალურად იგეგმება. პოზიცია შეიძლება შემოწმდეს MER-ითა და ტესტ-სტიმულაციით ან ინტრაოპერაციული CT/MRI-ით. ელექტროდის ფიქსაციის შემდეგ სისტემა კანქვეშა სადენით გენერატორს უკავშირდება, რომელიც ხშირად ლავიწქვეშ თავსდება.

პროგრამირება ხშირად იმპლანტაციიდან 2–4 კვირაში იწყება, როდესაც ჩადგმით გამოწვეული დროებითი მიკროლეზიური ეფექტი მცირდება. თითოეული კონტაქტის შემოწმებით დგინდება სასარგებლო ეფექტისა და გვერდითი მოვლენის ზღურბლები — მათ შორის დიაპაზონი თერაპიული ფანჯარაა. საორიენტაციო კლასიკურ პარამეტრებად გვხვდება STN-ისთვის დაახლოებით 130 ჰც და 60 მკწმ, Vim-ისთვის 130–185 ჰც, ხოლო დისტონიის GPi-სთვის დაახლოებით 130 ჰც და 60–210 მკწმ. ეს ინდივიდუალური დანიშნულებები არ არის. მიმართული კონტაქტები ელექტრული ველის გადანაწილებით ზოგჯერ გვერდითი მოვლენების თავიდან აცილებასა და სამუშაო ფანჯრის გაფართოებას ეხმარება.

DBS ოპერაციის ეტაპები



სურათი 2.36 — DBS ოპერაციის ეტაპები.

ფხიზელი თუ ანესთეზიით?

ფხიზელ პაციენტთან ოპერაცია საშუალებას იძლევა, ტესტ-სტიმულაციისას უშუალოდ შეფასდეს კლინიკური სარგებელი და გვერდითი მოვლენები. MER დამატებით ფიზიოლოგიურ ინფორმაციას იძლევა. ამავე დროს, OFF მდგომარეობაში ხანგრძლივი პროცედურა პაციენტისთვის დამღლელი შეიძლება იყოს; მრავალჯერადი ტრაექტორია სისხლჩაქცევის დამატებით რისკს ქმნის. ზოგადი ანესთეზიით ჩატარება განსაკუთრებით გამოსადეგი შეიძლება იყოს ძლიერი შფოთვის, მძიმე დისტონიისა და ბავშვთა შემთხვევებისას. სამიზნისა და ელექტროდის მდებარეობა ხარისხიანი MRI-ით და ინტრაოპერაციული CT ან MRI კონტროლით მოწმდება. თანამედროვე სერიებში სწორად დაგეგმილი ორივე მიდგომა შედარებად შედეგს შეიძლება იძლეოდეს. არჩევანს პაციენტის მდგომარეობა და ცენტრის მეთოდური გამოცდილება განსაზღვრავს.

ფხიზელი და ანესთეზიაში ჩატარებული DBS



სურათი 2.37 — ფხიზელი და ანესთეზიაში ჩატარებული DBS.

RF, MRgFUS, გამა-დანა: შედარება

ცხრილი 2.4 — RF, MRgFUS, გამა-დანა: შედარება

მეთოდი	როგორ მუშაობს	უპირატესობა	შეზღუდვა
RF-თერმოკოაგულაცია	ელექტროდი სამიზნეში, ~70–80 °C, 60 წმ; წინასწარი ტესტ-სტიმულაცია	ზუსტი, იაფი, ფიზიოლოგიური კონტროლი	ფრეზური ხვრელი, ჰემორაგიის რისკი
MRgFUS	ფოკუსირებული ულტრაბგერა, MR-თერმომეტრია; ჯერ შექცევადი 40–45 °C, შემდეგ აბლაცია	გაკვეთის გარეშე, შედეგი მაშინვე ჩანს	ქალას ძვლის სიმკვრივე, ცალმხრივი/ეტაპობრივი, ძვირი
გამა-დანა	~130–150 Gy ერთ წერტილში	ანესთეზიის და გაკვეთის გარეშე; ანტიკოაგულანტებზე მყოფი პაციენტი	ეფექტი თვეებში; ლეზიის ზომა ნაკლებად პროგნოზირებადია
LITT	ლაზერული ბოჭკო, MR-თერმომეტრია	ზუსტი, მცირე ზომის ნაკვეთი	ფუნქციური სამიზნეებისთვის იშვიათად

ყველა ლეზიური მეთოდის საერთო პრინციპი: ჯერ შექცევადი ტესტი (სტიმულაცია ან დაბალი ტემპერატურა), შემდეგ შეუქცევადი ლეზია.

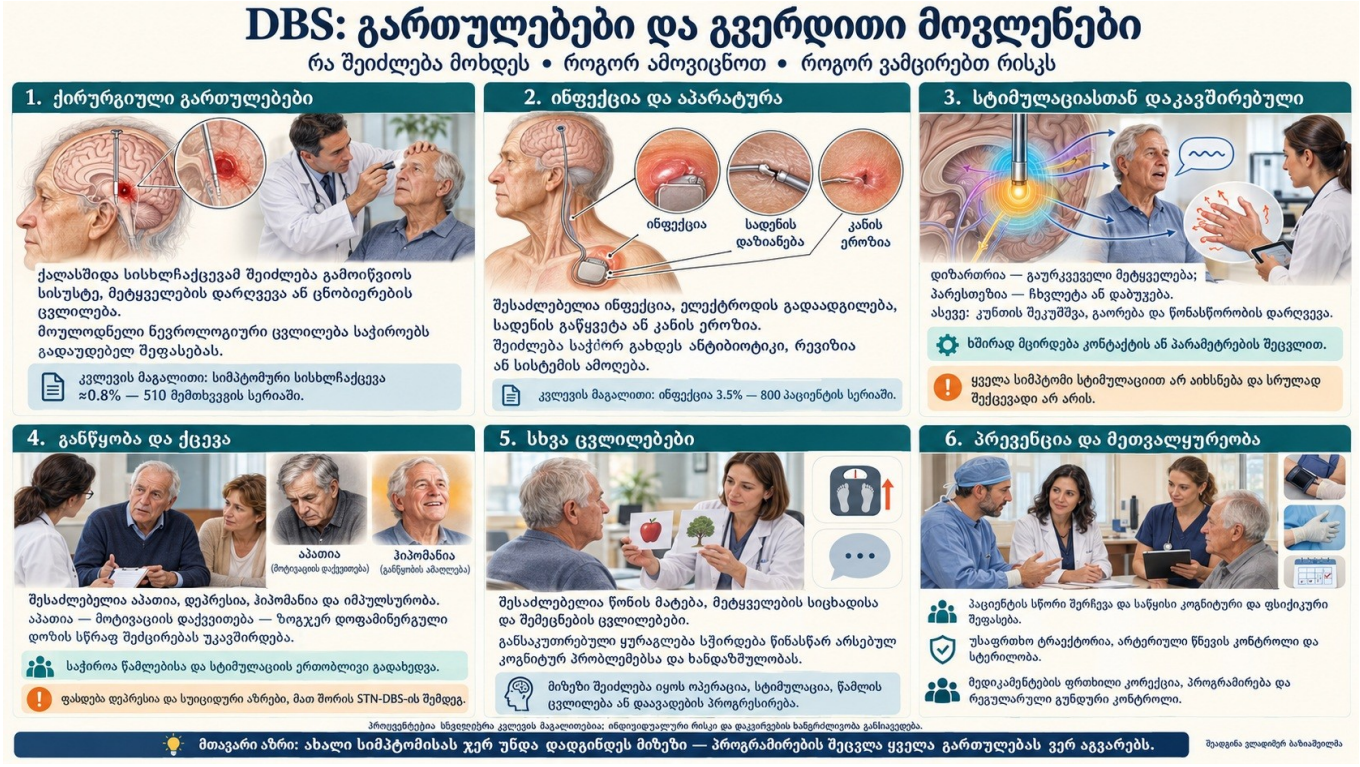
გართულებები და გვერდითი მოვლენები

DBS-ის რისკები ოპერაციას, მოწყობილობასა და სტიმულაციას უკავშირდება. ინტრაცერებრული სისხლჩაქცევა სხვადასხვა სერიაში დაახლოებით 1–2%-ის რიგისაა, სიმპტომური — დაახლოებით 1%; ინფექციის საორიენტაციო სიხშირეა 3–5%. ასევე შესაძლებელია ელექტროდის მიგრაცია, სადენის გაწყვეტა და კანის ეროზია. ეს მაჩვენებლები ცენტრის, დათვლის ერთეულის და დაკვირვების ხანგრძლივობის მიხედვით იცვლება. სტიმულაციამ შეიძლება გამოიწვიოს დიზართრია, პარესთეზია, კუნთის შეკუმშვა, დიპლოპია ან წონასწორობის გაუარესება. თუ ნიშანი უშუალოდ სტიმულაციითაა გამოწვეული, პარამეტრების შეცვლა ხშირად ეხმარება; ყველა პოსტოპერაციული დეფიციტი პროგრამირებით არ სწორდება.

ფასდება აპათია, ჰიპომანია, იმპულსურობა, დეპრესია და სუიციდური რისკი. აპათიას ზოგჯერ დოფამინერგული დოზის სწრაფი შემცირებაც უწყობს ხელს. შესაძლებელია წონის მატება, მეტყველების სიცხადისა და კოგნიციის ცვლილებებიც. პრევენცია მოიცავს პაციენტის სწორ შერჩევას, ტრაექტორიის დაგეგმვას, წნევის კონტროლს, სტერილობასა და გუნდურ შემდგომ მეთვალყურეობას.

Nota bene ინფორმირებული თანხმობა მოიცავს მოსალოდნელ სარგებელს, შესაძლო შეუქცევად რისკსა და ხანგრძლივი მომსახურების საჭიროებას.

DBS-ის გართულებები და გვერდითი მოვლენები



სურათი 2.38 — DBS-ის გართულებები და გვერდითი მოვლენები.

სპასტიურობა და რეფლექსური რკალის მართვა

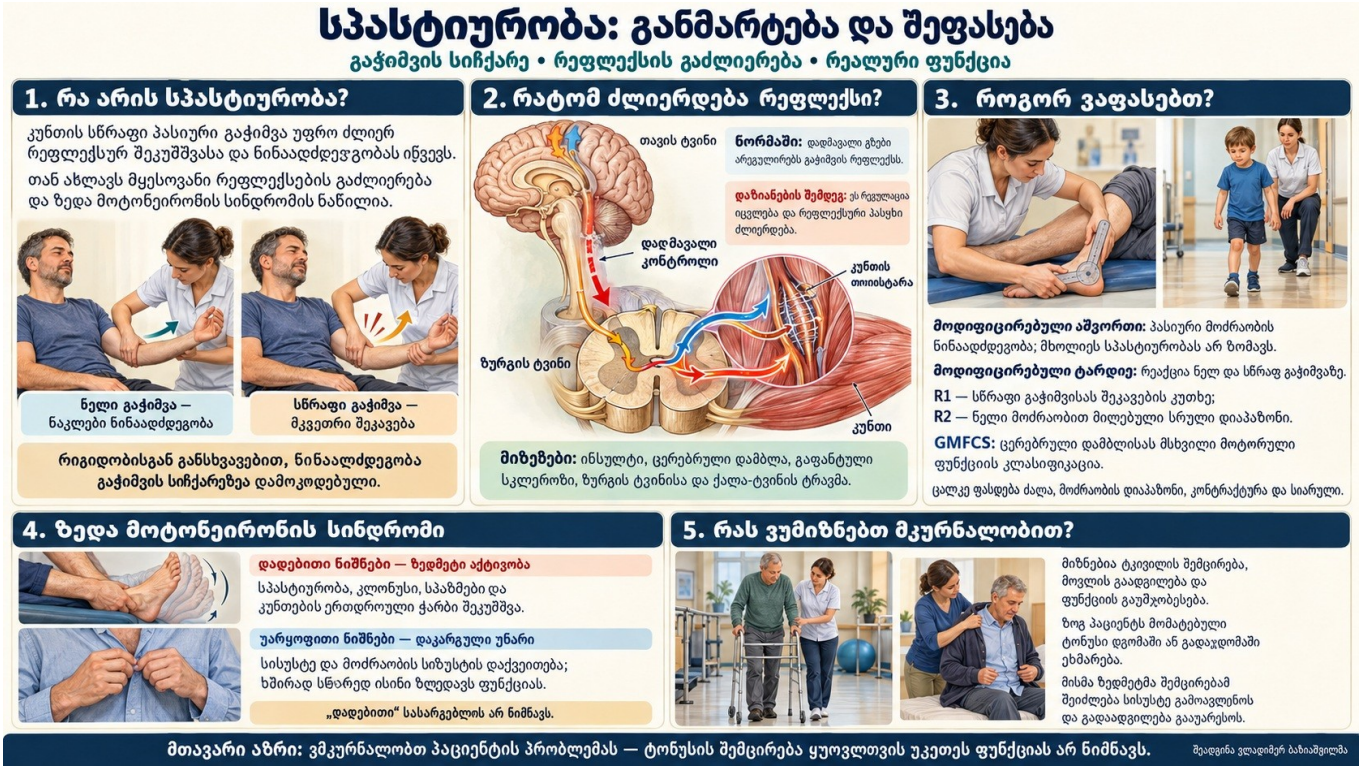
სპასტიურობისას პასიური გაჭიმვის მიმართ წინააღმდეგობა მოძრაობის სიჩქარის ზრდასთან ერთად მატულობს. იგი ზედა მოტონეირონის სინდრომის ნაწილია; სისუსტე და შერჩევითი მოძრაობის დაკარგვა ხშირად ფუნქციისთვის უფრო მნიშვნელოვანია. დაღმავალი კონტროლის დაზიანების შემდეგ ზურგის ტვინის წრეთა აგზნებადობა იცვლება. დროთა განმავლობაში კუნთის დამოკლება და ფიბროზი დამატებით მექანიკურ წინააღმდეგობას ქმნის. მკურნალობის მიზანი შეიძლება იყოს სიარული, მოვლის გაადვილება, ტკივილის ან სპაზმების შემცირება. ტონუსის სრული მოხსნა ყოველთვის სასარგებლო არ არის: ზოგ პაციენტს იგი დგომაში ეხმარება. აშვორთის სკალა პასიურ წინააღმდეგობას აფასებს, ტარდიეს მიდგომა კი სიჩქარისა და დაჭერის კუთხის განსხვავებასაც ითვალისწინებს.

SDR სენსორული ფესვაკების შერჩევითი გადაკვეთით რეფლექსურ შესავალს ამცირებს. ინტრათეკალური ბაკლოფენი GABA-B რეცეპტორებზე მოქმედებით შემაკავებელ გავლენას აძლიერებს. პერიფერიული ნევროტომია შერჩეული კუნთის მოტორულ ტოტებზე მოქმედებს; DREZ-ოტომია განსაკუთრებულ მძიმე შემთხვევებში განიხილება. ფიქსირებულ კონტრაქტურას შეიძლება ორთოპედიული მკურნალობა დასჭირდეს. ყველა მიდგომასთან რეაბილიტაცია და დარჩენილი ძალის შეფასება აუცილებელია.

ალეგორიული შედარება. ზედმეტად მგრძნობიარე სიგნალიზაციას შეიძლება სენსორის შესავალი შევუმციროთ ან კონტროლი გავუძლიეროთ; უკვე გამაგრებული მექანიკური ნაწილი ცალკე შესაკეთებელია.

Nota bene ნერვული ჰიპერაქტივობა, სისუსტე და ფიქსირებული კონტრაქტურა ერთმანეთისგან უნდა განვასხვაოთ.

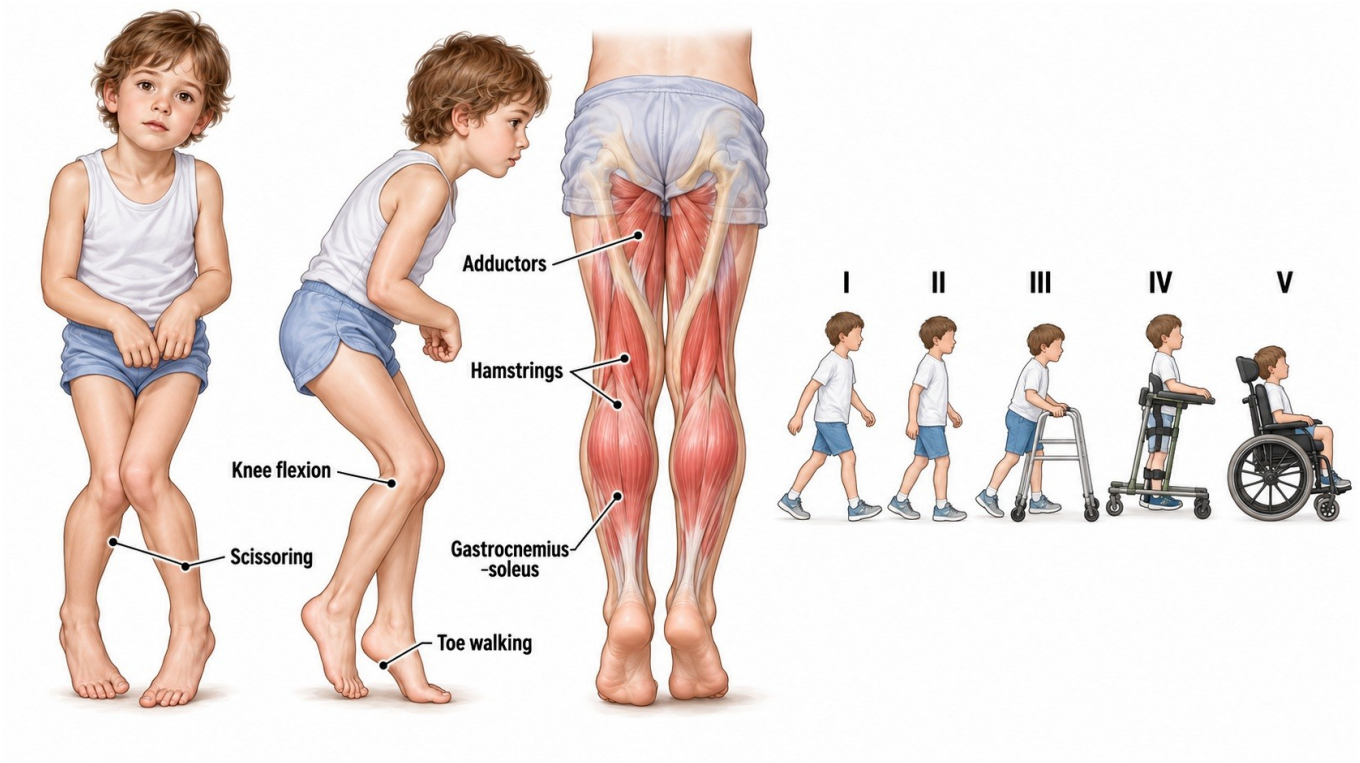
ლანსი, 1980



სურათი 2.39 — სპასტიურობის განმარტება და შეფასება.

სპასტიურობა ზედა მოტონეირონის სისტემის დაზიანების ერთ-ერთი გამოვლინებაა. მოძრაობის გაძნელებასთან ერთად ძალა, სელექციური კონტროლი და თანმხლები კოგნიტური მდგომარეობაც ცალ-ცალკე ფასდება.

სპასტიური დიპლეგია და ფუნქციური კლასები



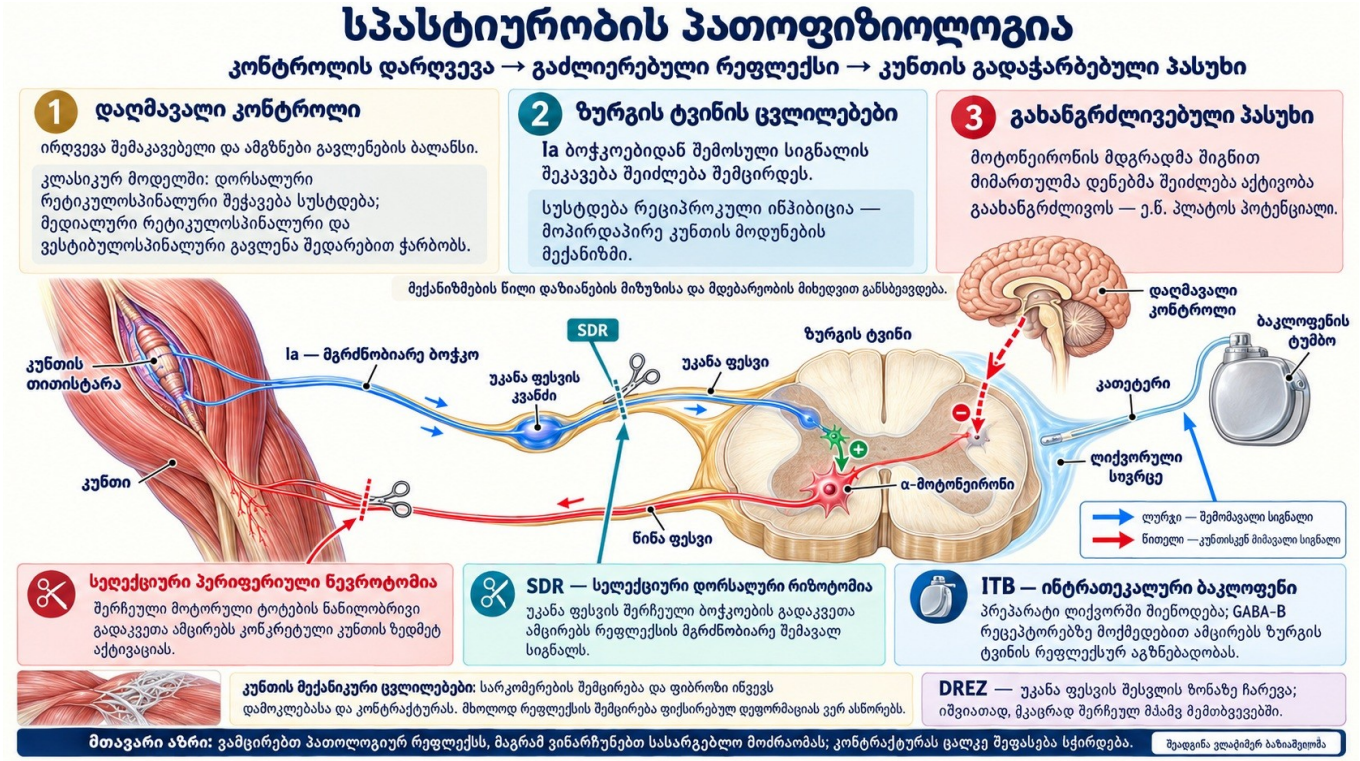
სურათი 2.40 — სპასტიური დიპლეგია და ფუნქციური კლასები.

სპასტიურობის პათოფიზიოლოგია

სპასტიურობისას დაღმავალი ამგზნები და შემაკავებელი გავლენების ბალანსი იცვლება. კლასიკურ მოდელში მნიშვნელოვანია დორსალური რეტიკულოსპინალური შემაკავებელი გავლენის შემცირება და მედიალური რეტიკულოსპინალური თუ ვესტიბულოსპინალური გავლენების შედარებითი სიჭარბე. რეალური ცვლილებები დაზიანების მდებარეობასა და ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული. ზურგის ტვინში შეიძლება დაქვეითდეს Ia აფერენტების პრესინაფსური და რეციპროკული შეკავება. მოტონეირონებში მდგრადი შემავალი დენები და ე.წ. პლატოს პოტენციალები პასუხის გახანგრძლივებას უწყობს ხელს. ამიტომ კუნთი ზოგჯერ საწყისი სტიმულის დასრულების შემდეგაც აქტიური რჩება. დროთა განმავლობაში კუნთს მექანიკური ცვლილებებიც ემატება: სარკომერების რაოდენობა მცირდება, ვითარდება ფიბროზი და კონტრაქტურა. ნერვულ წრეზე ჩარევა ამ ფიქსირებულ ცვლილებებს უშუალოდ ვერ ასწორებს.

მკურნალობის სამიზნე რეფლექსური რკალის სხვადასხვა ნაწილია. SDR და შერჩეულ შემთხვევებში DREZ-ოტომია შემავალ გავლენას ამცირებს; ITB შემაკავებელ მოქმედებას აძლიერებს; სელექციური ნევროტომია კი კუნთამდე მიმავალ გავლენას ამცირებს. ამ განსხვავებამ უნდა ახსნას მეთოდის არჩევა და მოსალოდნელი შედეგი.

სპასტიურობის პათოფიზიოლოგია



სურათი 2.41 — სპასტიურობის პათოფიზიოლოგია.

სპასტიურობის მკურნალობა: ვის რა ეხმარება

ცხრილი 2.5 — სპასტიურობის მკურნალობა: ვის რა ეხმარება

მეთოდი	საუკეთესო კანდიდატი	განაწილება	შენიშვნა
ფიზიოთერაპია, ორთეზები	ყველა პაციენტი	ყველა	საფუძველი, ოპერაციის შემდეგაც
პერორალური საშუალებები	მსუბუქი/ზომიერი	გენერალიზებული	სედაცია, სისუსტე
ბოტულინური ტოქსინი / ფენოლი	ფოკალური პრობლემა	ფოკალური	განმეორებადი ინექციები
სელექციური დორს. რიზოტომია (SDR)	ცერ. დამბლა, სპასტიური დიპლეგია, GMFCS II–III, 4–8 წ.	ქვედა კიდურები	შეუქცევადი, ინტენსიური რეაბილიტაცია
ინტრათეკალური ბაკლოფენი (ITB)	მძიმე, გენერალიზებული; ზურგის ტვინის ტრავმა, MS, GMFCS IV–V	გენერალიზებული	რეგულირებადი, ტუმბოს მოვლა
სელექციური პერიფერიული ნევროტომია	ფოკალური, ტოქსინის ეფექტი ხანმოკლეა	ფოკალური	მაგ. წვივის ნერვი, კუნთ-კანის ნერვი
მიკროქირურგიული DREZ-ოტომია	მძიმე სპასტიურობა + ტკივილი	სეგმენტური	დესტრუქციული, შერჩევითი

მეთოდი	საუკეთესო კანდიდატი	განაწილება	შენიშვნა
ორთოპედიული ქირურგია	ფიქსირებული კონტრაქტურა	ფოკალური	ხშირად ნეიროქირურგიის შემდეგ

გადაწყვეტილება მულტიდისციპლინურია: ნეიროქირურგი, ნევროლოგი/ნეიროპედიატრი, რეაბილიტოლოგი, ორთოპედი, ფიზიოთერაპევტი და ოჯახი.

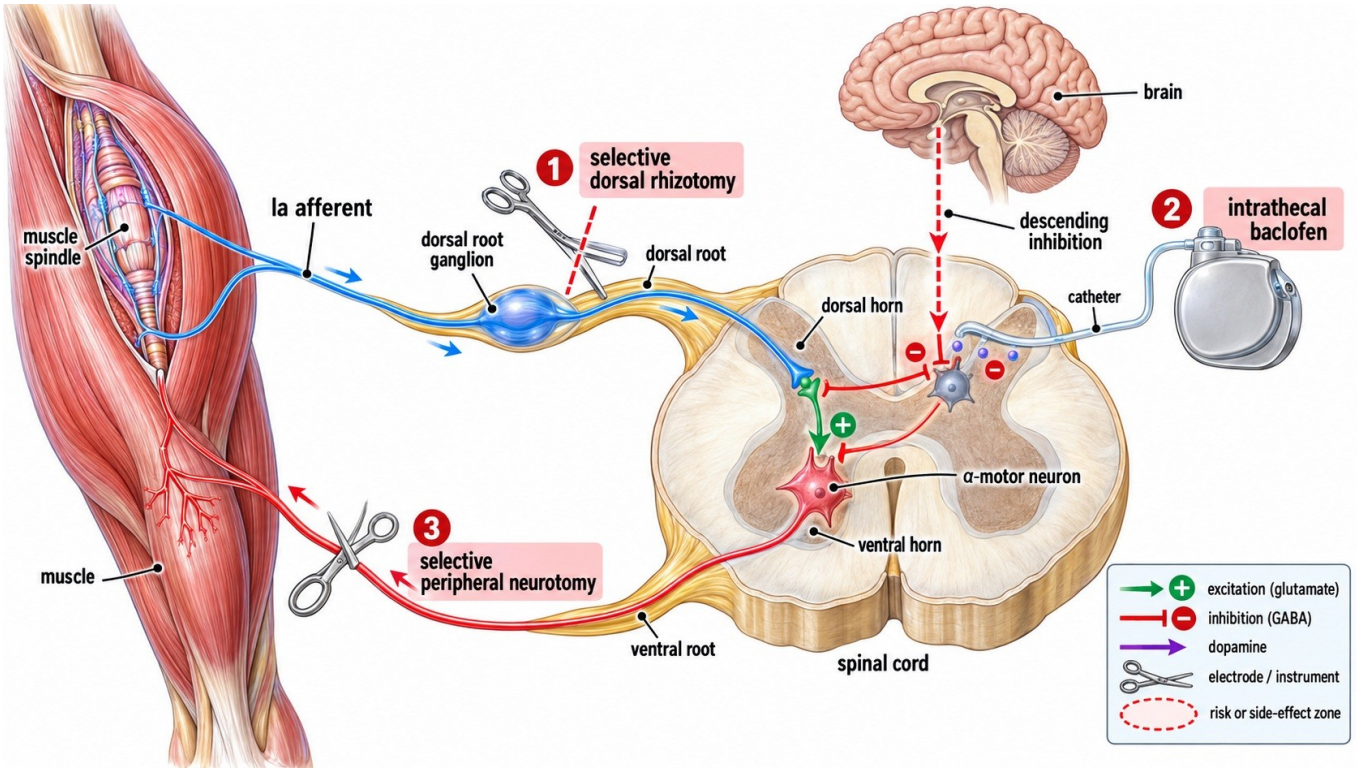
დაზუსტება. ასაკი 4–8 წელი და GMFCS II–III სიარულზე ორიენტირებული SDR-ის კლასიკური შერჩევის მაგალითებია და არა ყველა პროგრამის სავალდებულო ზღვარი. ზოგ ცენტრში სხვა ფუნქციური მიზნებით უფრო მძიმე პაციენტებიც ფასდება. ტონუსის შემცირება სისუსტეს ან ფიქსირებულ კონტრაქტურას არ ასწორებს.

სელექციური დორსალური რიზოტომია (SDR)

სელექციური დორსალური რიზოტომია გაჭიმვის რეფლექსში შემავალ მგრძნობიარე გავლენას ამცირებს. ფოერსტერის, ფაზანოსა და პიკოკის ისტორიულ ხაზში განვითარებული მეთოდი ჩვეულებრივ ქვედა კიდურებთან დაკავშირებული L2–S1 უკანა ფესვების შერჩეულ ფესვაკებზე მოქმედებს. წვდომა შეიძლება კონუსის დონეზე ერთსეგმენტიანი ლამინექტომიით, პარკის მიდგომით, ან უფრო ფართო მრავალსეგმენტიანი წვდომით შესრულდეს. ფესვი ფესვაკებად იყოფა, ელექტროსტიმულაციის პასუხი EMG-ით ფასდება და მათი ნაწილი იკვეთება. აღწერილი 30–60% ტექნიკური დიაპაზონია და უნივერსალური სამიზნე რაოდენობა არ არის. აუცილებელია მგრძნობიარე და მოტორული ფუნქციების დაცვა და საკრალური ფესვების იდენტიფიკაცია. შარდის ბუშტის, ნაწლავისა და სქესობრივი ფუნქციებისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია S2–S4 სეგმენტები; გამოიყენება შესაბამისი, მათ შორის პუდენდალური მონიტორინგი.

ტონუსის მდგრადი შემცირება მოძრაობის უკეთ გამოყენების შესაძლებლობას ქმნის, მაგრამ ძალის განვითარებასა და ახალი მოტორული ჩვევების ათვისებას თვეების რეაბილიტაცია სჭირდება. სიარულზე ორიენტირებული შერჩევისას მნიშვნელოვანია ძალა, სელექციური კონტროლი, დისტონიისა და კონტრაქტურის ხარისხი და ოჯახის მხარდაჭერა.

რეფლექსურ რკალზე მოქმედი მკურნალობის სამიზნეები



სურათი 2.42 — რეფლექსურ რკალზე მოქმედი მკურნალობის სამიზნეები.

სელექციური დორსალური რიზოტომია



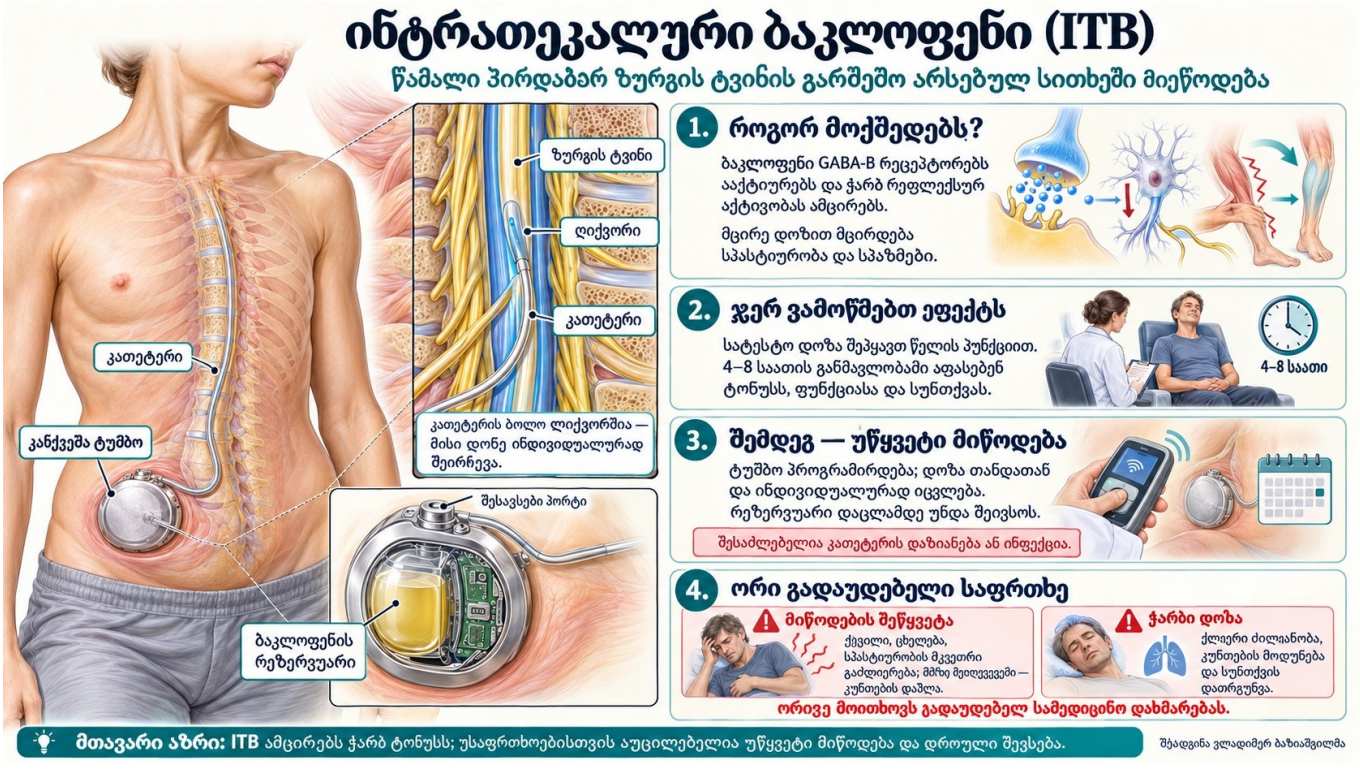
სურათი 2.43 — სელექციური დორსალური რიზოტომია.

ინტრათეკალური ბაკლოფენი (ITB)

მექანიზმი: ბაკლოფენი GABA-B რეცეპტორის აგონისტია. ინტრათეკალური მიწოდებით მცირე დოზა უშუალოდ ზურგის ტვინის გარემოში აღწევს. პერორალურ დოზასთან უნივერსალური 1:100 თანაფარდობა არ არსებობს; სისტემური და ცენტრალური გვერდითი მოვლენები მაინც შესაძლებელია. სკრინინგი: შესაბამის პირობებში ტესტ-ბოლუსი ხშირად იწყება 50 მკგ-ით; შემდეგი დოზები, საჭიროებისას 75 ან 100 მკგ, პროტოკოლით განისაზღვრება. ყოველი ტესტის შემდეგ ეფექტსა და უსაფრთხოებას 4–8 საათის განმავლობაში აკვირდებიან — ეს არ ნიშნავს, რომ მოქმედება მხოლოდ 4–8 საათში იწყება. იმპლანტაცია: პროგრამირებადი ტუმბო მუცლის კანქვეშ ან ფასციის ქვეშ თავსდება. კათეტერის ბოლო სამიზნე სიმპტომების მიხედვით განისაზღვრება; ქვედა კიდურებისთვის ხშირად ქვედა გულმკერდის დონე გამოიყენება, ზედა კიდურებისთვის — უფრო მაღალი მდებარეობა.

დოზირება: დოზა ინდივიდუალური ტიტრაციით განისაზღვრება. საორიენტაციო დიაპაზონი 100–900 მკგ/დღე მხოლოდ საორიენტაციო მაგალითია და საწყის დანიშნულებას არ წარმოადგენს. შევსების ინტერვალი დოზაზე, კონცენტრაციასა და რეზერვუარზეა დამოკიდებული. ტუმბოს ან კათეტერის გაუმართაობამ, ინფექციამ ან მიწოდების შეცდომამ მძიმე გართულება შეიძლება გამოიწვიოს. ბაკლოფენის უეცარი შეწყვეტისას ვითარდება ქავილი, მზარდი სპასტიურობა ან რიგიდობა, ჰიპერთერმია და მძიმე შემთხვევაში რაბდომიოლიზი. ჭარბმა დოზამ კი სუნთქვა შეიძლება დათრგუნოს. ორივე გადაუდებელ შეფასებას მოითხოვს; ცხელებისა და რიგიდობისას მოხსნის სინდრომი სეფსისსა და სხვა მიზეზებთან ერთად განიხილება.

ინტრათეკალური ბაკლოფენის სისტემა

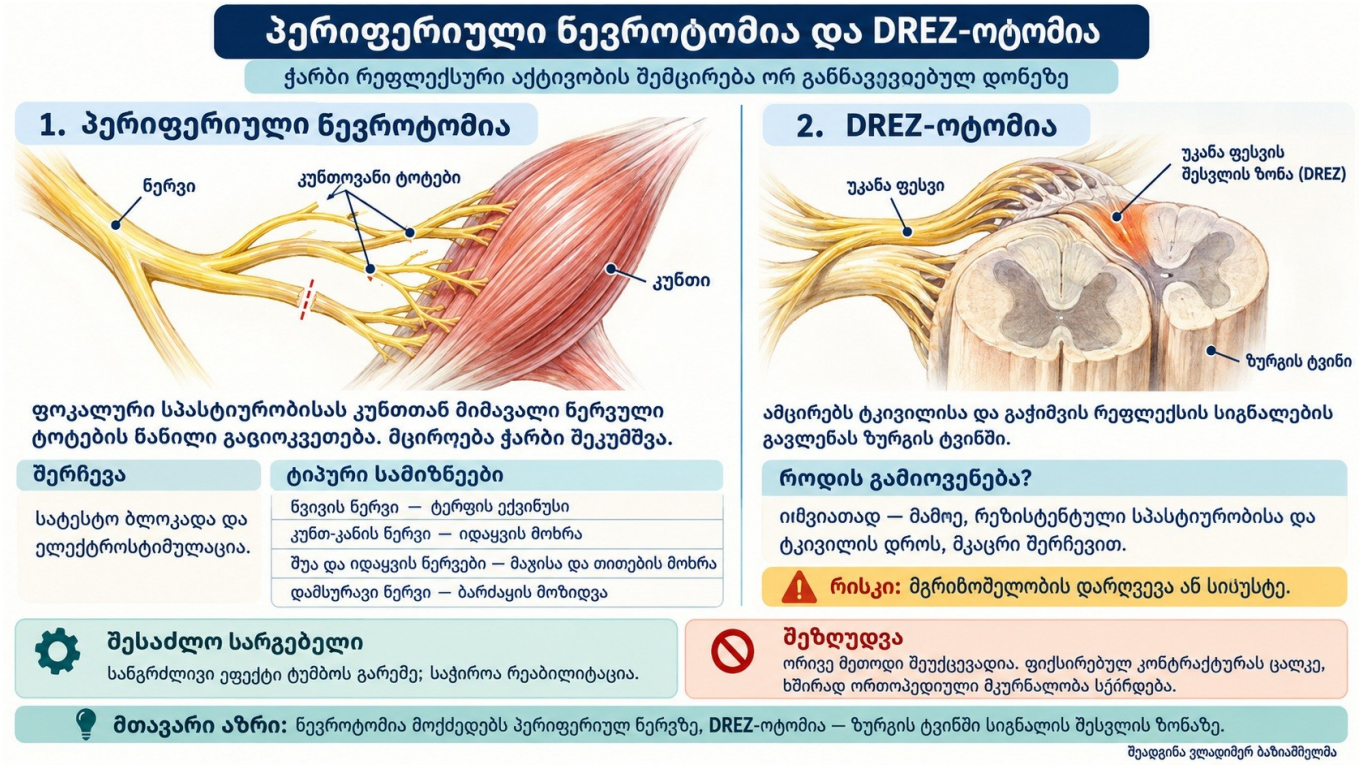


სურათი 2.44 — ინტრათეკალური ბაკლოფენის სისტემა.

პერიფერიული ნევროტომია და DREZ-ოტომია

სელექციური პერიფერიული ნევროტომია ფოკალური სპასტიურობისას კუნთამდე მიმავალ ზედმეტ გავლენას ამცირებს. გროსა და სინდუს სკოლების მიდგომებში კუნთოვანი ტოტების ნაწილი სტიმულაციის კონტროლით იკვეთება; აღწერილი 50–80% კონკრეტულ ნერვსა და ტექნიკაზეა დამოკიდებული. წვივის ნერვის ტოტები შეიძლება ტერფის ექვინუსის, კუნთ-კანის ნერვი იდაყვის მოხრის, შუა და იდაყვის ნერვების ტოტები მაჯისა და თითების, დამხურავი ნერვი კი ბარძაყის ჭარბი მოზიდვის სამიზნე იყოს. ბოტულინურ ტოქსინზე ან შესაბამის ბლოკადაზე პასუხი მოსალოდნელი ფუნქციური ცვლილების შეფასებას ეხმარება, მაგრამ ქირურგიულ შედეგს არ უზრუნველყოფს. მიკროქირურგიული DREZ-ოტომია უკანა ფესვის შესვლის ზონაზე მოქმედებს და მძიმე სპასტიურობისა და ტკივილის გარკვეულ კომბინაციებში განიხილება. ორივე მიდგომას მდგრადი ეფექტი შეიძლება ჰქონდეს ტუმბოს მომსახურების გარეშე, თუმცა შეუქცევადია. ფიქსირებული კონტრაქტურა დამატებით ორთოპედიულ შეფასებას მოითხოვს.

პერიფერიული ნევროტომია და DREZ-ოტომია



სურათი 2.45 — პერიფერიული ნევროტომია და DREZ-ოტომია.

ფუნქციური ქირურგიის ოთხი პრინციპი მოძრაობის დარღვევებისას

მოძრაობითი დარღვევების ფუნქციური ქირურგია მექანიზმისა და სამიზნის დაკავშირებას ეფუძნება. პარკინსონის დაავადებისას STN ან GPi, გარკვეული ტრემორისას Vim, დისტონიისას ხშირად GPi, სპასტიურობისას კი ზურგის ტვინის რეფლექსური წრე განიხილება. ამ სახელების ჩამონათვალი გადაწყვეტილებისთვის საკმარისი არ არის: კონკრეტულ პაციენტში წამყვანი სიმპტომი და მისი მკურნალობაზე მგრძნობელობა უნდა განისაზღვროს. დიაგნოზი, ლევოდოპაზე პასუხი, კოგნიცია, პაციენტის მიზნები და

თანმხლები რისკები ერთობლივად ფასდება. ნევროლოგი, ნეიროქირურგი, ნეიროფსიქოლოგი, ფსიქიატრი და რეაბილიტაციის გუნდი მკურნალობის სხვადასხვა მხარეს აფასებს. სიმპტომური გაუმჯობესება დაავადების განკურნებას არ უდრის; ლევოდოპაზე არარეაგირებადი ღერძული დარღვევები და ფიქსირებული კონტრაქტურა ხშირად დამატებით მიდგომას მოითხოვს.

კლინიკური მაგალითები

58 წ., პარკინსონი 9 წელი

ფლუქტუაციები და დისკინეზია; ლევოდოპის ტესტი 55%; კოგნიცია ნორმა. → ორმხრივი STN-DBS (ან GPi).

74 წ., ესენციური ტრემორი

დომინანტური ხელის ტრემორი, ანტიკოაგულანტები, ოპერაციის შიში. → ცალმხრივი MRgFUS-თალამოტომია ან გამა-დანა.

12 წ., TOR1A-დისტონია

გენერალიზებული, სწრაფად პროგრესირებადი, მედიკამენტებზე რეზისტენტული. → ორმხრივი GPi-DBS, ადრე.

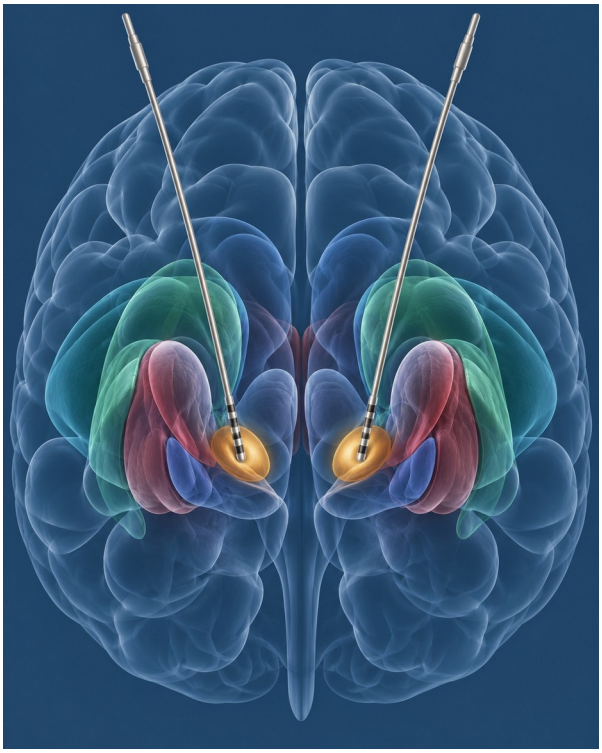
6 წ., სპასტიური დიპლეგია

ცერებრული დამბლა, GMFCS II, კარგი ძალა, თითებზე სიარული. → SDR + ინტენსიური რეაბილიტაცია.

ძირითადი დასკვნები

Nota bene სიმპტომებს ნაწილობრივ განსხვავებული ქსელები და მკურნალობაზე განსხვავებული მგრძნობელობა აქვს.

Nota bene ზოგ პაციენტში ტონუსი დგომას ეხმარება; მისი შემცირებისას სისუსტე შეიძლება უფრო თვალსაჩინო გახდეს.



სურათი 2.46 — ორმხრივი DBS ელექტროდების კონცეპტუალური რეკონსტრუქცია.

თავი 3

ტკივილის ფუნქციური ნეიროქირურგია



სურათი 3.1 — ტკივილის ფუნქციური ნეიროქირურგია.

ტკივილის სიგნალიდან ცნობიერ განცდამდე

ცხელ ზედაპირზე შეხებისას მავნე სითბო ნოციცეპტორის ელექტრულ სიგნალად გარდაიქმნება. Aδ და C ბოჭკოები მას ზურგის ტვინის უკანა რქამდე მიიტანს. დამცავი რეფლექსი ხელს შეიძლება მანამდე მოგვაცილებინებდეს, ვიდრე ტკივილს ცნობიერად გავიაზრებთ. ნოციცეფცია სიგნალის ნერვული დამუშავებაა; ტკივილი კი პიროვნული სენსორული და ემოციური გამოცდილებაა. ამიტომ ნერვული აქტივობის გაზომვა განცდის პირდაპირი გაზომვა არ არის. უკანა რქაში სიგნალი გადაერთვება, გაძლიერდება ან შეკავდება. სხეულიდან აღმავალი მნიშვნელოვანი გზა ჯვარედინდება და მოპირდაპირე მხარეს თალამუსისკენ მიდის. VPL სხეულის ინფორმაციას უკავშირდება, VPM — სახისას. ქერქული ქსელები მდებარეობას, ინტენსივობასა და უსიამოვნო მნიშვნელობას ამუშავებს. ინსულა, ACC და პრეფრონტალური უბნები ამ გამოცდილების სხვადასხვა ასპექტში მონაწილეობს.

PAG, RVM და სხვა ღეროვანი სისტემები უკანა რქამდე დაღმავალ კონტროლს აგზავნის. ამ გავლენამ ტკივილის გადაცემა შეიძლება შეასუსტოს ან გააძლიეროს. სწორედ მრავალდონიანი რეგულაცია ხსნის, რატომ არსებობს ქირურგიული სამიზნეები ნერვიდან ქერქამდე.

ალეგორიული შედარება. განგაშის სენსორი საფრთხეს აფიქსირებს, მაგრამ მართვის ცენტრი ადგენს მის მნიშვნელობას და პასუხს. ტკივილის სისტემა ამ ანალოგიაზე უფრო რთულია და პირად გამოცდილებასაც მოიცავს.

Nota bene ტკივილი და ნოციცეფცია დაკავშირებული, მაგრამ განსხვავებული ცნებებია.

მაგალითი: ხელი ცხელ ქვაბს შეეხო

ცხელ ქვაბზე შეხებისას პირველი ამოცანა საფრთხის აღმოჩენაა. ნოციცეპტორის დაბოლოებაზე, მათ შორის TRPV1 არხების მონაწილეობით, მავნე სითბო ელექტრულ სიგნალად გარდაიქმნება. ამას ტრანსდუქცია ეწოდება. სიგნალი Aδ და C ბოჭკოებით, უკანა ფესვის განგლიონის (DRG) გავლით, ზურგის ტვინის უკანა რქამდე მიდის. Aδ ბოჭკოებთან დაკავშირებული პირველი ტკივილი უფრო სწრაფი და მკვეთრია; C ბოჭკოებთან დაკავშირებული მეორე ტკივილი ხშირად მწველი და გახანგრძლივებულია. ხელის მოცილების დამცავი რეფლექსი ზურგის ტვინის წრეებით შეიძლება მანამდე დაიწყოს, ვიდრე შეგრძნებას ცნობიერად გავიაზრებთ.

უკანა რქიდან მეორე ნეირონების ნაწილი ჯვარედინდება და სპინოთალამური გზით თალამუსისკენ ადის. სომატოსენსორული ქერქი მდებარეობისა და ინტენსივობის გარჩევას ეხმარება, ინსულა და წინა სარტყლისებრი ქერქი (ACC) კი სხეულებრივი მდგომარეობისა და უსიამოვნო მნიშვნელობის დამუშავებაში მონაწილეობს. PAG–RVM-ის დაღმავალი სისტემა გადაცემას უკან, ზურგის ტვინის დონეზე ცვლის. ამ მრავალდონიანი მოწყობიდან გამომდინარეობს ჩარევის მრავალფეროვნებაც. კომპრესირებული ნერვის გათავისუფლება MVD-ის ამოცანაა; DRG-სტიმულაცია განგლიონის მიდამოზე მოქმედებს; DREZ-ოტომია — უკანა ფესვის შესვლის ზონაზე; კორდოტომია — აღმავალ გზაზე. DBS და მოტორული ქერქის სტიმულაცია უფრო ცენტრალურ ქსელებზე ზემოქმედებს, ცინგულოტომია კი შერჩეულ შემთხვევებში ტკივილის აფექტურ ტვირთს ამცირებს.

Nota bene ტკივილი პიროვნული სენსორული და ემოციური გამოცდილებაა; ნოციცეფცია მავნე სტიმულის ნერვული დამუშავებაა. ეს პროცესები მჭიდროდ უკავშირდება ერთმანეთს, მაგრამ ერთი და იგივე არ არის.

ცხელი ქვაბიდან ტკივილის განცდამდე

1. ტრანსდუქცია

მავნე სითბო ნერვულ სიგნალად იქცევა.

2. გადაცემა

Aδ და C ბოჭკოები სიგნალს უკანა რქამდე მიიტანს.

3. აღმავალი გზა

მეორე ნეირონი ჯვარედინდება და თალამუსისკენ ადის.

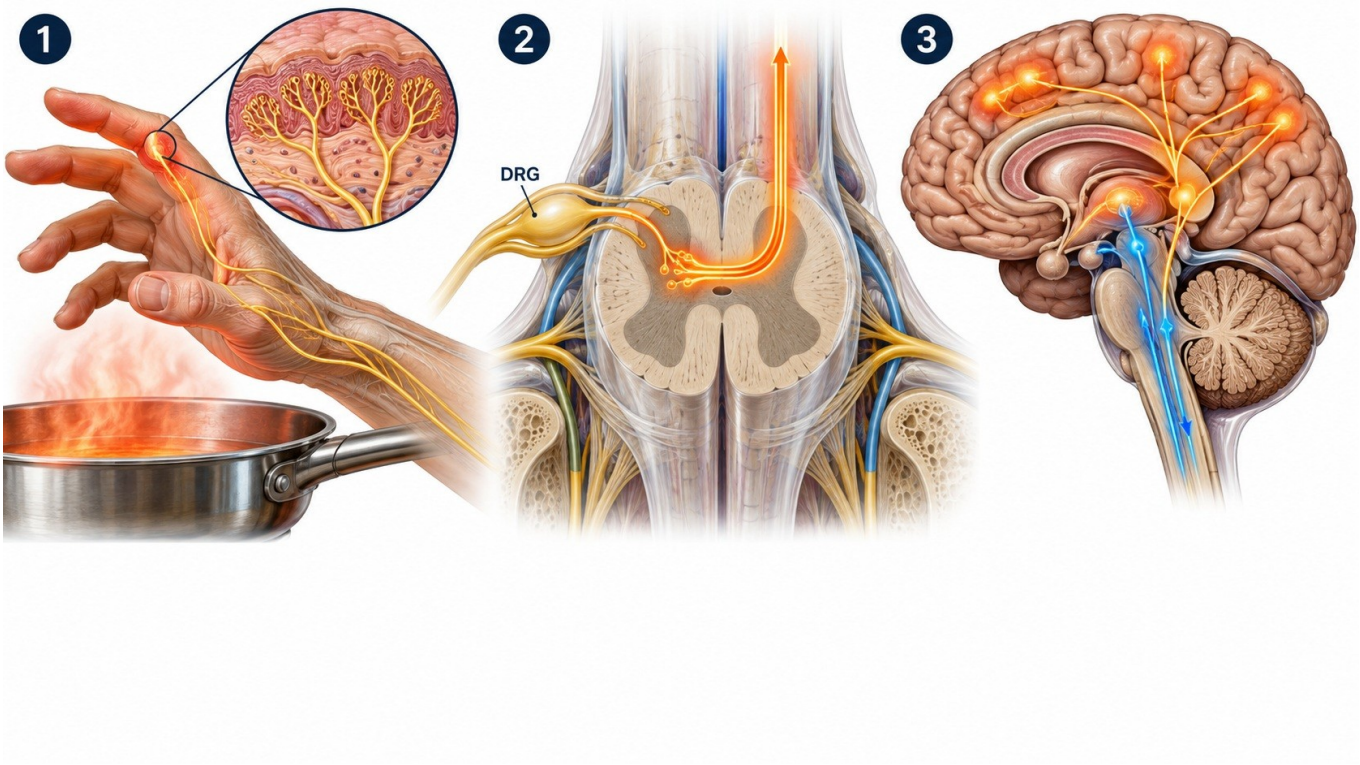
4. აღქმა

ქერქულ ქსელში ყალიბდება ტკივილის გამოცდილება.

5. მოდულაცია

დაღმავალი გზები გადაცემას აძლიერებს ან ასუსტებს.

Nota bene ხელის მოცილების დამცავი რეფლექსი ცნობიერ აღქმამდე შეიძლება დაიწყოს.



სურათი 3.2 — ცხელი ქვაბიდან ტკივილის განცდამდე.

ნოციცეპტორები და ნერვული ბოჭკოები

ნოციცეპტორი თავისუფალი ნერვული დაბოლოებაა, რომელიც მავნე მექანიკურ, თერმულ ან ქიმიურ ზემოქმედებას პასუხობს. ამ პასუხში მონაწილეობს სხვადასხვა იონური არხი, მათ შორის TRPV1, TRPA1 და ASIC. სიგნალის სიჩქარე ბოჭკოს დიამეტრსა და მიელინზეა დამოკიდებული. თხელი მიელინიანი Aδ ბოჭკოები სიგნალს დაახლოებით 5–30 მ/წმ სიჩქარით ატარებს და სწრაფ, მკვეთრ ტკივილში მონაწილეობს. უმიელინო C ბოჭკოებში სიჩქარე დაახლოებით 0.5–2 მ/წმ-ია; მათი აქტივობა ხშირად ნელ, მწველ ტკივილს უკავშირდება. ანთებისას მანამდე ნაკლებად აქტიური, ე.წ. „მძინარე“ ნოციცეპტორებიც შეიძლება გააქტიურდეს. სქელი მიელინიანი Aβ ბოჭკოები უმთავრესად შეხებისა და ვიბრაციის ინფორმაციას ატარებს. მათ შეუძლიათ უკანა რქის შემაკავებელი წრეების ჩართვაც, რაც „კარიბჭის“ მოდელისა და ტრადიციული SCS-ის ახსნის ერთ-ერთი საფუძველია. პირველი მგრძნობიარე ნეირონის სხეული DRG-ში მდებარეობს; ნეიროპათიისას ეს უბანი პათოლოგიური, ექტოპური აქტივობის წყაროც შეიძლება გახდეს.

Nota bene ბოჭკოს მიელინი და დიამეტრი სიგნალის სიჩქარეზე მოქმედებს.

Na-არხები (Nav1.7, Nav1.8) პერიფერიული ნეიროპათიური ტკივილის მნიშვნელოვანი მექანიზმია. Nav1.7-ის მუტაციები იწვევს ან ტკივილის თანდაყოლილ უგრძნობლობას, ან ერითრომელალგიას.

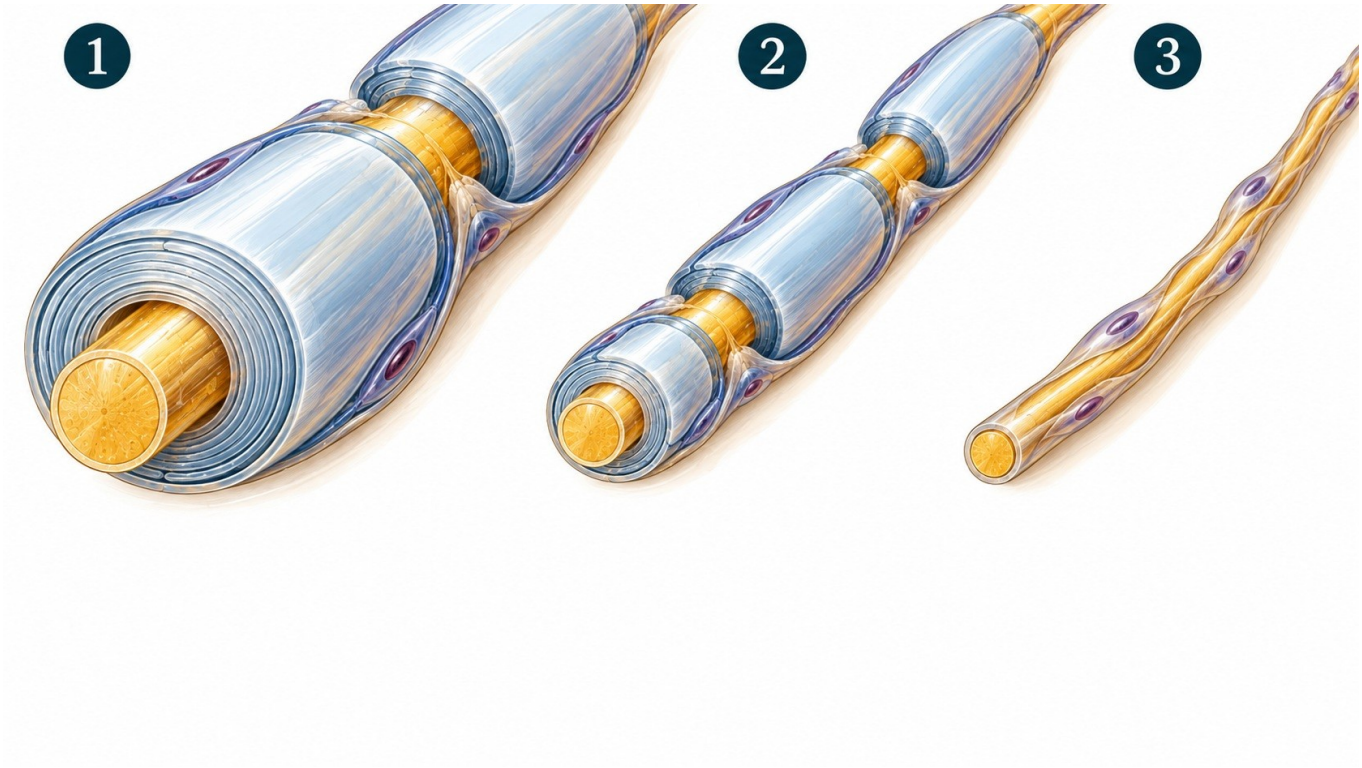
ნერვული ბოჭკოები: რატომ განსხვავდება შეგრძნება?

1. Aβ: სქელი მიელინიანი ბოჭკო შეხებასა და ვიბრაციას სწრაფად გადასცემს.

2. Aδ: თხელი მიელინიანი ბოჭკო სწრაფ, მკვეთრ ტკივილში მონაწილეობს.

3. C: უმიელინო ბოჭკო ნელ, მწველ და გახანგრძლივებულ ტკივილში მონაწილეობს.

Nota bene პირველი და მეორე ტკივილი ნაწილობრივ გადაცემის განსხვავებული სიჩქარით აიხსნება.



სურათი 3.3 — ნერვული ბოჭკოები: რატომ განსხვავდება შეგრძნება?.

უკანა რქა: პირველი „დამუშავების ცენტრი“

უკანა რქა უბრალო გადასართავი სადგური არ არის: იგი შემოსულ ინფორმაციას ამუშავებს. რექსედის I ფირფიტა მარგინალური ზონაა, II ფირფიტა — ჟელატინოვანი სუბსტანცია, სადაც ბევრი ადგილობრივი ინტერნეირონია; V ფირფიტაში გვხვდება ფართო დინამიკური დიაპაზონის, WDR ნეირონები. შემომავალი ბოჭკოების ნაწილი ლისაუერის ტრაქტში ერთი–ორი სეგმენტით ზემოთ ან ქვემოთ მიდის, შემდეგ კი უკანა რქაში ერთვება. მელზაკისა და უოლის „კარიბჭის“ თეორია აღწერს, როგორ შეიძლება სქელი მგრძნობიარე ბოჭკოებით მიღებულმა ინფორმაციამ ადგილობრივი შემაკავებელი მოქმედება გააძლიეროს. ყოველდღიური მაგალითია დარტყმული ადგილის მოსრესა: შეხება ზოგჯერ ტკივილის განცდას ამცირებს, თუმცა ყველა ტკივილს ერთნაირად ვერ ცვლის.

ხანგრძლივი ან ძლიერი შემავალი აქტივობისას სისტემა შეიძლება ზედმეტად მგრძნობიარე გახდეს. NMDA რეცეპტორები, განმეორებაზე პასუხის გაძლიერება — wind-up, შეკავების ცვლილება და მიკროგლიის მონაწილეობა ცენტრალური სენსიტიზაციის სხვადასხვა კომპონენტია. უკანა ფესვის შესვლის ზონა — DREZ — ლისაუერის ტრაქტსა და ზედაპირულ უკანა რქასთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული, რაც ამ მიდამოზე შერჩევითი ჩარევის ანატომიურ საფუძველს ქმნის.

Nota bene უკანა რქა სიგნალს ამუშავებს და შეუძლია მისი გაძლიერებაც და შეკავებაც.

DREZ-ოტომიისას სამიზნე სტრუქტურებთან ახლოს კორტიკოსპინალური გზა და უკანა სვეტები მდებარეობს. ზოგ კლასიკურ აღწერაში დაახლოებით 45° მიმართულება და 2 მმ სიღრმე გამოიყენება, თუმცა ეს უნივერსალური საოპერაციო პარამეტრები არ არის: მდებარეობა, ტექნიკა და ინდივიდუალური ანატომია უსაფრთხო საზღვრებს განსაზღვრავს.

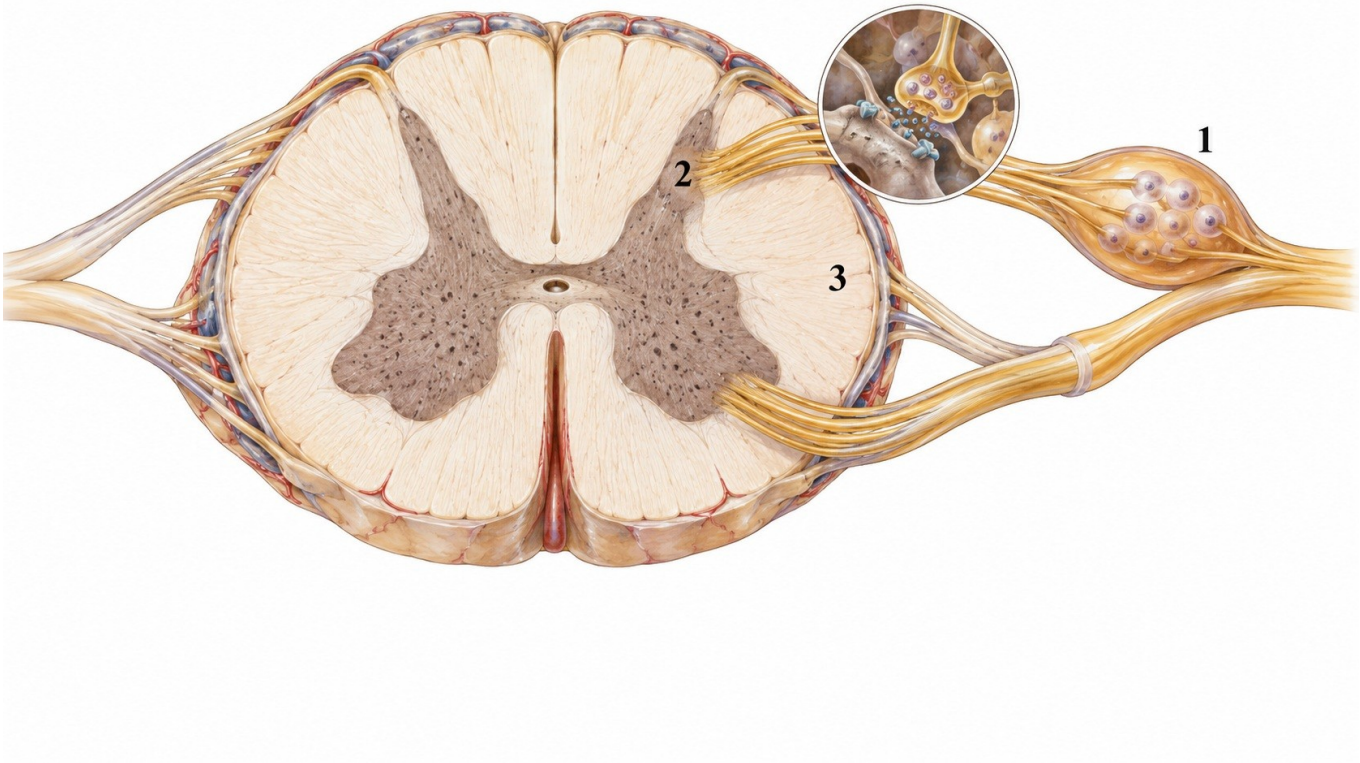
უკანა რქა: სიგნალის შესვლა და დამუშავება

1. DRG: უკანა ფესვის განგლიონში პირველი მგრძნობიარე ნეირონის სხეულია.

2. უკანა რქა: აქ სიგნალი გადაერთვება და ადგილობრივი ნეირონებით რეგულირდება.

3. თეთრ ნივთიერებაში ზურგის ტვინის გამტარი გზები გადის.

Nota bene შემავალი სიგნალის გაძლიერება ან შეკავება უკვე ზურგის ტვინში იწყება.



სურათი 3.4 — უკანა რქა: სიგნალის შესვლა და დამუშავება.

აღმავალი გზები: მდებარეობა და უსიამოვნო განცდა

სხეულიდან ტკივილისა და ტემპერატურის სიგნალი უკანა რქაში გადაერთვება. მეორე ნეირონის აქსონი წინა თეთრ კომისურაში ჯვარედინდება და მოპირდაპირე მხარეს ადის. ლატერალური სისტემა თალამუსის VPL ბირთვსა და სომატოსენსორულ ქერქს უკავშირდება. იგი გვეხმარება გავიგოთ, სად გვტკივა და რამდენად ძლიერად. სახის ინფორმაცია სამწვერა ნერვის სისტემით თალამუსის VPM ბირთვამდე მიდის. ეს გზა სხეულის სპინოთალამური გზისგან უნდა განვასხვაოთ. მედიალური და სხვა პარალელური კავშირები ღეროს, თალამუსს, ინსულას, ACC-სა და ამიგდალას მოიცავს. ისინი მონაწილეობს ტკივილის ემოციურ და მოტივაციურ მნიშვნელობაში. ეს სასწავლო დაყოფაა. რეალურად სენსორული, ემოციური და შემეცნებითი პროცესები ურთიერთდაკავშირებულ ქსელში მუშაობს.

Nota bene სხეული ძირითადად VPL-ს, სახე კი VPM-ს უკავშირდება.

აღმავალი გზები: სიგნალი რამდენიმე ქსელში ნაწილდება

წითელი: აღმავალი გზები.

Thalamus — თალამუსი.

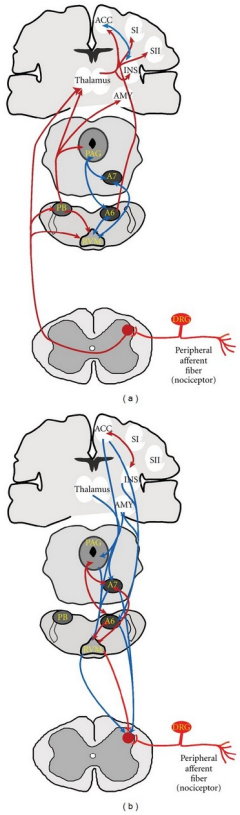
SI/SII — სომატოსენსორული ქერქი.

ACC — სარტყლისებრი ქერქი.

INS — ინსულა.

Ossipov MH. Scientifica 2012. Fig. 1a.

Nota bene ტკივილს ერთ ხაზზე მეტად ურთიერთდაკავშირებული ქსელი ამუშავებს.



სურათი 3.5 — აღმავალი გზები: სიგნალი რამდენიმე ქსელში ნაწილდება.

ტკივილის აღქმა: ქერქული ქსელი

S1 და S2 სომატოსენსორული უბნები გვეხმარება ტკივილის მდებარეობის, ინტენსივობისა და ხასიათის გარჩევაში. ინსულა სხეულის შინაგან მდგომარეობას და მის მნიშვნელობას ამუშავებს. უკანა ინსულისა და ზოგიერთი ოპერკულური უბნის სტიმულაციამ შეიძლება ტკივილის განცდა გამოიწვიოს. წინა სარტყლისებრი ქერქი (ACC) მონაწილეობს ტკივილის უსიამოვნო განცდაში, ყურადღებასა და მოქმედების მოტივაციაში. პრეფრონტალური ქერქი გამოცდილებასა და მოლოდინს უკავშირებს ტკივილის შეფასებას. ამ ქსელის აქტივობა მხოლოდ ტკივილისთვის სპეციფიკური არ არის. ცინგულოტომიის მიზანი შერჩეულ

შემთხვევებში ტკივილით გამოწვეული ტანჯვის შემცირებაა. შეგრძნების სრული გაქრობა აუცილებელი შედეგი არ არის.

Nota bene ტკივილის განცდას ურთიერთდაკავშირებული უბნები ქმნის.

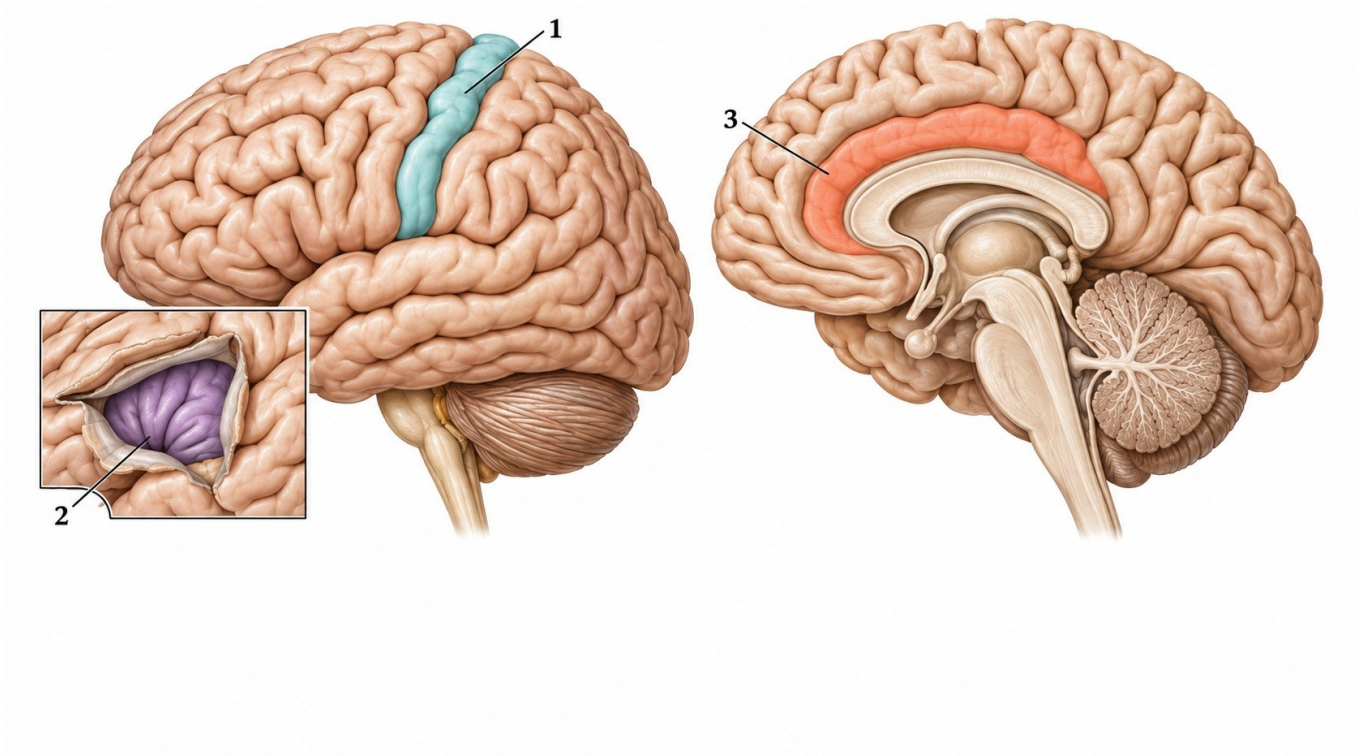
ტკივილის აღქმის სამი მნიშვნელოვანი უბანი

1. S1: სად გვტკივა? სომატოსენსორული ქერქი სხეულის უბნის გარჩევას ეხმარება.

2. ინსულა: როგორ ვგრძნობთ სხეულის მდგომარეობას და ტკივილის მნიშვნელობას?

3. ACC: რამდენად უსიამოვნოა განცდა და როგორ ვრეაგირებთ მასზე?

Nota bene სასწავლო დაყოფა გამარტივებულია. უბნები ერთობლივად და სხვა ქსელებთან ერთად მუშაობს.



სურათი 3.6 — ტკივილის აღქმის სამი მნიშვნელოვანი უბანი.

დაღმავალი მოდულაცია: PAG და RVM

ტკივილის გადაცემას ტვინი ზურგის ტვინისკენ მიმართული გზებითაც ცვლის. ქერქის, ამიგდალისა და ჰიპოთალამუსის გავლენა წყალსადენის გარშემო რუხ ნივთიერებას — PAG-ს — უკავშირდება; შემდგომი კავშირები მოიცავს მოგრძო ტვინის როსტროვენტრომედიალურ უბანს — RVM-ს — და უკანა რქას. ამ რეგულაციაში ენდოგენური ოპიოიდები, სეროტონინი და ნორადრენალინი მონაწილეობს. მასთან არის დაკავშირებული ოპიოიდებისა და ზოგი ანტიდეპრესანტის, მათ შორის SNRI-ის, მოქმედების ნაწილი; ტკივილზე მოლოდინის გავლენაც ამ ქსელებს შეიძლება მოიცავდეს. დაღმავალი სისტემა მხოლოდ შემაკავებელი არ არის: RVM-ის გარკვეული უჯრედები ტკივილის გადაცემას აძლიერებს.

რეინოლდსის 1969 წლის ექსპერიმენტმა ვირთაგვაში PAG-ის სტიმულაციით ძლიერი ანალგეზია აჩვენა. მოგვიანებით ჰოსობუჩისა და რიჩარდსონის მუშაობამ PAG/PVG-ის სტიმულაციის კლინიკური შესაძლებლობები შეისწავლა. ისტორიული წარმატება ყველა ქრონიკული ტკივილისთვის ეფექტურობას არ ნიშნავს; ამ სამიზნეების გამოყენება შერჩევითია.

Nota bene დაღმავალ კონტროლს შეუძლია ნოციცეპტიური გადაცემის შემცირებაც და გაძლიერებაც.

დაღმავალი კონტროლი: ტკივილის გაძლიერება და შეკავება

PAG — წყალსადენის გარშემო რუხი ნივთიერება. RVM — მოგრძო ტვინის როსტროვენტრომედიალური უბანი.

A6/A7 — ნორადრენერგული ბირთვები.

მათი გავლენა უკანა რქამდე აღწევს.

Ossipov MH. Scientifica 2012. Fig. 1b.

Nota bene დაღმავალი კონტროლი ორმხრივია: მას შეუძლია ტკივილი შეამციროს ან გააძლიეროს.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 3.5.

ტკივილის ტიპები და ქრონიზაცია

ნოციცეპტიური ტკივილი არანერვული ქსოვილის რეალურ ან მოსალოდნელ დაზიანებასთან და ნოციცეპტორების გააქტიურებასთანაა დაკავშირებული. ნეიროპათიური ტკივილი სომატოსენსორული სისტემის დაზიანებით ან დაავადებით აიხსნება. ნოციპლასტიკური ტკივილისას ნოციცეფცია შეცვლილია, მაგრამ ტკივილს არც შესაბამისი ქსოვილოვანი დაზიანება და არც სომატოსენსორული სისტემის დაზიანება საკმარისად არ ხსნის. მექანიზმები შეიძლება თანაარსებობდეს. დაზიანებულ ნერვში სპონტანური განმუხტვა, უკანა რქის ჰიპერაგზნებადობა და შეკავების დაქვეითება ტკივილს ინარჩუნებს. ალოდინია ჩვეულებრივ უმტკივნეულო სტიმულზე ტკივილია; ჰიპერალგეზია მტკივნეულ სტიმულზე გაძლიერებული პასუხია. ქრონიკულ ტკივილში ძილი, განწყობა, მოლოდინი და სოციალური გარემოც მონაწილეობს. ეს ფაქტორები ტკივილის რეალურობას არ უარყოფს.

მკურნალობის არჩევანი მექანიზმიდან გამომდინარეობს. კომპრესიის მოხსნა, ნერვული ქსელის მოდულაცია და გამტარი გზის ლეზია ერთმანეთის შემცვლელი უნივერსალური მეთოდები არ არის. განსაკუთრებით ნოციპლასტიკური ტკივილისას მხოლოდ სიმპტომის სიმძიმე ქირურგიულ ჩვენებას ვერ ქმნის.

ალეგორიული შედარება. სიგნალიზაციამ შეიძლება რეალურ ხანძარზე იმუშაოს, დაზიანებული სადენის გამო ჩაირთოს ან ზედმეტად მგრძნობიარედ გადაეწყოს. ყველა შემთხვევაში ერთი ნაწილის გადაჭრა სწორი გამოსავალი არ იქნება.

Nota bene ჯერ განვსაზღვრავთ მექანიზმს და მხოლოდ შემდეგ ვეძებთ ჩარევის შესაბამის წერტილს.

ტკივილის სამი მექანიზმური ტიპი

IASP

Nota bene მექანიზმები შეიძლება თანაარსებობდეს. ტიპი ოპერაციის ავტომატური ჩვენება არ არის.

ცხრილი 3.1 — ტკივილის სამი მექანიზმური ტიპი

ტიპი	მექანიზმი	მაგალითები	ქირურგიული მნიშვნელობა
ნოციცეპტიური	ქსოვილის რეალური ან პოტენციური დაზიანება; ნოციცეპტორის აქტივაცია	ონკოლოგიური ინფილტრაცია, ართროზი, ტრავმა	შერჩევით: IT-თერაპია, კორდოტომია
ნეიროპათიური	სომატოსენსორული სისტემის დაზიანება ან დაავადება	ნევრალგია, რადიკულოპათია, ავულსია, ინსულტის შემდეგ	მიზეზის მიხედვით: დეკომპრესია ან მოდულაცია
ნოციპლასტიკური (2017)	შეცვლილი ნოციცეფცია, რომელსაც ქსოვილის ან ნერვის დაზიანება სრულად ვერ ხსნის	ფიბრომიალგია, ქრონიკული პირველადი ტკივილი	ქირურგია, როგორც წესი, არ არის ნაჩვენები
შერეული	რამდენიმე მექანიზმი ერთად	PSPS, CRPS, ონკოლოგიური ტკივილი	კომბინირებული, ეტაპობრივი მიდგომა

ნოციპლასტიკური ტკივილის გამოყოფა მნიშვნელოვანია: ამ პაციენტებზე დესტრუქციული ოპერაცია არა მხოლოდ არაეფექტურია, არამედ შეიძლება ახალი ნეიროპათიური ტკივილიც გამოიწვიოს.

ნეიროპათიური ტკივილი: რატომ რჩება ტკივილი დაზიანების შემდეგ?

ნერვის დაზიანების შემდეგ სიგნალი შესაძლოა ჩვეულებრივი პერიფერიული სტიმულის გარეშეც წარმოიქმნას. ნატრიუმის არხების ცვლილებები დაზიანებულ ნერვსა და DRG-ში ექტოპურ განმუხტვას უწყობს ხელს. მეზობელ ბოჭკოებს შორის პათოლოგიურ, ეფაპტურ გადაცემას ხატოვნად „მოკლე ჩართვას“ ადარებენ. ცენტრალურ სისტემაში შეიძლება გაიზარდოს უკანა რქის ნეირონების აგზნებადობა და შემცირდეს შემაკავებელი კონტროლი. შედეგად, ჩვეულებრივ უმტკივნეულო შეხება მტკივნეული ხდება — ეს ალოდინიაა; მტკივნეულ სტიმულზე გადაჭარბებულ პასუხს კი ჰიპერალგეზია ეწოდება. დეაფერენტაციისას, მაგალითად ფესვის ავულსიის ან ამპუტაციის შემდეგ, ნორმალური შემავალი სიგნალი იკარგება, მაგრამ ტკივილი აუცილებლად არ ქრება. უკანა რქაში, თალამუსსა და ქერქულ ქსელებში შეცვლილმა აქტივობამ ტკივილი შეიძლება შეინარჩუნოს.

ფანტომური და ინსულტის შემდგომი ტკივილის დროს ქსელური რეორგანიზაციაც მონაწილეობს; ეს ცენტრალური მოდულაციის შესწავლის ერთ-ერთი საფუძველია.

Nota bene ნერვის დაზიანების შემდეგ ტკივილის სისტემა თვითონ შეიძლება გახდეს ჰიპერაგზნებადი.

დესტრუქციულ ჩარევას თავადაც შეუძლია დეაფერენტაცია და ახალი ნეიროპათიური ტკივილი გამოიწვიოს. ამიტომ სარგებელი და ხანგრძლივი რისკი წინასწარ ფასდება. ზოგი ლეზიური მეთოდი განსაკუთრებით პალიატიურ ონკოლოგიურ დახმარებაში გამოიყენება, თუმცა ყველა ასეთი ჩარევა მხოლოდ შეზღუდული სიცოცხლის პროგნოზის მქონე პაციენტებით არ შემოიფარგლება.

ნერვის დაზიანებიდან მუდმივ ტკივილამდე

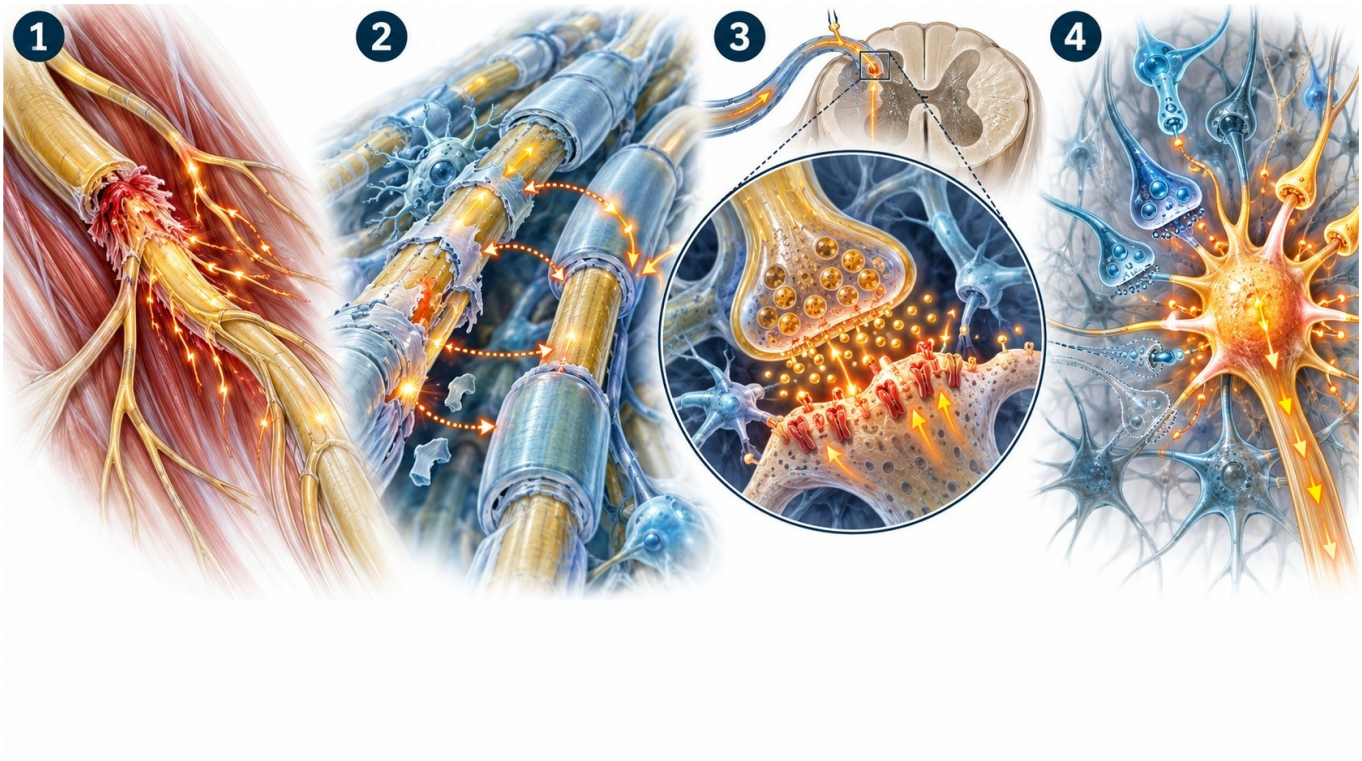
1. დაზიანებულ ნერვში სპონტანური განმუხტვა წარმოიქმნება.

2. მეზობელ ბოჭკოებს შორის პათოლოგიური გადაცემა ჩნდება.

3. უკანა რქის პასუხი ზედმეტად ძლიერდება.

4. შემაკავებელი კონტროლი სუსტდება.

Nota bene ალოდინია არის ტკივილი ჩვეულებრივ უმტკივნეულო სტიმულზე.



სურათი 3.7 — ნერვის დაზიანებიდან მუდმივ ტკივილამდე.

ტკივილის ქრონიზაცია

ქრონიკულია ტკივილი, რომელიც სამ თვეზე მეტხანს გრძელდება ან მეორდება. ICD-11 განასხვავებს პირველად და მეორად ქრონიკულ ტკივილს. ხანგრძლივი ტკივილი მხოლოდ

გახანგრძლივებული მწვავე სიგნალი არ არის: მასში ნერვული სისტემის ადაპტაცია, ძილი, განწყობა და სოციალური გარემოც მონაწილეობს. კატასტროფიზაციამ, მოძრაობის შიშმა და აქტივობისგან თავის არიდებამ შეიძლება ფუნქციური შეზღუდვა გაამყაროს. დეპრესია და უძილობა ტკივილის გამოცდილებას ამძიმებს, ტკივილი კი თავის მხრივ ამ პრობლემებს აძლიერებს. გამოთქმა „ტკივილი მეხსიერებად იქცევა“ ამ მდგრად ცვლილებებს ხატოვნად აღწერს და ტკივილის გამოგონილობას არ გულისხმობს.

ხანგრძლივი ოპიოიდური მკურნალობისას გასათვალისწინებელია ტოლერანტობა, დამოკიდებულება და ზოგ შემთხვევაში ოპიოიდით გამოწვეული ჰიპერალგეზია. ამიტომ ფსიქოლოგიური მხარდაჭერა, რეაბილიტაცია და მედიკამენტების შეფასება მკურნალობის საერთო ნაწილია. ქირურგიული ჩარევა შერჩეულ პაციენტებს ეხმარება და მულტიდისციპლინურ დახმარებას ავსებს.

Nota bene ტკივილის რეალურობა არ არის დამოკიდებული იმაზე, ვპოულობთ თუ არა მისი სიმძიმის შესაბამის დაზიანებას ერთ გამოსახულებაზე.

რატომ შეიძლება გახანგრძლივდეს ტკივილი?

1. ბიოლოგიური: ნერვული სისტემის სენსიტიზაცია ტკივილის პასუხს აძლიერებს.

2. ფსიქოლოგიური: შიში, უძილობა და განწყობის ცვლილება გამოცდილებას ამძიმებს.

3. სოციალური: მხარდაჭერა და ეტაპობრივი აქტივობა ფუნქციის აღდგენას ეხმარება.

Nota bene ეს ფაქტორები ტკივილის რეალურობას არ უარყოფს. ისინი მკურნალობის მიმართულებებს გვიჩვენებს.



სურათი 3.8 — რატომ შეიძლება გახანგრძლივდეს ტკივილი?.

მექანიზმიდან ოპერაციამდე

Nota bene ცხრილი აჩვენებს მეთოდის ლოგიკას. არჩევანი ინდივიდუალურია.

ცხრილი 3.2 — მექანიზმიდან ოპერაციამდე

მექანიზმი	ოპერაციის ლოგიკა	მეთოდები	ტიპური ჩვენება
ნერვის კომპრესია	მიზეზის მოხსნა	MVD, დეკომპრესია	კლასიკური ნევრალგია შესაბამისი კომპრესიით
ნერვის პათოლოგიური განმუხტვა	ნაწილობრივი დაზიანება	RF, გლიცეროლი, ბალონი, SRS	შერჩეული რეზისტენტული ნევრალგია
ნეიროპათიური, ლოკალიზებული	მოდულაცია	SCS, DRG, PNS	PSPS, CRPS, ნეიროპათია
დეაფერენტაცია, ცენტრალური	სპეციფიკური სინდრომის მიხედვით	DREZ, MCS, DBS: შერჩევით	ავულსია; სხვა სინდრომი შერჩევით
ლოკალური ონკოლოგიური	გზის გადაკვეთა	კორდოტომია, მიელოტომია	მეზოთელიომა, მენჯის სიმსივნე
გავრცელებული, რეზისტენტული	წამლის მიწოდება ცნს-ში	ინტრათეკალური ტუმბო	ონკოლოგიური, სპასტიურობა+ტკივილი
აფექტური კომპონენტი	მედიალური სისტემა	ცინგულოტომია; კვლევითი ACC-DBS	რეზისტენტული ონკოლოგიური ტკივილი

ცხრილი 3.2 აერთიანებს ტკივილის მექანიზმს, ანატომიურ დონესა და შესაძლო ქირურგიულ მოქმედებას.

პაციენტის შეფასება და მკურნალობის მიზანი

კითხვა „რამდენად გტკივათ?“ მნიშვნელოვანია, მაგრამ არასაკმარისი. უნდა ვიცოდეთ სად, როგორი სტიმულით და რა ხასიათის ტკივილი ჩნდება, რომელი ფუნქცია იზღუდება და რას ელოდება პაციენტი მკურნალობისგან. გასინჯვა, MRI, საჭიროებისას ელექტრონეირომიოგრაფია და დიაგნოსტიკური ბლოკადა ერთმანეთის შემავსებელი მონაცემებია. კითხვარები ნეიროპათიური კომპონენტის ამოცნობას ეხმარება; დიაგნოზს მარტო ვერ ადგენს. ძილისა და განწყობის შეფასება მკურნალობის გეგმის ნაწილია. ფსიქოლოგიური შეფასების მიზანია პრობლემის უკეთ გაგება და მხარდაჭერა, არა ტკივილის „არარეალურად“ გამოცხადება. ინვაზიური მკურნალობის წინ უნდა ჩამოყალიბდეს გაზომვადი მიზანი: მეტი სიარული, უკეთესი ძილი, ნაკლები წამლის ტოქსიკურობა ან მოვლის გაადვილება. SCS-ისა და DRG-ის საცდელი ეტაპი ინდივიდუალური სარგებლის შეფასებას ემსახურება. რისკი, მომსახურების შესაძლებლობა და პაციენტის არჩევანი გადაწყვეტილებაში თავიდანვე მონაწილეობს.

ალეგორიული შედარება. სასწორის ერთი რიცხვი ადამიანის ჯანმრთელობას სრულად ვერ აღწერს; ტკივილის ქულაც მხოლოდ ერთი საზომია.

Nota bene ტკივილის შემცირებასთან ერთად უნდა შეფასდეს ყოველდღიური ფუნქცია და მკურნალობის ტვირთი.

როგორ ვაფასებთ ტკივილს?

ტკივილის ინტენსივობა შეიძლება შეფასდეს ვიზუალური ანალოგური სკალით (VAS) ან 0–10-ქულიანი რიცხვითი სკალით (NRS). თუმცა ერთი ქულა ვერ გვიჩვენებს, რა იწვევს ტკივილს და როგორ ზღუდავს იგი ცხოვრებას. ნეიროპათიურ კომპონენტზე მიგვანიშნებს DN4, painDETECT და LANSS, ხოლო გასინჯვით ფასდება, მათ შორის, ალოდინია და ჰიპესთეზია. BPI, წელის ტკივილისას ODI და ცხოვრების ხარისხის EQ-5D კითხვარები შედეგის სხვადასხვა მხარეს აღწერს. შეფასებაში შედის ძილი, მუშაობა, დეპრესია, შფოთვა, კატასტროფიზაცია, ნივთიერებების მოხმარება და მოლოდინი. MRI, ელექტრონეირომიოგრაფია ან დიაგნოსტიკური ბლოკადა გამოიყენება კლინიკური ამოცანის შესაბამისად.

Nota bene ერთი რიცხვი საკმარისი არ არის. საჭიროა მექანიზმისა და ფუნქციის შეფასებაც.

ტკივილის ნახაზი (პაციენტი თავად ხატავს ტკივილის არეს) SCS-ის დაგეგმვისას განსაკუთრებით სასარგებლოა: ის აჩვენებს, სად უნდა დაიფაროს ტკივილი პარესთეზიით ან სტიმულაციით.

ტკივილის შეფასება: ინტენსივობა და ფუნქცია

NRS: რამდენად ძლიერია ტკივილი ახლა?

0 — ტკივილი არ არის

10 — ყველაზე ძლიერი წარმოსადგენი ტკივილი

მეორე კითხვა: რას ვეღარ აკეთებთ ტკივილის გამო?

ძილი • სიარული • ჩაცმა • მუშაობა

DN4 და მსგავსი კითხვარები ნეიროპათიურ კომპონენტზე მიგვანიშნებს, მაგრამ კლინიკურ გამოკვლევას ვერ ცვლის.

Nota bene შედეგი ინტენსივობის შემცირებასთან ერთად ფუნქციის გაუმჯობესებითაც ფასდება.

ვინ შეიძლება იყოს ქირურგიული კანდიდატი?

ჯერ უნდა განვსაზღვროთ ტკივილის მიზეზი, მექანიზმი და გავრცელება. ოპერაციის სამიზნე ამ მონაცემებს უნდა შეესაბამებოდეს. ვაფასებთ ადეკვატური მედიკამენტური მკურნალობისა და რეაბილიტაციის შედეგს. ჩარევის დრო ინდივიდუალურია, განსაკუთრებით ონკოლოგიური ტკივილისა და ნევრალგიისას. ფსიქოლოგიური შეფასება ადგენს მოლოდინს, განწყობასა და მხარდაჭერის საჭიროებას. აქტიური მძიმე ფსიქიკური ან ნივთიერებათა მოხმარების პრობლემა წინასწარ მართვას მოითხოვს. SCS-ისა და DRG-სტიმულაციისას ჩვეულებრივ ტარდება საცდელი ეტაპი. ხშირად მიზანია ტკივილის მინიმუმ 50%-ით შემცირება, ფუნქციურ სარგებელთან ერთად. სხვა იმპლანტების საცდელი რეჟიმი

მეთოდსა და პაციენტზეა დამოკიდებული. საერთო გადაწყვეტილება ითვალისწინებს რისკს, მოვლის შესაძლებლობასა და პაციენტის მიზნებს.

Nota bene კარგი კანდიდატი ნიშნავს შესაბამის მექანიზმს, მიზანსა და მისაღებ რისკს.

გუნდური გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად

1. ტკივილის სპეციალისტი და ნეიროქირურგი მექანიზმსა და ჩარევის რისკს აფასებს.

2. ფსიქოლოგი, რეაბილიტაციის სპეციალისტი და ექთანი მზადყოფნასა და შემდგომ მოვლას გეგმავს.

3. პაციენტი განსაზღვრავს მთავარ მიზანს: ძილი, სიარული, მოვლა ან ყოველდღიური საქმიანობა.

Nota bene სასურველი შედეგი ოპერაციამდე გასაგები და გაზომვადი უნდა იყოს.



სურათი 3.9 — გუნდური გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად.

სახის ნევრალგია და ნერვის კომპრესია

სამწვერა ნერვის ნევრალგიისას შეხებამ ან ღეჭვამ ელექტრული დარტყმის მსგავსი, ხანმოკლე ტკივილი შეიძლება გამოიწვიოს. კლასიკურ ფორმაში სისხლძარღვოვანი კომპრესია ნერვის მორფოლოგიურ ცვლილებას უკავშირდება. მხოლოდ MRI-ზე კონტაქტი მიზეზის დასადასტურებლად საკმარისი არ არის. მეორადი მიზეზები, მათ შორის გაფანტული სკლეროზი და სიმსივნე, ცალკე უნდა შეფასდეს. მექანიკური ზეწოლით დაზიანებულ მიელინში აგზნება შეიძლება მეზობელ ბოჭკოებზე პათოლოგიურად გავრცელდეს. ამიტომ უმტკივნეულო შეხებას ტკივილის შეტევა მოჰყვება. MVD სისხლძარღვთან ურთიერთობას

ცვლის და ნერვის განზრახ დაზიანებას არ ისახავს მიზნად. RF, ბალონური კომპრესია, გლიცეროლი და რადიოქირურგია კი გადაცემას ნაწილობრივი დაზიანებით ამცირებს; მათ მგრძნობელობის დარღვევის განსხვავებული რისკი აქვს.

ენა-ხახის, კეფისა და შუალედური ნერვის ნევრალგიები ტკივილის სხვა ტერიტორიებს მოიცავს. მუდმივი მწველი პოსტჰერპესული ან დეაფერენტაციული ტკივილი კლასიკურ პაროქსიზმულ ნევრალგიას არ უდრის. დამატებითი დესტრუქცია ასეთ შემთხვევაში შეიძლება საზიანო იყოს.

ალეგორიული შედარება. დაზიანებული იზოლაციის მქონე სადენებში სიგნალი მეზობელ ხაზზე გადადის. ეს ნერვში ეფაპტური გადაცემის მხოლოდ გამარტივებული ანალოგიაა.

Nota bene ნევრალგიის ტიპი, მიზეზი და პაციენტის რისკი განსაზღვრავს დეკომპრესიისა თუ დესტრუქციული მეთოდის არჩევანს.

სამწვერა ნერვის ნევრალგია: დიაგნოზი

ტკივილი უმეტესად ცალმხრივია, ელექტრული დარტყმის მსგავსი და ხანმოკლე. იგი სამწვერა ნერვის ერთ ან რამდენიმე ტოტის ტერიტორიაზე ჩნდება, ხშირად V2–V3-ში. უმტკივნეულო შეხებამ, ღეჭვამ, ლაპარაკმა ან კბილის გახეხვამ შეიძლება შეტევა გამოიწვიოს. ზოგ პაციენტს შეტევებს შორის მუდმივი ტკივილიც აქვს. კლასიკური ფორმისას ნეიროვასკულურ კომპრესიას ნერვის მორფოლოგიური ცვლილება ახლავს. მხოლოდ სისხლძარღვის შეხება საკმარისი არ არის. მეორადი მიზეზებია გაფანტული სკლეროზი და სიმსივნე. იდიოპათიური ფორმისას გამოკვლევით საკმარისი მიზეზი ვერ დგინდება. კარბამაზეპინი ან ოქსკარბაზეპინი პირველადი მედიკამენტური არჩევანია. მათზე პასუხი დიაგნოზს მარტო ვერ ადასტურებს. ნევროლოგიური დეფიციტი დამატებით გამოკვლევას მოითხოვს.

Nota bene ნევრალგიის დიაგნოზი კლინიკურია. MRI მიზეზისა და მკურნალობის შერჩევას ეხმარება.

სამწვერა ნერვი: სად ვეძებთ ტკივილს?

1. V1 — თვალბუდის ტოტი: შუბლი, ზედა ქუთუთო და რქოვანა.

2. V2 — ზედა ყბის ტოტი: ლოყა, ზედა ტუჩი და ზედა კბილები.

3. V3 — ქვედა ყბის ტოტი: ქვედა ტუჩი, ნიკაპი და ქვედა კბილები.

Nota bene ტკივილის მდებარეობა და ტრიგერები ნერვის შესაბამის ტერიტორიასთან უნდა შევაჯეროთ.



სურათი 3.10 — სამწვერა ნერვი: სად ვეძებთ ტკივილს?.

ნეიროვასკულური კომპრესია: შეხებიდან ტკივილამდე

ნერვის ფესვის შესვლის მიდამოში ცენტრალური და პერიფერიული მიელინის გარდამავალი ზონა მექანიკური ზეწოლის მიმართ მოწყვლადია. ხშირი კომპრესორი ზემო ნათხემის არტერიაა (SCA). ზოგჯერ მონაწილეობს სხვა არტერია ან ვენა. მიზეზობრივი მნიშვნელობა კლინიკასა და MRI-სთან ერთად ფასდება. ფოკალური დემიელინიზაცია მეზობელ ბოჭკოებს შორის პათოლოგიურ გადაცემას უწყობს ხელს. მცირე შეხებამ განმუხტვის ზვავი შეიძლება წარმოქმნას. ე.წ. „აალების“ მოდელი ელექტრულ ჰიპერაგზნებადობას აღწერს და ანთებას არ ნიშნავს. CISS/FIESTA და TOF-ანგიოგრაფია კომპრესიის შეფასებას ეხმარება. MVD სისხლძარღვის ზეწოლას ხსნის. პერკუტანული მეთოდები და რადიოქირურგია კი ნერვის ნაწილობრივი დაზიანებით ამცირებს პათოლოგიურ გადაცემას.

Nota bene MVD ზეწოლას ხსნის. დესტრუქციული მეთოდი ნერვულ გადაცემას აზიანებს.

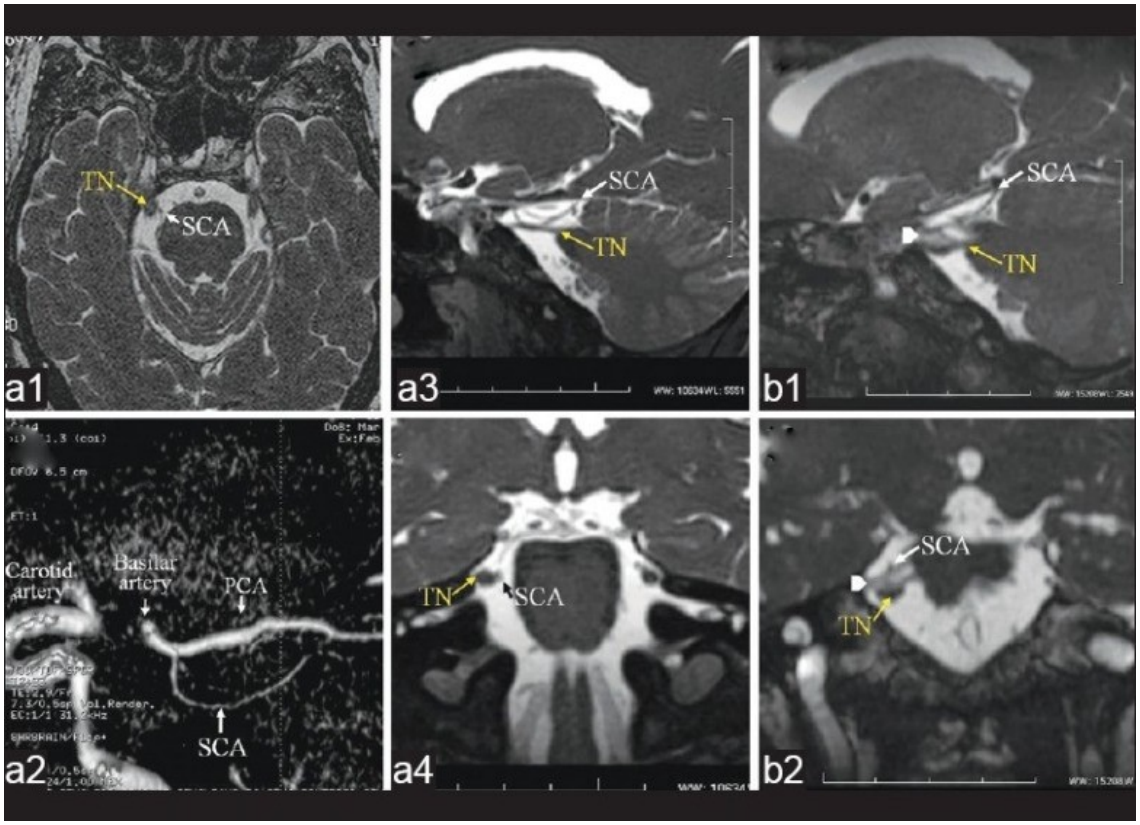
ნეიროვასკულური კომპრესია: რეალური MRI

a1–a4: ოპერაციამდე, მარჯვენა SCA-სა და სამწვერა ნერვის ურთიერთობა. b1–b2: დეკომპრესიის შემდეგ ჩასმული მასალის მდებარეობა.

გამოსახულება კლინიკასთან ერთად ფასდება.

Surgical Neurology International 2012. doi:10.4103/2152-7806.96073, Fig. 2.

Nota bene მხოლოდ სისხლძარღვთან კონტაქტი კლასიკური ნევრალგიის დასადასტურებლად საკმარისი არ არის.



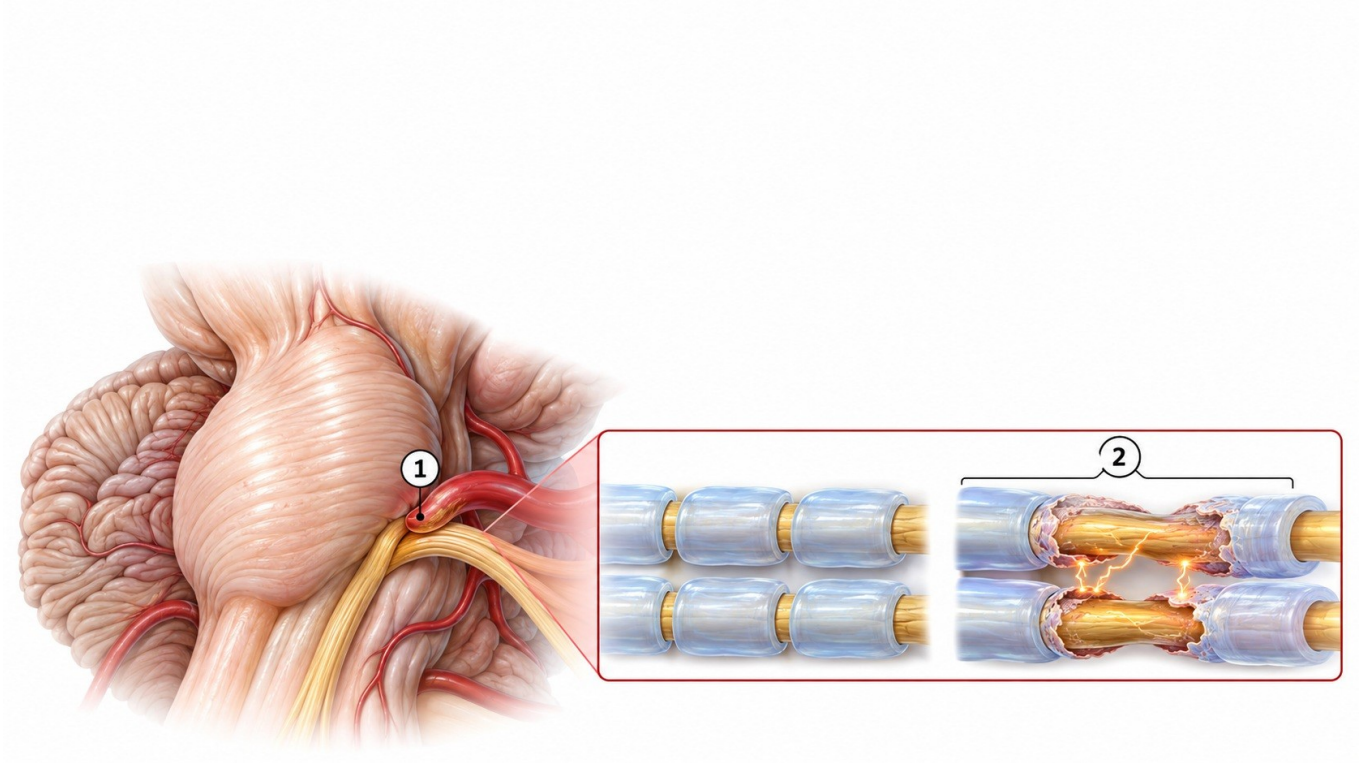
სურათი 3.11 — ნეიროვასკულური კომპრესია: რეალური MRI.

როგორ იწვევს ზეწოლა ელექტრულ შეტევას?

1. სისხლძარღვის ზეწოლამ ნერვის ფესვის მიელინი შეიძლება დააზიანოს.

2. დაზიანებულ ბოჭკოებში აგზნება არანორმალურად ვრცელდება. შეხებას ტკივილის შეტევა მოსდევს.

Nota bene MVD კომპრესიას ხსნის და ნერვის განზრახ დაზიანებას არ ისახავს მიზნად.



სურათი 3.12 — როგორ იწვევს ზეწოლა ელექტრულ შეტევას?.

სამწვერა ნერვის ნევრალგიის ქირურგია: შედარება

Nota bene შედეგების პროცენტები სხვადასხვა კვლევაში პირდაპირ შესადარებელი არ არის.

ცხრილი 3.3 — სამწვერა ნერვის ნევრალგიის ქირურგია: შედარება

მეთოდი	საწყისი ეფექტი	გრძელვადიანი	მთავარი რისკები	კანდიდატი
MVD	ხშირად სწრაფი	შეიძლება ხანგრძლივი იყოს	სმენის დაზიანება, ლიქვორეა, სისხლჩაქცევა	შესაბამისი კომპრესია, მისაღები რისკი
RF-რიზოტომია	ხშირად სწრაფი	რეციდივი შესაძლებელია	დაბუჟება, დიზესთეზია, რქოვანას რისკი	შერჩეული პაციენტი
ბალონური კომპრესია	ხშირად სწრაფი	რეციდივი შესაძლებელია	ღეჭვის სისუსტე, დაბუჟება	მაღალი ღია ოპერაციული რისკი
გლიცეროლი	შეიძლება სწრაფი	ცვალებადი მდგრადობა	დაბუჟება, ქიმიური გაღიზიანება	ინდივიდუალური არჩევანი
რადიოქირურგია	დაგვიანებული	რეციდივი შესაძლებელია	მგრძნობელობის დარღვევა	გაკვეთის თავიდან აცილების საჭიროება

მთავარი წესი: MVD ყველაზე მდგრადი და ნერვის შემნახველი მეთოდია, დესტრუქციული მეთოდები ნაკლებად ინვაზიურია, მაგრამ დაბუჟების ფასად.

მიკროვასკულური დეკომპრესია (MVD)

ოპერაცია · ჯანეტა, 1967

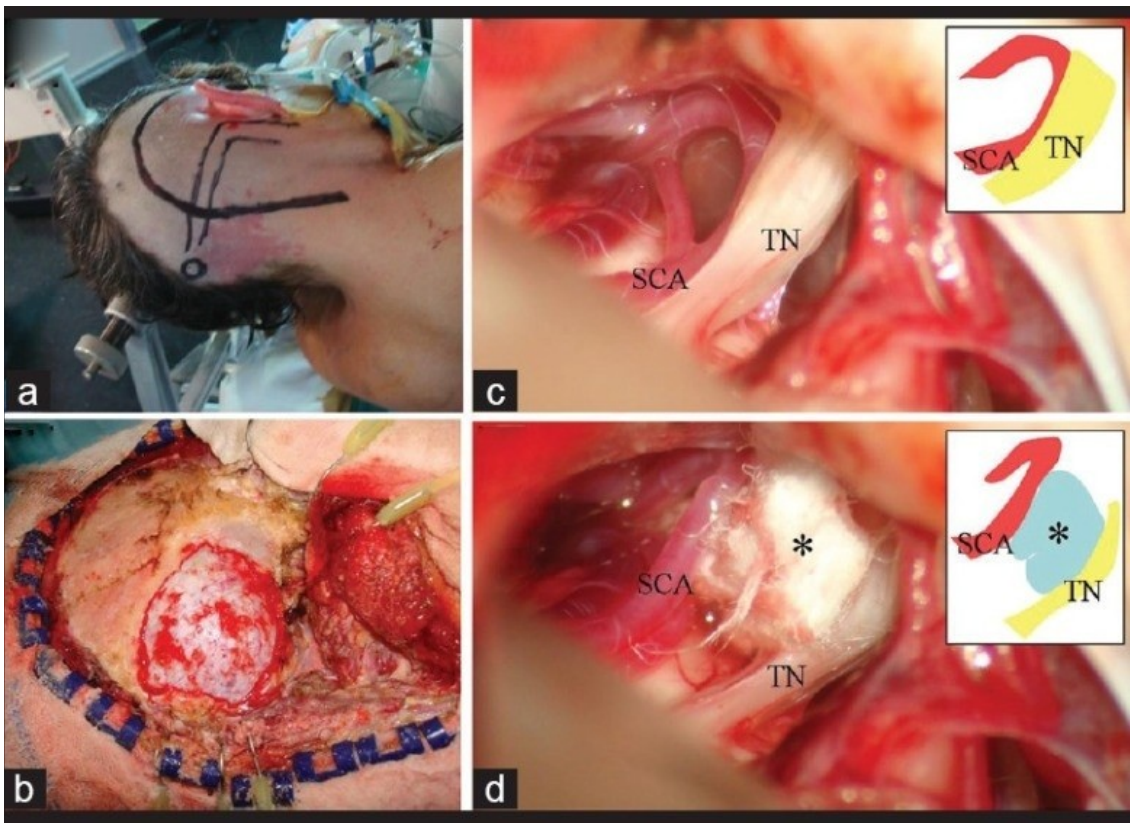
MVD-ისთვის გამოიყენება რეტროსიგმოიდური წვდომა განივი და სიგმოიდური სინუსების შეერთების მიდამოში; პაციენტის პოზიციის ერთ-ერთი ვარიანტია ლატერალური, ე.წ. park bench. ცისტერნიდან ლიქვორის გამოშვება ნათხემის მოდუნებას უწყობს ხელს და უხეში რეტრაქციის საჭიროებას ამცირებს. სამწვერა ნერვი ცისტერნულ მონაკვეთზე, განსაკუთრებით ფესვის შესვლის ზონასთან, ფასდება. სისხლძარღვოვანი კომპრესიის მოხსნა შესაძლებელია ტეფლონის შუასადებით ან სისხლძარღვის ტრანსპოზიციით. პეტროზული ვენებისა და სხვა სისხლძარღვების დაცვა ანატომიური პირობების მიხედვით იგეგმება. BAEP მონიტორინგი სმენის გზების დაცვას ემსახურება, ჰერმეტული დახურვა კი ლიქვორეის რისკს ამცირებს.

Nota bene MVD-ის მიზანია ნერვის შენარჩუნებით კომპრესიის მოხსნა.

MVD: კომპრესიის მოხსნა ოპერაციულ სურათზე

c: სისხლძარღვისა და ნერვის კომპრესიული ურთიერთობა. d: დეკომპრესიის შემდეგ მოთავსებული ტეფლონი. მიზანია ზეწოლის მოხსნა ნერვის შენარჩუნებით. Surgical Neurology International 2012. Fig. 3c–d.

Nota bene ოპერაციული ფოტოს შეფასება კონკრეტული ანატომიური კონტექსტით ხდება.



სურათი 3.13 — MVD: კომპრესიის მოხსნა ოპერაციულ სურათზე.

რეტროსიგმოიდური მიდგომა

Brainstem — ტვინის ღერო.

Cerebellum — ნათხემი.

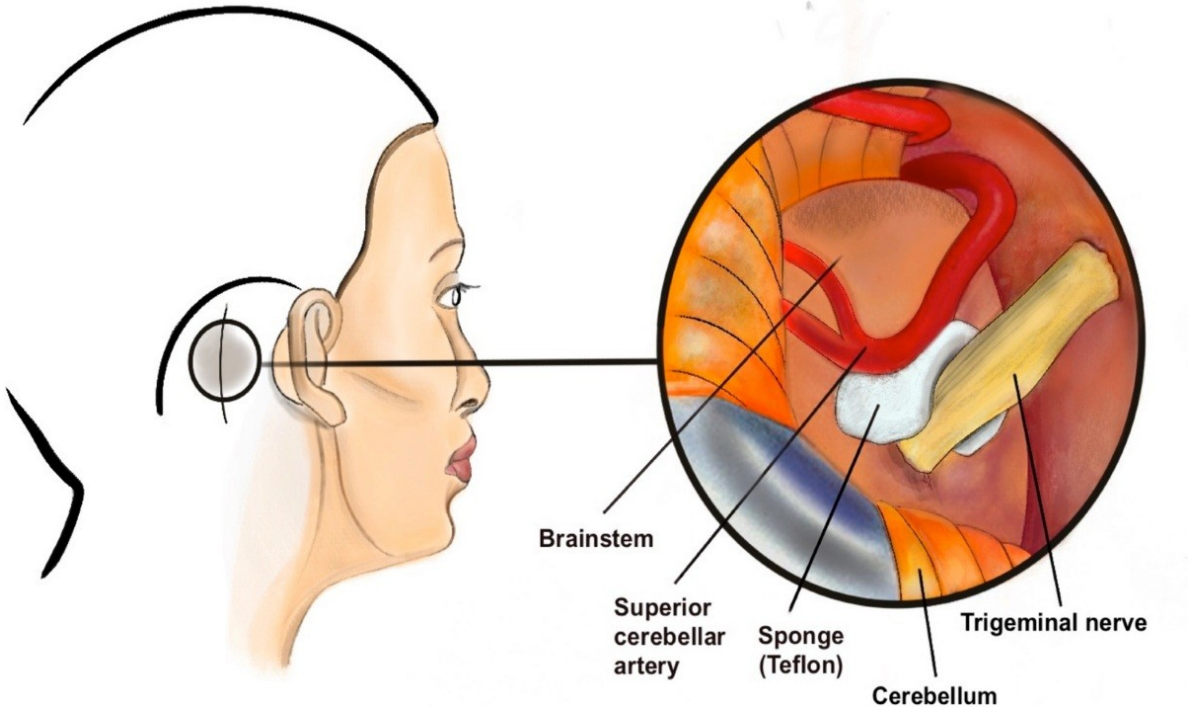
Trigeminal nerve — სამწვერა ნერვი.

Superior cerebellar artery — ზემო ნათხემის არტერია.

Sponge — ტეფლონის ბალიში.

Modern Approaches to the Treatment of Acute Facial Pain. 2024. Fig. 2.

Nota bene წვდომის მიზანია უსაფრთხოდ გამოჩნდეს ნერვის ცისტერნული მონაკვეთი.



სურათი 3.14 — რეტროსიგმოიდური მიდგომა.

პერკუტანული მეთოდები

პერკუტანულ მეთოდებს საერთო წვდომა აქვს — ოვალური ხვრელი. ჰარტელის კლასიკურ ორიენტირებში კანზე შესვლის წერტილი პირის კუთხიდან დაახლოებით 2.5 სმ ლატერალურადაა აღწერილი; რეალური ტრაექტორია ფლუოროსკოპიით, CT-ით ან ნავიგაციით კონტროლდება. RF-თერმორიზოტომია შერჩეულ ბოჭკოებს კონტროლირებული სითბოთი აზიანებს. სენსორული ტესტისთვის ხშირად 50 ჰც გამოიყენება; წყაროებში აღწერილი დაახლოებით 60–75 °C და 60–90 წამი ტექნიკის მაგალითებია და უნივერსალური პროტოკოლი არ არის. პაციენტის პასუხი ტოტის იდენტიფიკაციას ეხმარება. ბალონური კომპრესიისას, ჩვეულებრივ ზოგადი ანესთეზიით, ფოგარტის კათეტერი მეკელის ღრუში თავსდება; კლასიკური აღწერა №4 კათეტერსა და დაახლოებით ერთწუთიან, მსხლის ფორმის

ბალონს მოიცავს. შესაძლებელია ტრიგემინოკარდიული რეფლექსით ბრადიკარდია. გლიცეროლის რიზოლიზი სამწვერა ცისტერნაში ქიმიურ ზემოქმედებას იყენებს; აღწერილი მოცულობა დაახლოებით 0.2–0.4 მლ-ია და პოზიცია ტექნიკის მიხედვით შეირჩევა.

მეთოდები შეიძლება განიხილებოდეს მაღალი საოპერაციო რისკის, გაფანტული სკლეროზის ან MVD-ის შემდეგ რეციდივისას. არჩევანი ტკივილის ტიპს, მგრძნობელობასა და კონკრეტული მეთოდის რისკს ეფუძნება.

Nota bene პერკუტანულ ჩარევას შეუძლია ტკივილის შემცირება, მაგრამ მგრძნობელობაც შეიძლება დააზიანოს.

V1 ტოტის RF-ლეზიისას რქოვანას რეფლექსის დაკარგვის და ნეიროპარალიზური კერატიტის რისკია, ამიტომ V1-ისთვის ხშირად ბალონური კომპრესიაა უპირატესი.

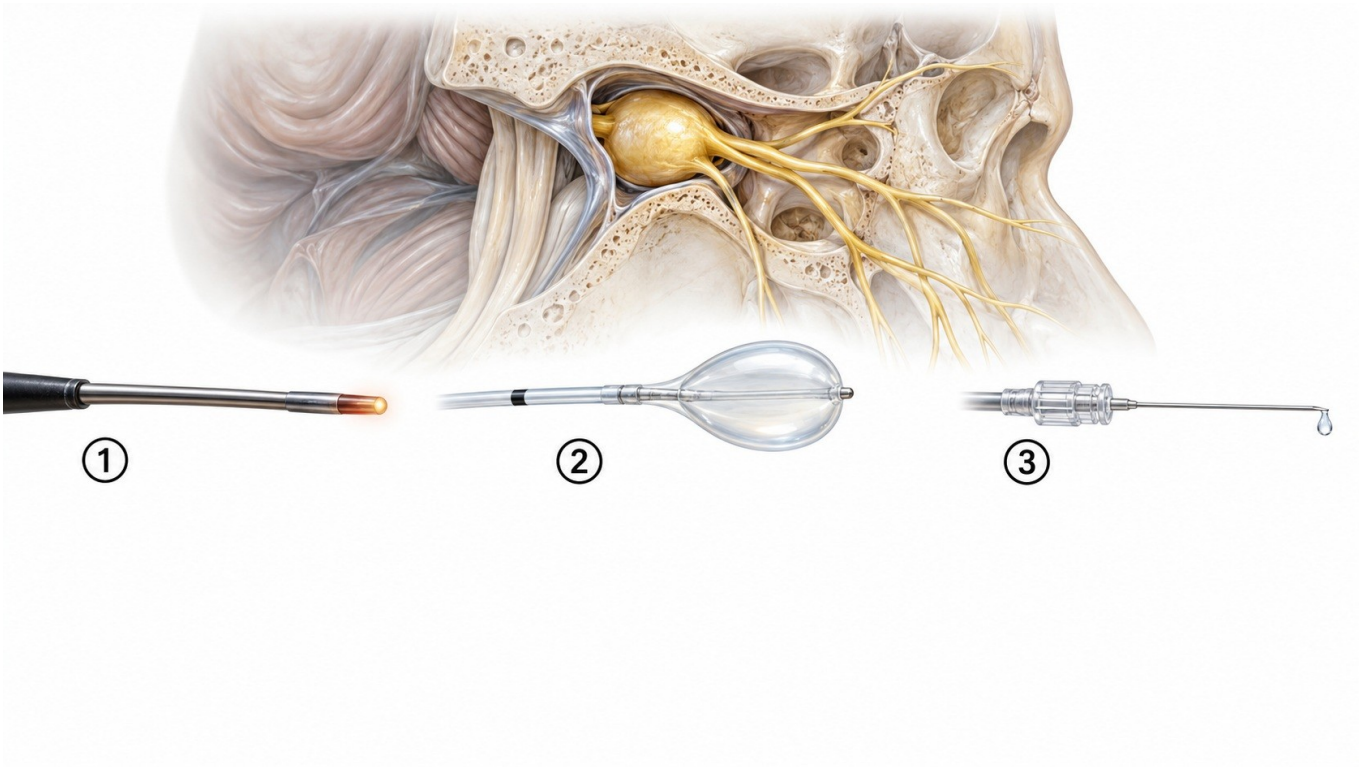
პერკუტანული მეთოდები: სამი განსხვავებული მოქმედება

1. RF: კონტროლირებული სითბოთი ნერვის ნაწილობრივი დაზიანება.

2. ბალონი: სამწვერა განგლიონის მექანიკური კომპრესია.

3. გლიცეროლი: ქიმიური ზემოქმედება სამწვერა ცისტერნაში.

Nota bene საერთო წვდომა ოვალური ხვრელია. მგრძნობელობის დარღვევა მნიშვნელოვანი რისკია.



სურათი 3.15 — პერკუტანული მეთოდები: სამი განსხვავებული მოქმედება.

სხვა თავის ნევრალგიები

ენა-ხახის ნერვის ნევრალგია ენის ფუძის, ნუშურას ან ყურის ხანმოკლე ტკივილია. ტრიგერი ხშირად ყლაპვაა. ზოგჯერ მას ბრადიკარდია ან სინკოპე ახლავს. დადასტურებული ნეიროვასკულური კომპრესიისას შეიძლება MVD განიხილებოდეს. IX–X ფესვაკებზე დესტრუქციული ჩარევა ყლაპვისა და ხმის დაზიანების რისკს ატარებს. კეფის ნევრალგიისას ტკივილი კეფის ნერვების ტერიტორიაზეა. გამოიყენება მედიკამენტები და ბლოკადა, შერჩეულ რეზისტენტულ შემთხვევებში კი ნერვის სტიმულაცია. შუალედური ნერვის ნევრალგია ყურის სიღრმეში ტკივილს იწვევს. სხვა ოტოლოგიური და ნევროლოგიური მიზეზების გამორიცხვა აუცილებელია. პოსტჰერპესული ან დაზიანების შემდგომი მუდმივი მწველი სახის ტკივილი კლასიკურ ნევრალგიას არ უდრის. დამატებითმა დესტრუქციამ შეიძლება მდგომარეობა გააუარესოს.

Nota bene ხანმოკლე ნევრალგია და მუდმივი ნეიროპათიური ტკივილი სხვადასხვა მდგომარეობაა.

ენა-ხახის ნერვის დეკომპრესია

IX — ენა-ხახის ნერვი.

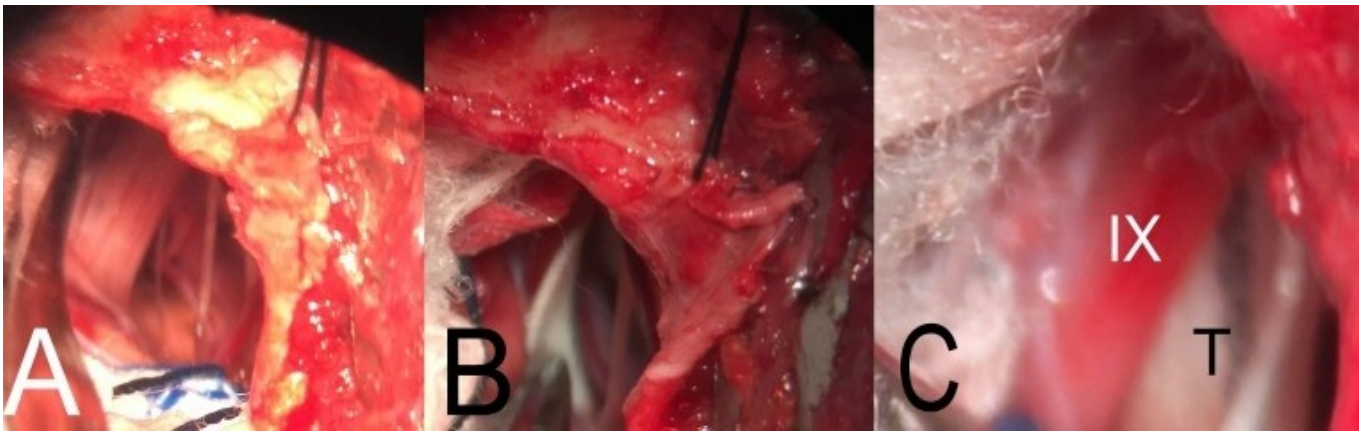
X — ცდომილი ნერვი.

PICA — უკანა ქვედა ნათხემის არტერია.

სურათი აჩვენებს ურთიერთობას და დეკომპრესიის ეტაპებს.

Cureus 2017. doi:10.7759/cureus.1494, Fig. 3.

Nota bene IX–X ნერვებთან ჩარევა ყლაპვისა და ხმის ფუნქციის დაცვას მოითხოვს.



სურათი 3.16 — ენა-ხახის ნერვის დეკომპრესია.

ზურგის ტვინის და პერიფერიული სტიმულაცია

SCS-ის ელექტროდი ეპიდურულ სივრცეში, მყარი გარსის გარეთ მდებარეობს. იგი ნერვულ აქტივობაზე მოქმედებს და მექანიკურ კომპრესიას არ ხსნის. ტრადიციულ ახსნაში სქელი მგრძნობიარე ბოჭკოების აქტივაცია უკანა რქის შეკავებას აძლიერებს; რეალურ ეფექტში უფრო ფართო ქსელებიც მონაწილეობს. ტონური, პაკეტური და მაღალი სიხშირის რეჟიმები

სიგნალის დროით ორგანიზაციაში განსხვავდება. ECAP-ზე დაფუძნებული დახურული მარყუჟი ნერვულ პასუხს აკონტროლებს, მაგრამ ტკივილის განცდას პირდაპირ არ ზომავს. ახალი ტექნიკური შესაძლებლობა ყველა დიაგნოზში უკეთეს შედეგს ავტომატურად არ ნიშნავს. DRG-სტიმულაცია განგლიონის მიდამოზე მოქმედებს და ფოკალურ ტკივილს შეიძლება უკეთ მოერგოს. PNS კონკრეტული პერიფერიული ნერვის ტერიტორიას უკავშირდება. წინასწარი შეფასება, საცდელი შედეგი და ფუნქციური მიზანი არჩევის საფუძველია. ინფექცია, ელექტროდის მიგრაცია და იმპლანტის მომსახურება მკურნალობის რეალური ტვირთის ნაწილია.

ალეგორიული შედარება. შესაძლებელია საერთო ქსელში სიგნალის შეცვლა ან კონკრეტულ განშტოებაზე მუშაობა; არჩევანს პრობლემის გავრცელება განსაზღვრავს.

Nota bene SCS, DRG და PNS-ის სამიზნე ტკივილის მექანიზმსა და განაწილებას უნდა შეესაბამებოდეს.

ზურგის ტვინის სტიმულაცია: რას ცვლის SCS?

ეპიდურული ელექტროდები ნერვული ქსელის აქტივობას ცვლის. ტრადიციულ მოდელში სქელი მგრძნობიარე ბოჭკოების აქტივაცია უკანა რქაში შეკავებას აძლიერებს. ეფექტში მონაწილეობს ზესეგმენტური და დაღმავალი სისტემებიც. სხვადასხვა რეჟიმის მექანიზმი ბოლომდე გარკვეული არ არის. მეთოდი განიხილება შერჩეული ქრონიკული ნეიროპათიური ტკივილისას: PSPS ტიპი 2, CRPS და მტკივნეული დიაბეტური ნეიროპათია. ზოგმა კვლევამ აჩვენა სარგებელი ჩვეულებრივ მკურნალობასთან შედარებით. თუმცა პლაცებოთი კონტროლირებული კვლევების შედეგები ერთგვაროვანი არ არის. არჩევანი ეფუძნება კონკრეტულ დიაგნოზს, რეჟიმის მტკიცებულებას, საცდელ შედეგსა და რეალისტურ ფუნქციურ მიზნებს. SCS მექანიკურ კომპრესიას არ ხსნის.

Nota bene SCS ქსელის აქტივობას ცვლის. სარგებელი ინდივიდუალურად უნდა შემოწმდეს.

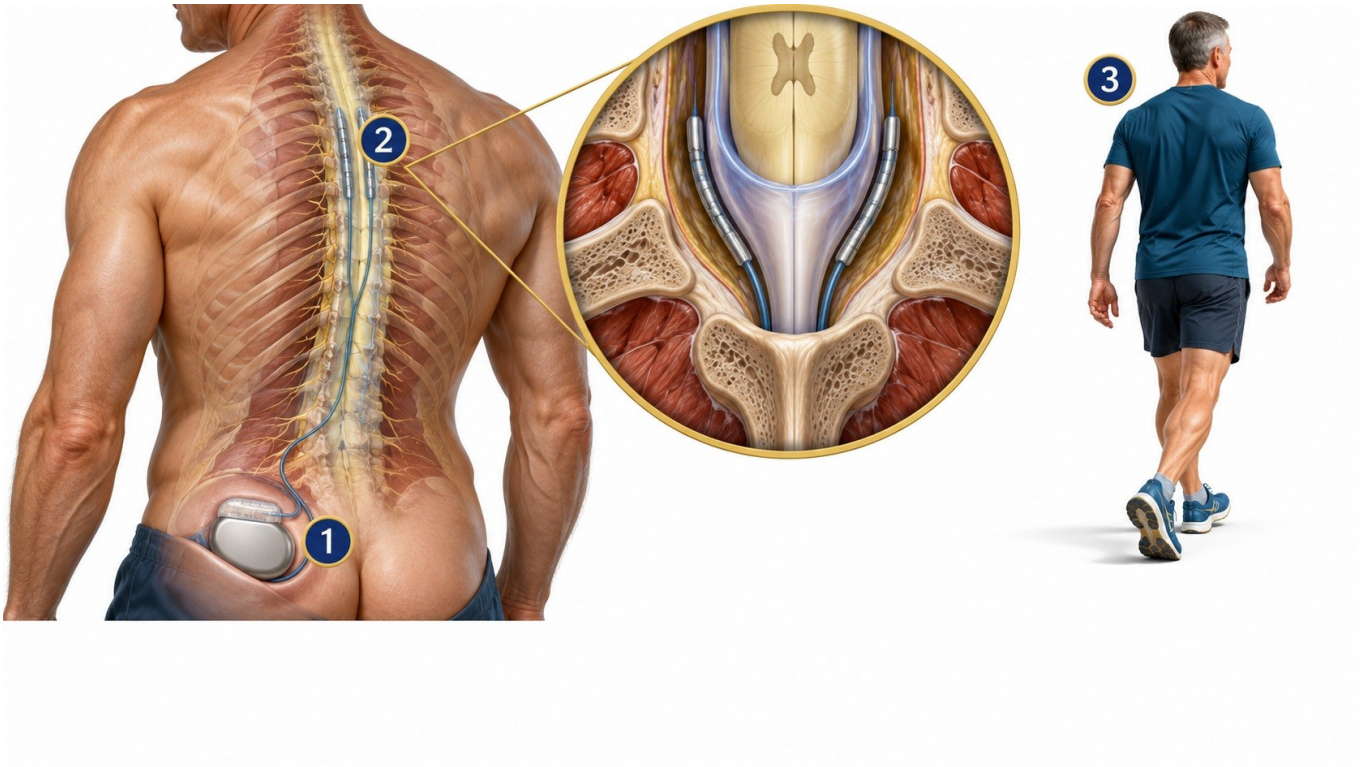
SCS: კანქვეშა გენერატორიდან ნერვულ პასუხამდე

1. IPG: კანქვეშ მოთავსებული გენერატორი იმპულსებს ქმნის.

2. ეპიდურული ელექტროდები მყარ გარსს გარედან, ზურგის ტვინის უკან მდებარეობს.

3. მიზანი ტკივილის შემცირება და ყოველდღიური აქტივობის გაუმჯობესებაა.

Nota bene ელექტროდი ზურგის ტვინის ქსოვილში არ თავსდება.



სურათი 3.17 — SCS: კანქვეშა გენერატორიდან ნერვულ პასუხამდე.

SCS: განსხვავებული სტიმულაციის რეჟიმები

ტონური სტიმულაცია რეგულარულ იმპულსებს იყენებს და ხშირად პარესთეზიას იწვევს. პარესთეზიის არეს ტკივილის არესთან შესაბამისობა მოწმდება. პაკეტური რეჟიმი (burst) იმპულსებს ჯგუფებად აწვდის. გავრცელებული პარამეტრია 5 იმპულსი თითო პაკეტში, პაკეტების სიხშირით 40 ჰც. მაღალი სიხშირის რეჟიმი, მაგალითად 10 კჰც, პარესთეზიის გარეშე მუშაობს. ეფექტურობის მონაცემები კონკრეტულ მოწყობილობასა და ჩვენებას ეხება. DTM რამდენიმე სიგნალს აერთიანებს. ნეირონებისა და გლიის ურთიერთქმედებაზე გავლენა მისი შემოთავაზებული მექანიზმია. დახურული მარყუჟი ზომავს გამოწვეულ ნერვულ პასუხს (ECAP) და სტიმულაციას არეგულირებს. ECAP ნერვული პასუხია და ტკივილის პირდაპირი საზომი არ არის.

Nota bene რეჟიმის ტექნიკური სიახლე ყველა პაციენტში უპირატესობას არ ნიშნავს.

სტიმულაციის რეჟიმები: როგორ განსხვავდება სიგნალი?

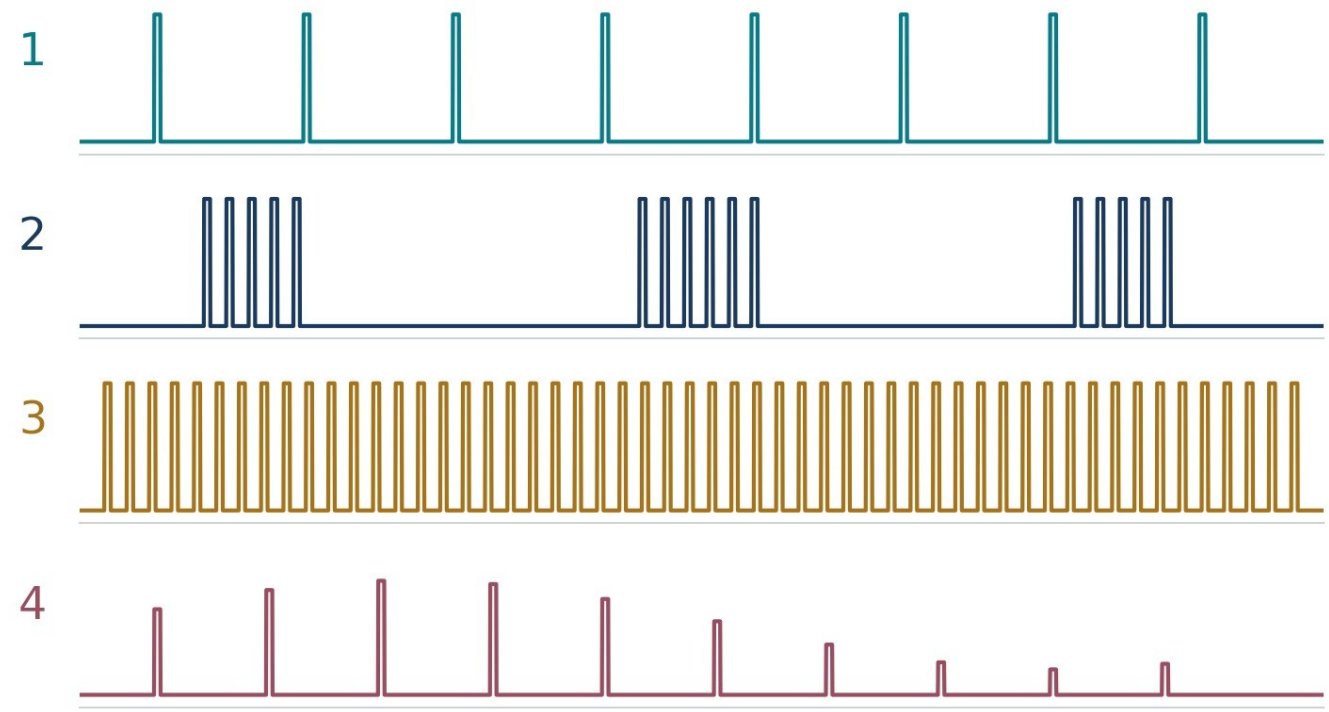
1. ტონური: რეგულარული იმპულსები.

2. პაკეტური: იმპულსები ჯგუფებად.

3. მაღალი სიხშირე: უფრო მჭიდრო მიმდევრობა.

4. უკუკავშირი: პასუხის მიხედვით რეგულირება.

Nota bene ეს დროითი პრინციპის ილუსტრაციაა. მასშტაბი რეჟიმებს შორის ერთნაირი არ არის.



სურათი 3.18 — სტიმულაციის რეჟიმები: როგორ განსხვავდება სიგნალი?.

SCS: საცდელი ეტაპიდან მუდმივ იმპლანტაციამდე

SCS-ის განხილვა იწყება ტკივილის მექანიზმის, ფუნქციური მიზნების, ფსიქოლოგიური მდგომარეობისა და შესაბამისი გამოსახულებების შეფასებით. საცდელი ელექტროდი ხშირად პერკუტანულად, ფლუოროსკოპიული კონტროლით თავსდება ეპიდურულ სივრცეში. რამდენიმე დღის განმავლობაში ფასდება ტკივილის დღიური და ყოველდღიური ფუნქცია. ხშირად გამოყენებული საორიენტაციო კრიტერიუმია ტკივილის სულ მცირე 50%-ით შემცირება, თუმცა საბოლოო შეფასება ფუნქციურ სარგებელსა და პაციენტის მიზნებსაც მოიცავს. მუდმივი სისტემა ელექტროდისა და იმპულსების გენერატორის — IPG-ის — ერთობლიობაა. წელისა და ფეხის ტკივილისთვის ტონური სტიმულაციის კლასიკური ორიენტირი ხშირად T8–T10 მიდამოა, ზედა კიდურისთვის კი C3–C6; ზუსტი მდებარეობა რეჟიმზე, ანატომიასა და ფიზიოლოგიურ პასუხზეა დამოკიდებული.

ფირფიტისებრი, paddle ელექტროდი ლამინოტომიას მოითხოვს. მისი მიგრაციისა და ენერგიის მოხმარების თავისებურებები პერკუტანული ელექტროდისგან განსხვავდება; არჩევისას ეპიდურული ნაწიბურიც გასათვალისწინებელია. შესაძლო გართულებებია ელექტროდის მიგრაცია, სადენის დაზიანება, გენერატორის მიდამოს ტკივილი და ინფექცია. სალექციო წყაროებში აღწერილი დაახლოებით 10–20%-იანი მიგრაციისა და 3–5%-იანი ინფექციის მაჩვენებლები ტექნიკასა და დაკვირვების პერიოდზეა დამოკიდებული. ეპიდურული ჰემატომა იშვიათი, მაგრამ მძიმე გართულებაა.

Nota bene იმპლანტაციამდე განვსაზღვრავთ, რა ჩაითვლება პაციენტისთვის რეალურ სარგებლად.

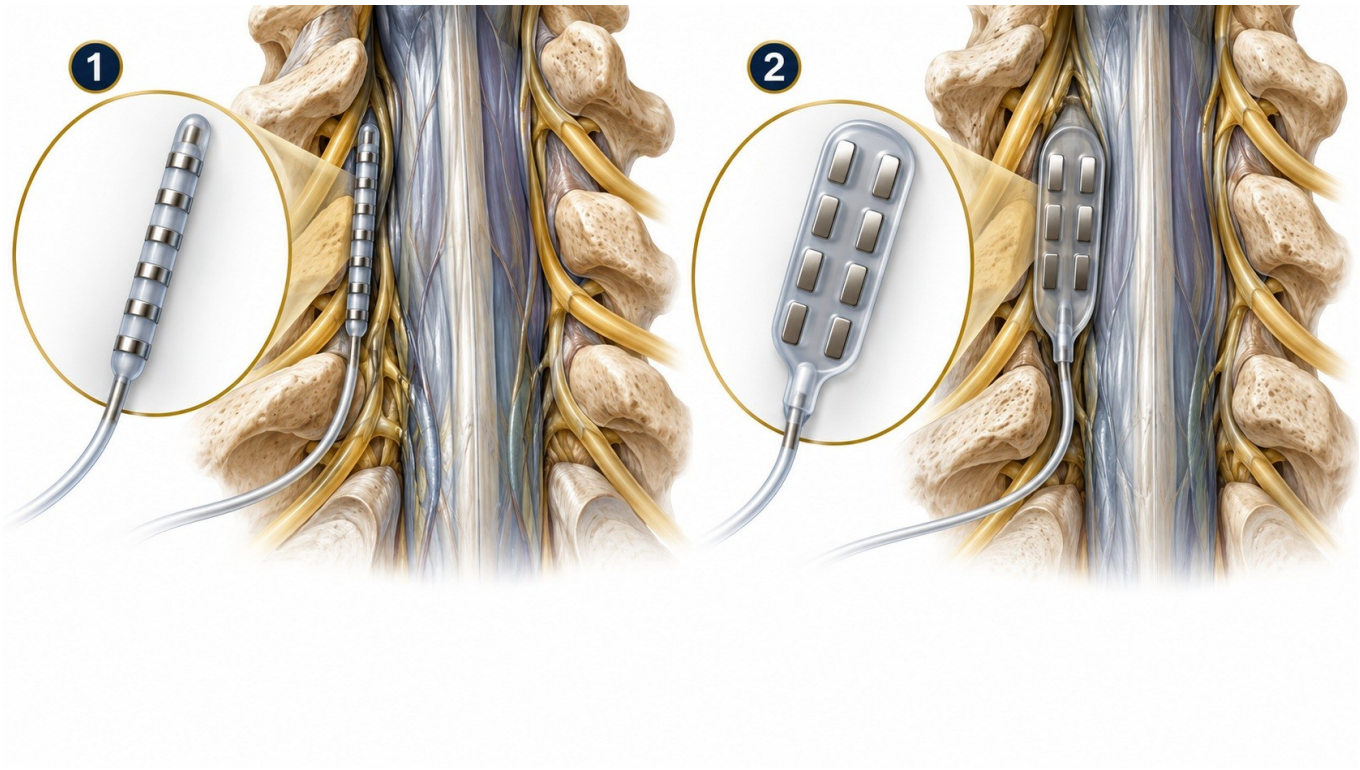
ანტიკოაგულანტების და ანტიაგრეგანტების მართვა ეპიდურული პროცედურის წინ (ASRA/ESRA გაიდლაინები) აუცილებელია ეპიდურული ჰემატომის თავიდან ასაცილებლად.

SCS-ის ელექტროდები: ცილინდრული და ფირფიტისებრი

1. ცილინდრული ელექტროდი ხშირად პერკუტანულად თავსდება. მისი პოზიციის შეცვლა და მიგრაცია გასათვალისწინებელია.

2. ფირფიტისებრი ელექტროდი ქირურგიულ წვდომას მოითხოვს. არჩევანი ანატომიასა და სამიზნე არეზეა დამოკიდებული.

Nota bene ორივე ტიპი ეპიდურულ სივრცეში მუშაობს.



სურათი 3.19 — SCS-ის ელექტროდები: ცილინდრული და ფირფიტისებრი.

DRG-სტიმულაცია და პერიფერიული ნერვის სტიმულაცია

DRG-სტიმულაციისას ელექტროდი უკანა ფესვის განგლიონის მიდამოში თავსდება. ეს საშუალებას იძლევა, სტიმულაცია კონკრეტულ რეგიონს, მაგალითად ტერფს, მუხლს ან საზარდულს მოერგოს. ACCURATE კვლევაში (დიერი და სხვ., 2017) შერჩეული ქვედა კიდურის CRPS-ისა და კაუზალგიისას DRG-სტიმულაციას ტრადიციულ SCS-თან შედარებით უკეთესი შედეგები ჰქონდა; ეს დასკვნა ყველა სახის ტკივილზე არ ვრცელდება. პერიფერიული ნერვის სტიმულაციისას (PNS) ელექტროდი უშუალოდ შესაბამის ნერვთან თავსდება, ხშირად პერკუტანულად და ულტრაბგერის კონტროლით. სამიზნე შეიძლება იყოს კეფის, წვივის, ბეჭზედა ან სხვა ნერვი. კეფის ნერვის სტიმულაცია გარკვეულ რეზისტენტულ ნევრალგიებსა და თავის ტკივილის სინდრომებში განიხილება.

DRG-ის სეგმენტური ორგანიზაცია ფოკალური ტკივილის დამიზნებას ეხმარება, თუმცა დერმატომები ერთმანეთს ფარავს და ერთი განგლიონი იზოლირებულ კანის ზოლს არ

ემსახურება. სამიზნის შესაბამისობა კლინიკური განაწილებითა და საცდელი პასუხით ფასდება. DRG-სტიმულაციისას პოზის ცვლილებით გამოწვეული შეგრძნების მერყეობა ხშირად ნაკლებია.

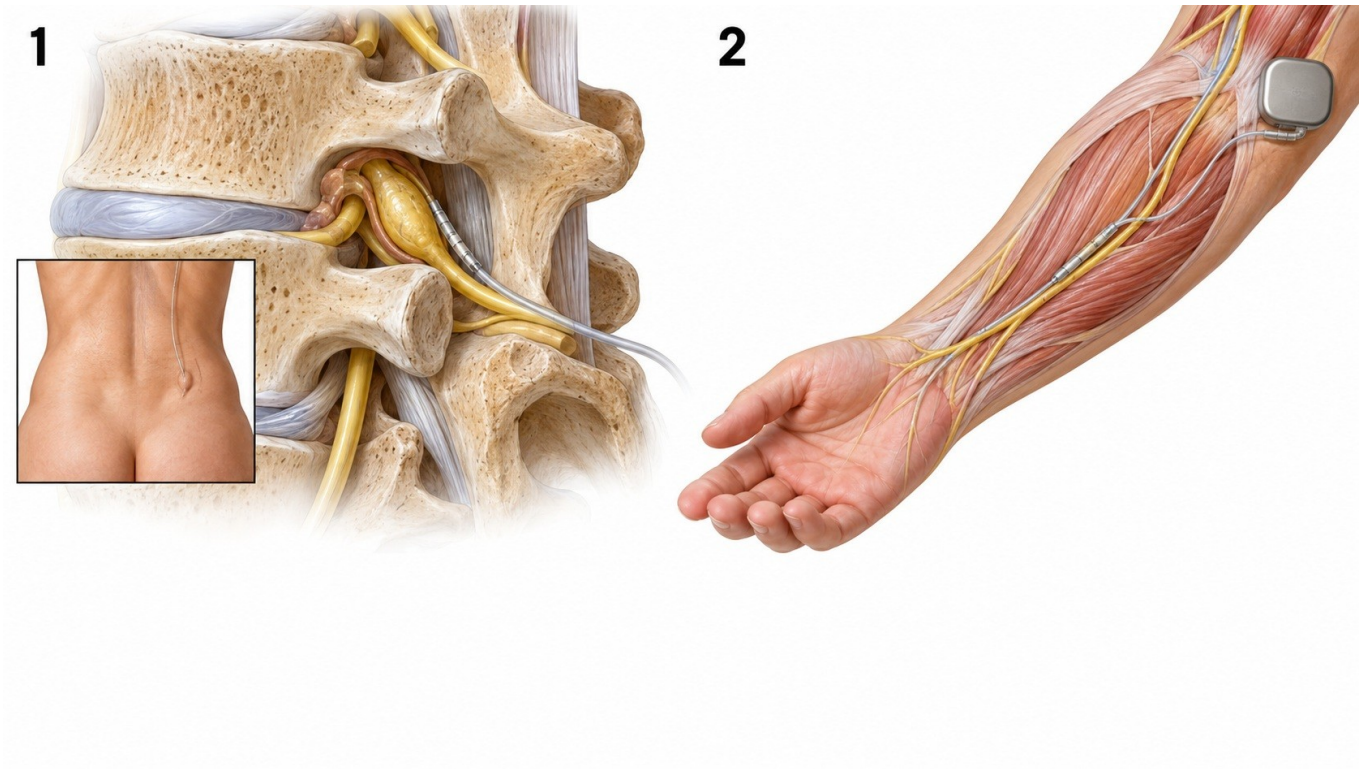
Nota bene მეთოდის უპირატესობა კონკრეტული დიაგნოზისა და სხეულის რეგიონის კონტექსტში ფასდება.

ფოკალური ტკივილი: DRG თუ პერიფერიული ნერვი?

1. DRG-სტიმულაცია განგლიონის მიდამოზე მოქმედებს და კონკრეტული რეგიონის ტკივილს შეიძლება შეესაბამებოდეს.

2. PNS-ის ელექტროდი პერიფერიულ ნერვთან თავსდება, რომლის ტერიტორიაც ტკივილს შეესაბამება.

Nota bene სამიზნე კლინიკურ განაწილებას უნდა ემთხვეოდეს.



სურათი 3.20 — ფოკალური ტკივილი: DRG თუ პერიფერიული ნერვი?.

ტვინის სტიმულაცია ტკივილისთვის

ძლიერი ტკივილისას ყველაზე ღრმა სამიზნე ყოველთვის საუკეთესო არჩევანი არ არის. ტკივილის DBS-ისა და მოტორული ქერქის სტიმულაციის მტკიცებულება შეზღუდულია და შედეგი სინდრომებს შორის მნიშვნელოვნად განსხვავდება. PAG/PVG დაღმავალ მოდულაციას უკავშირდება, VPL/VPM სენსორულ გადაცემას, ACC კი ტკივილის აფექტურ კომპონენტს. MCS მოტორულ ქერქზე მოთავსებული ელექტროდით მოქმედებს. მისი მიზანი კუნთის მუდმივი შეკუმშვა არ არის; გავლენა ქერქქვეშა და დაღმავალი ქსელებით შეიძლება ვრცელდებოდეს. ანატომიური ნავიგაცია და ფიზიოლოგიური კარტირება სამიზნის

დაზუსტებას ემსახურება. ფანტომური, ცენტრალური ან სახის დაზიანების შემდგომი ტკივილი ერთგვაროვანი ჯგუფი არ არის. ოპერაციის განხილვა მოითხოვს წინა მკურნალობის, სარგებლის გაურკვევლობისა და სისხლჩაქცევის, ინფექციისა თუ გულყრის რისკის შეფასებას.

ალეგორიული შედარება. მართვის ცენტრში ჩარევა ბევრ განშტოებას ეხება; ამიტომ მისი სარგებელიც და არასასურველი გავლენაც ფართოდ უნდა შეფასდეს.

Nota bene ცენტრალური ტკივილი ავტომატურად ტვინის ოპერაციის ჩვენებას არ ქმნის.

DBS ტკივილისთვის: სამიზნეები და შეზღუდვები

ღრმა ტვინის სტიმულაცია ტკივილის დამუშავების ცენტრალურ ქსელებზე მოქმედებს. ამ ჩვენებით მისი მტკიცებულება მოძრაობითი დარღვევებისაზე უფრო შეზღუდულია. PAG/PVG დაღმავალ მოდულაციასთანაა დაკავშირებული. სენსორული თალამუსი VPL/VPM სენსორულ კომპონენტს უკავშირდება, ACC კი აფექტურ კომპონენტს. ზოგი სერია აღწერს სარგებელს ფანტომური, ავულსიური ან სხვა რეზისტენტული ნეიროპათიური ტკივილისას. შედეგი პაციენტებს შორის მნიშვნელოვნად განსხვავდება. ინსულტის ან ზურგის ტვინის დაზიანების შემდეგ შედეგები განსაკუთრებით არაერთგვაროვანია. დაზიანების მდებარეობა მარტო სამიზნეს ვერ განსაზღვრავს. გამოყენება სპეციალიზებულ ცენტრებში, მკაცრი შერჩევით ხდება. რეგულატორული სტატუსი ქვეყანასა და მოწყობილობაზეა დამოკიდებული, ხშირად კვლევითია ან დამტკიცებული ჩვენების ფარგლებს სცდება.

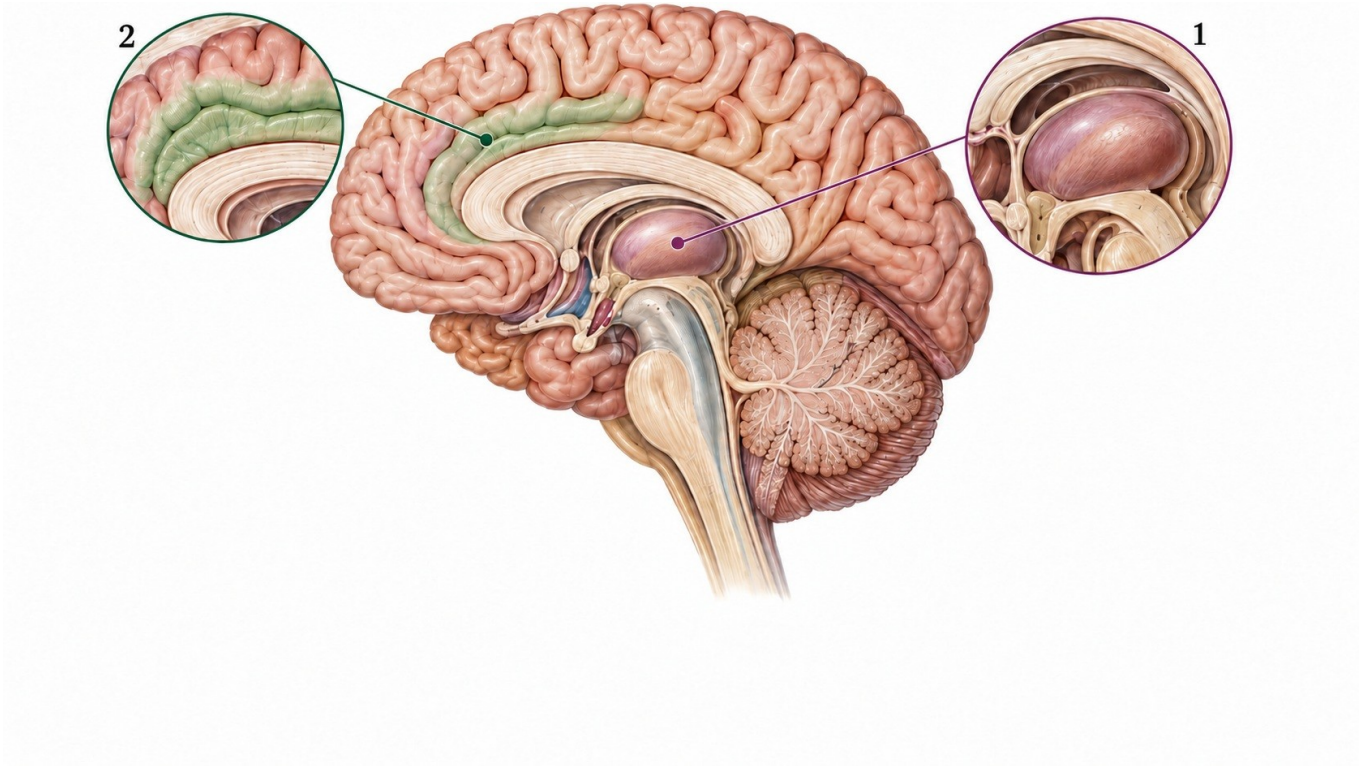
Nota bene ტკივილის DBS შერჩევითი მეთოდია და სტანდარტულ გამოსავლად არ უნდა წარმოვადგინოთ.

ტკივილის DBS: სხვადასხვა სამიზნის ლოგიკა

1. თალამუსი: VPL/VPM ბირთვები სენსორულ გადაცემაში მონაწილეობს. ნახატში მთლიანად თალამუსია ნაჩვენები.

2. ACC: წინა სარტყლისებრი ქერქი ტკივილის აფექტურ კომპონენტთანაა დაკავშირებული.

Nota bene ეს ფუნქციური ორიენტირებია და არა ოპერაციული დამიზნების რუკა.



სურათი 3.21 — ტკივილის DBS: სხვადასხვა სამიზნის ლოგიკა.

მოტორული ქერქის სტიმულაცია (MCS)

MCS-ისას ელექტროდი მოტორული ქერქის შესაბამის უბანზე, ხშირად ეპიდურულად თავსდება. მიზანია ტკივილის ქსელის მოდულაცია და არა კუნთის მუდმივი შეკუმშვა. მეთოდი განიხილება შერჩეული რეზისტენტული ნეიროპათიური ტკივილისას, მათ შორის ცენტრალური და სამწვერა ნერვის დაზიანების შემდგომი ტკივილის დროს. M1-ის მდებარეობა განისაზღვრება ანატომიური ნავიგაციითა და ფიზიოლოგიური კარტირებით. SSEP-ის ფაზური ინვერსია ცენტრალური ღარის პოვნას ეხმარება. შესაძლო მოქმედება თალამურ, ლიმბურ და დაღმავალ კავშირებს მოიცავს. rTMS-ზე პასუხი ზოგჯერ დამატებით ინფორმაციას იძლევა, მაგრამ სარგებელს ვერ იძლევა გარანტირებულად. მტკიცებულება შეზღუდულია და შედეგები ცვალებადია. რისკებია გულყრა, სისხლჩაქცევა და ინფექცია. საჭიროა სპეციალიზებული გუნდის შეფასება.

Nota bene MCS ტკივილის ქსელს მოდულირებს. ეფექტი გარანტირებული არ არის.

MCS: მოტორული ქერქის ლოკალიზაცია

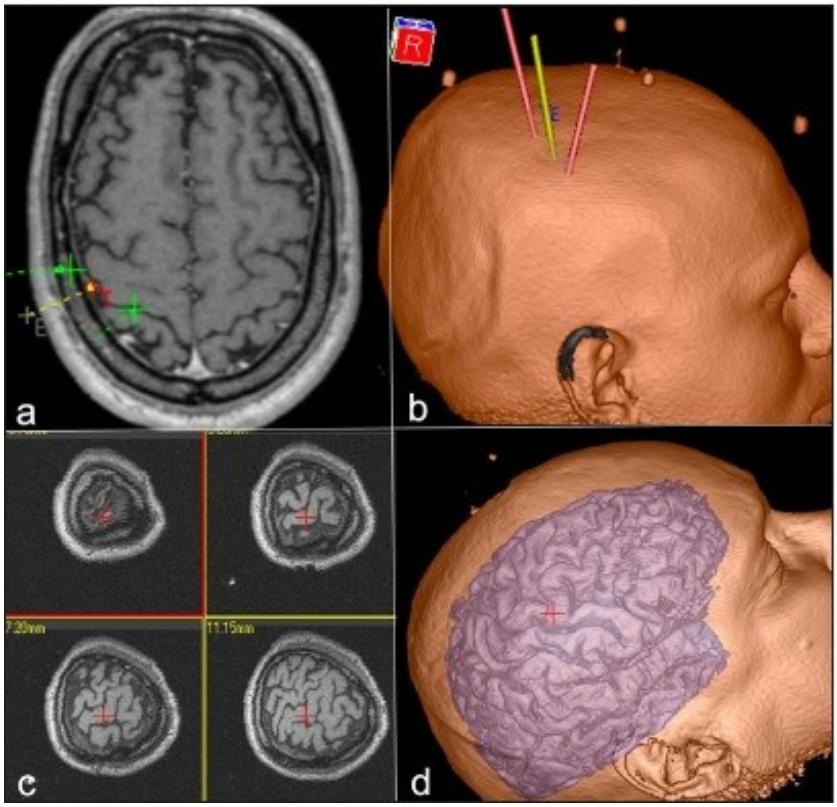
წითელი: მოტორული ქერქი.

მწვანე: ცენტრალური ღარი.

MRI და სამგანზომილებიანი რეკონსტრუქცია ქირურგს ორიენტირებაში ეხმარება. მდებარეობას ფიზიოლოგიური კარტირებაც აზუსტებს.

Fagundes et al. Surgical Neurology International 2025. doi:10.25259/SNI_1022_2024, Fig. 1.

Nota bene ანატომიური ნავიგაცია და ფუნქციური შემოწმება ერთმანეთს ავსებს.



სურათი 3.22 — MCS: მოტორული ქერქის ლოკალიზაცია.

ლეზიური ოპერაციები და დეაფერენტაცია

ლეზიური ოპერაცია კონკრეტული ნერვული გზის ან უბნის შეუქცევად დაზიანებას ქმნის. იგი შეიძლება დასაბუთებული იყოს მძიმე, შერჩეულ ონკოლოგიურ ან დეაფერენტაციულ სინდრომში, როცა მოსალოდნელი სარგებელი რისკს აღემატება. სწრაფი ტკივილგამაყუჩებელი ეფექტი და იმპლანტის არქონა მნიშვნელოვანი უპირატესობაა, თუმცა ახალი დეფიციტისა და დეაფერენტაციული ტკივილის რისკი რჩება. კორდოტომიის სამიზნე ტკივილის საწინააღმდეგო მხარის ანტეროლატერალური გზაა. DREZ-ოტომია ფესვის შესვლის ზონასა და უკანა რქის პათოლოგიურ აქტივობაზე მოქმედებს, განსაკუთრებით ფესვების ავულსიის შემდეგ. შუა ხაზის მიელოტომია შერჩეულ ვისცერულ ტკივილში განიხილება. ცინგულოტომიის მიზანი ზოგ შემთხვევაში ტკივილით გამოწვეული ტანჯვის შემცირებაა. სამიზნის მახლობლად მოძრაობისა და მგრძნობელობის მნიშვნელოვანი გზები გადის. ამიტომ მეთოდის სახელის დამახსოვრებაზე უფრო სასარგებლოა იმის გაგება, რა კომპონენტს ვცვლით და რა ფუნქციას ვრისკავთ.

ალეგორიული შედარება. სიგნალის ხაზის გადაკვეთა შეტყობინებას აჩერებს, მაგრამ ამ ხაზით სხვა საჭირო ინფორმაციაც შეიძლება მიდიოდეს.

Nota bene შეუქცევადი ჩარევის არჩევანი კონკრეტული სინდრომის, პროგნოზისა და ფუნქციური რისკის შეფასებას მოითხოვს.

როდის არის ლეზია სწორი არჩევანი?

ლეზიური მეთოდი განსაკუთრებით შეიძლება გამოდგეს ლოკალიზებული, ცალმხრივი ონკოლოგიური ტკივილისას, როდესაც ოპიოიდური მკურნალობა საკმარისად არ მოქმედებს ან აუტანელ გვერდით მოვლენებს იწვევს. სიცოცხლის მოსალოდნელი ხანგრძლივობა, მაგალითად რამდენიმე თვე, სარგებლისა და ხანგრძლივი რისკის წონასწორობას ცვლის, მაგრამ პაციენტის სურვილსა და ფუნქციურ მიზნებს არ ანაცვლებს. ცალკე ჯგუფია სპეციფიკური დეაფერენტაციული ტკივილი, მაგალითად ბრაქიალური წნულის ავულსიის ან ზურგის ტვინის დაზიანების საზღვრის მიდამოში. ასეთ შემთხვევაში DREZ-ოტომია შეიძლება მიზნობრივი იყოს. ახალი ნეიროპათიური ტკივილისა და ნევროლოგიური დეფიციტის რისკი ყველა შემთხვევაში განიხილება.

ერთჯერადმა ჩარევამ ზოგჯერ სწრაფი შვება და ოპიოიდების შემცირება შეიძლება უზრუნველყოს იმპლანტის შემდგომი მომსახურების გარეშე. არჩევანს პალიატიური გუნდი და პაციენტი ერთობლივად აკეთებს. მეზოთელიომის ცალმხრივი ტკივილი მიზნობრივი კორდოტომიის ერთ-ერთი კლასიკური მაგალითია.

ონკოლოგიური ტკივილი: პარალელური მიმართულებები

1. მიზეზზე მოქმედება

სხივური ან სისტემური მკურნალობა, საჭიროებისას სტაბილიზაცია. ტკივილის მიზეზი უნდა შეფასდეს.

2. სიმპტომის მართვა

ანალგეზია, ადიუვანტური წამლები და მხარდაჭერა. გვერდითი ეფექტები მკურნალობის არჩევას ცვლის.

3. შერჩევითი ჩარევა

ბლოკადა, ინტრათეკალური თერაპია ან შესაბამისი ლეზიური მეთოდი. დრო პაციენტის მიზნებით განისაზღვრება.

Nota bene ინტერვენცია ინდივიდუალურად განიხილება და ყველა საფეხურის ამოწურვას ყოველთვის არ ელოდება.

პერკუტანული კორდოტომია

პერკუტანული კორდოტომიის კლასიკური სამიზნე C1–C2 დონეზე ანტეროლატერალურ კვადრანტში გამავალი სპინოთალამური სისტემაა, ტკივილის საპირისპირო მხარეს. ეს შესაბამისობა გზის გადაჯვარედინებით აიხსნება. პროცედურა CT-ის ან ფლუოროსკოპიის კონტროლით სრულდება; იმპედანსი და სტიმულაციური პასუხი სამიზნისა და მეზობელი მოტორული გზების შეფასებას ეხმარება, რის შემდეგაც RF-ლეზია იქმნება. შერჩეულ სერიებში C5 დერმატომის ქვემოთ ცალმხრივი ტკივილის სწრაფი შემცირება დაახლოებით 80–90%-შია აღწერილი და ეფექტი შესაძლოა თვეობით გაგრძელდეს. კლასიკური ჩვენებებია მეზოთელიომა, გულმკერდის კედლის სიმსივნე და ცალმხრივი მენჯისა თუ ქვედა კიდურის ონკოლოგიური ტკივილი. რისკებია ოპერაციის მხარეს სისუსტე, შარდვის ცვლილება და

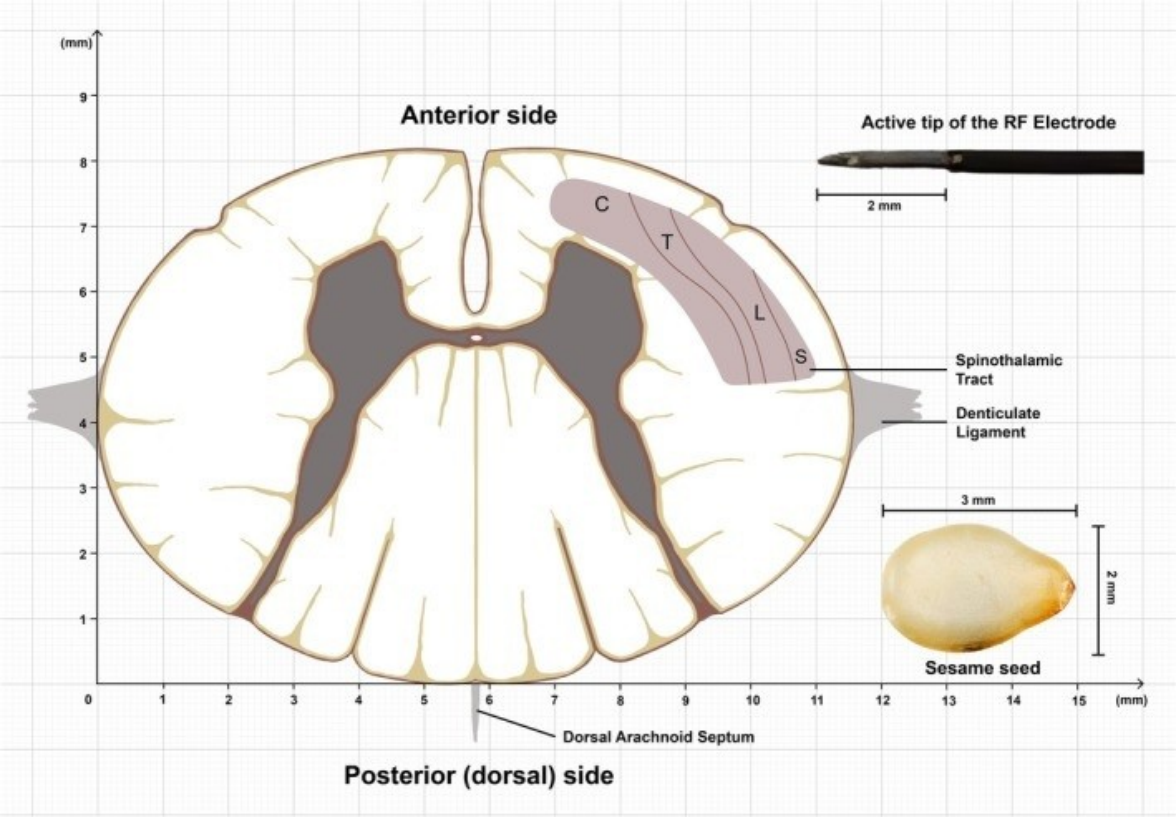
ახალი ან სარკისებრი ტკივილი. ზედა კისრის ორმხრივ ჩარევას სუნთქვის ავტომატური კონტროლის დაზიანების, განსაკუთრებით ძილისას ჰიპოვენტილაციის მძიმე რისკი ახლავს; ამიტომ ორმხრივი გამოყენება მკაცრად შერჩევითია.

Nota bene ტკივილის მდებარეობა, გზის გადაჯვარედინება და მეზობელი ფუნქციები ერთობლივად განსაზღვრავს სამიზნეს.

კორდოტომია: მცირე სამიზნე გამტარ გზაში

C2 დონეზე ნაჩვენებია სპინოთალამური ტრაქტის სავარაუდო არე. C, T, L, S აღნიშნავს სხეულის სხვადასხვა დონიდან მომავალ ბოჭკოებს. ეს ავტორთა ანატომიური ილუსტრაციაა და არა პაციენტის ინდივიდუალური რუკა. Pradhana et al. Awake Percutaneous Cervical Cordotomy. Pain Practice 2026. Fig. 1.

Nota bene სამიზნე გზის ფუნქციას ტკივილის განაწილებასა და ფიზიოლოგიურ პასუხს ვუკავშირებთ.



სურათი 3.23 — კორდოტომია: მცირე სამიზნე გამტარ გზაში.

DREZ-ოტომია: პათოლოგიური შესასვლელის დამუშავება

DREZ არის უკანა ფესვის შესვლის ზონა. აქ ფესვაკები, ლისაუერის ტრაქტი და უკანა რქის ზედაპირული უბნები მჭიდროდ უკავშირდება ერთმანეთს. ფესვების ავულსიისას ნორმალური სენსორული სიგნალი წყდება, მაგრამ უკანა რქაში პათოლოგიური აქტივობა შეიძლება დარჩეს. ეს დეაფერენტაციული ტკივილის ერთ-ერთი მექანიზმია. შერჩეულ რეზისტენტულ ავულსიურ ტკივილში DREZ-ის ლეზია ამ პათოლოგიური აქტივობის შემცირებას ემსახურება. სხვა ჩვენებები ინდივიდუალურად ფასდება. გამოიყენება

მიკროქირურგიული ან რადიოსიხშირული ტექნიკა. ლეზიის მოცულობა კონკრეტულ ანატომიასა და მეთოდზეა დამოკიდებული. მეზობლად გადის მოძრაობისა და პროპრიოცეფციის გზები. მათი დაზიანება სისუსტესა და პოზიციის შეგრძნების დარღვევას იწვევს. ჩარევა შეუქცევადია.

Nota bene DREZ-ოტომია განსაკუთრებით სპეციფიკურ დეაფერენტაციულ სინდრომებში განიხილება.

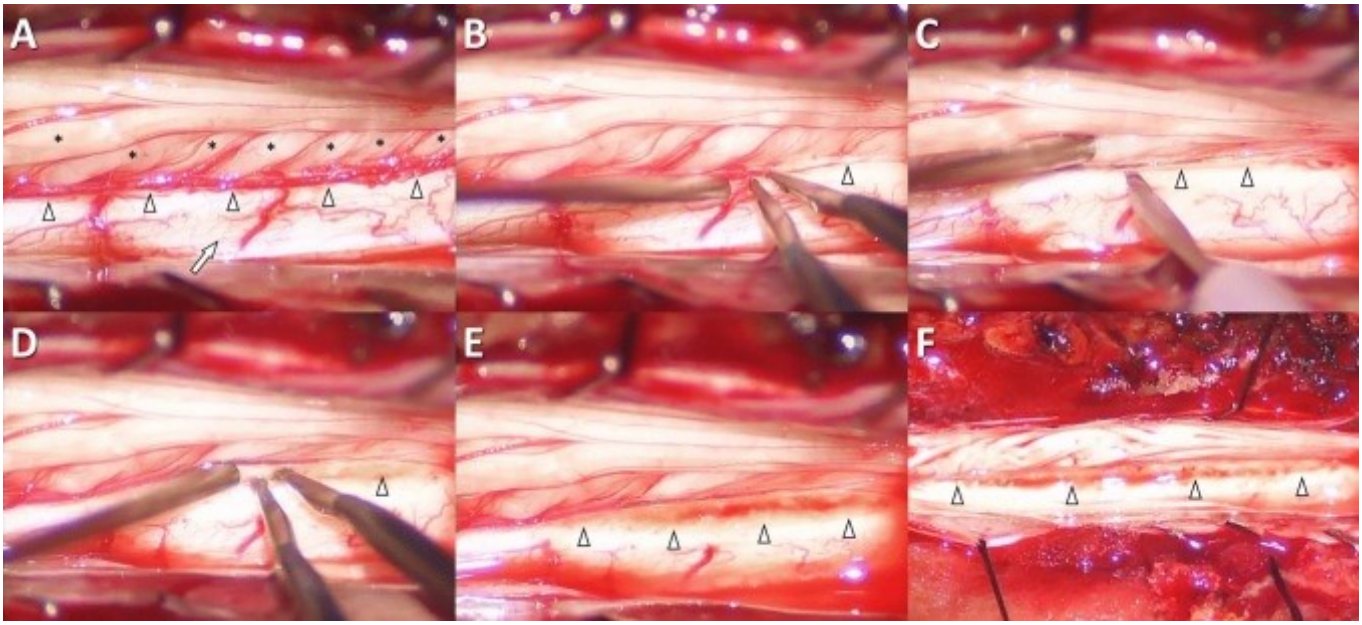
DREZ-ოტომია: რეალური ოპერაციული ეტაპები

A: უკანა ფესვების გადაწევის შემდეგ ჩანს DREZ. C–D: შესვლის ზონის მიკროქირურგიული დამუშავება.

E–F: დამუშავებული მონაკვეთი.

Comparative outcomes of microsurgical DREZotomy. 2024. Fig. 1.

Nota bene სამიზნე ფესვის შესვლის ზონაა. მეზობელი გამტარი გზების დაცვა კრიტიკულია.



სურათი 3.24 — DREZ-ოტომია: რეალური ოპერაციული ეტაპები.

მიელოტომია, ცინგულოტომია, ტრაქტოტომია

შუა ხაზის მიელოტომია უკანა სვეტებში გამავალ ვისცერულ სიგნალიზაციაზე მოქმედებს და შერჩეული მუცლისა თუ მენჯის ონკოლოგიური ტკივილისას განიხილება; ისტორიულ განვითარებას უკავშირდება ჰიჩკოკისა და ნაუტას მუშაობა. ცინგულოტომია ACC-ისა და მისი კავშირების გავლით ტკივილის აფექტურ ტვირთს ამცირებს და შეგრძნების სრულ გაქრობას აუცილებელ მიზნად არ ისახავს. ტრიგემინალური ტრაქტოტომია–ნუკლეოტომია სამწვერა ნერვის სპინალურ სისტემაზე მოქმედებს და სახისა თუ თავის მძიმე ონკოლოგიური ტკივილის ზოგ შემთხვევაში გამოიყენება, მათ შორის CT-კონტროლირებული ტექნიკით. მეზენცეფალოტომია და ჰიპოფიზექტომია ძირითადად ისტორიული ან უაღრესად შერჩევითი

მიმართულებებია. სამიზნის დადგენა შესაბამის ვიზუალიზაციასა და, სადაც გამოიყენება, ფიზიოლოგიურ შემოწმებას ეფუძნება.

Nota bene სხვადასხვა ლეზია ტკივილის სხვადასხვა კომპონენტს ცვლის; მათი ერთ უნივერსალურ „ტკივილის ოპერაციად“ განხილვა არასწორია.

შუა ხაზის მიელოტომია: MRI-ზე ნაჩვენები ლეზია

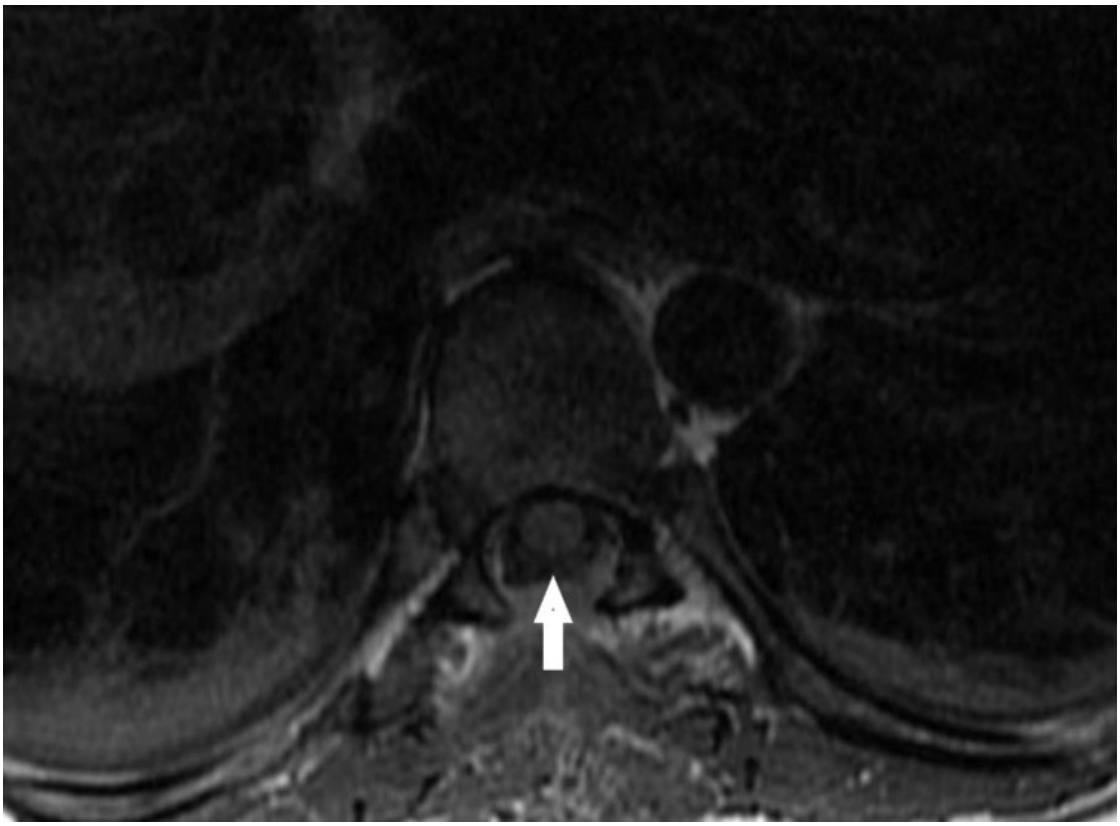
პოსტოპერაციული აქსიალური T1 MRI.

ისარი მიუთითებს გულმკერდის T7 დონეზე უკანა სვეტების შუა ხაზის მცირე ლეზიას.

წყაროში ეს არაონკოლოგიური შემთხვევის აღწერაა.

Cureus 2019. doi:10.7759/cureus.5028, Fig. 1.

Nota bene გამოსახულება სამიზნის მდებარეობას აჩვენებს; ერთი შემთხვევა მეთოდის ზოგად ეფექტურობას ვერ ამტკიცებს.



სურათი 3.25 — შუა ხაზის მიელოტომია: MRI-ზე ნაჩვენები ლეზია.

ინტრათეკალური თერაპია

ინტრათეკალური ტუმბო პრეპარატს კათეტერით ლიქვორში აწვდის. სამიზნესთან ახლოს მიწოდება ზოგ პაციენტში მცირე დოზით ტკივილგამაყუჩებელი ეფექტის მიღებასა და სისტემური ტოქსიკურობის შემცირებას იძლევა. ეს ურისკო მკურნალობას არ ნიშნავს. მორფინს სუნთქვის დათრგუნვისა და სხვა ოპიოიდური რისკები აქვს. ზიკონოტიდი არაოპიოიდურია, მაგრამ ფრთხილ ტიტრაციასა და ნეიროფსიქიატრიული გვერდითი

მოვლენების კონტროლს მოითხოვს. კათეტერის გაუმართაობა, ინფექცია და რეზერვუარის შევსების შეცდომა ცალკე საფრთხეებია. დოზის შერჩევა ინდივიდუალურია და პერორალური დოზის მარტივი არითმეტიკული გადაყვანით არ ხდება.

ალეგორიული შედარება. წამლის საჭირო ადგილთან ახლოს მიწოდება გზას ამოკლებს, მაგრამ დოზის სიზუსტესა და მიწოდების უწყვეტობას უფრო მნიშვნელოვანს ხდის.

Nota bene ტუმბოს ეფექტურობა უსაფრთხო დოზირებასა და მუდმივ მომსახურებასთან ერთად ფასდება.

ინტრათეკალური წამლის მიწოდება

ტუმბო წამალს კათეტერით ლიქვორში აწვდის. სამიზნესთან ახლოს მიწოდებამ შეიძლება მცირე დოზით ეფექტი და ზოგჯერ ნაკლები სისტემური ტოქსიკურობა უზრუნველყოს. გამოიყენება მორფინი და არაოპიოიდური ზიკონოტიდი. სხვა პრეპარატები ან კომბინაციები ხშირად დამტკიცებული ჩვენების ფარგლებს გარეთ ინიშნება. პერორალური და ინტრათეკალური დოზების უნივერსალური უსაფრთხო გადაყვანის კოეფიციენტი არ არსებობს. საჭიროა ინდივიდუალური შერჩევა და ფრთხილი ტიტრაცია. რეზისტენტული ონკოლოგიური ტკივილისას მეთოდმა შეიძლება ტკივილი და წამლის ტოქსიკურობა შეამციროს. არაონკოლოგიური გამოყენება ხანგრძლივი რისკების შეფასებას მოითხოვს. რისკებია ინფექცია, კათეტერის პრობლემა, შევსების შეცდომა, ოპიოიდით სუნთქვის დათრგუნვა და გრანულომა. ზიკონოტიდს მნიშვნელოვანი ნეიროფსიქიატრიული გვერდითი ეფექტები შეიძლება ჰქონდეს.

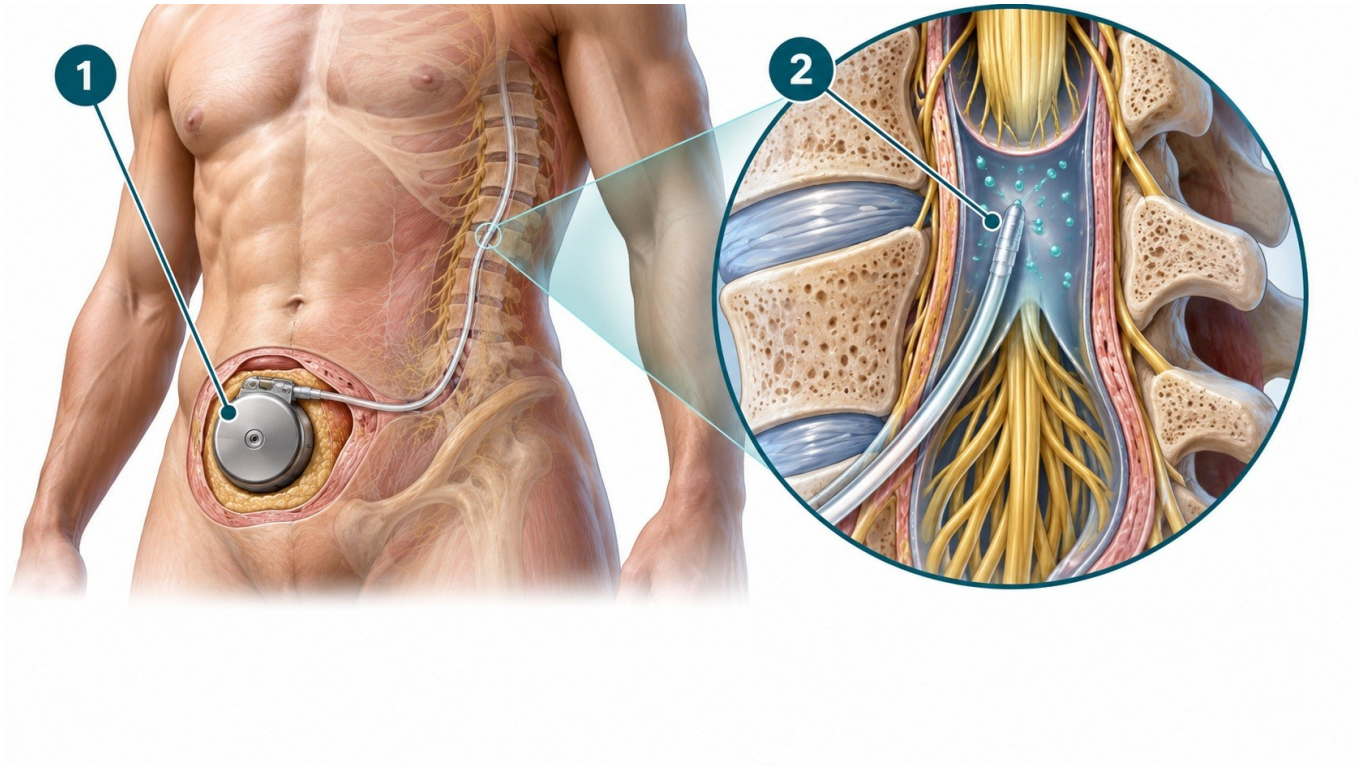
Nota bene ტუმბო მოითხოვს უსაფრთხო დოზირებას, რეგულარულ შევსებასა და მეთვალყურეობას.

ინტრათეკალური ტუმბო: წამალი ლიქვორში

1. კანქვეშა ტუმბო წამლის რეზერვუარსა და მიწოდების მექანიზმს შეიცავს.

2. კათეტერი წამალს ინტრათეკალურ სივრცეში აწვდის. ზურგის ტვინის ქსოვილში ინექცია არ კეთდება.

Nota bene შევსების გრაფიკი და დოზის უსაფრთხო კონტროლი მკურნალობის აუცილებელი ნაწილია.



სურათი 3.26 — ინტრათეკალური ტუმბო: წამალი ლიქვორში.

ტკივილის სინდრომები და პრაქტიკული არჩევანი

CRPS-ში ტკივილს შეიძლება შეშუპება, კანის ფერისა და ტემპერატურის ცვლილება, ოფლიანობა და მოტორული ან ტროფიკული ნიშნები ახლდეს. დიაგნოზი კლინიკურ კრიტერიუმებს ეყრდნობა; რეაბილიტაცია და ეტაპობრივი აქტივობა მკურნალობის ცენტრალური ნაწილია. რეზისტენტულ შემთხვევაში ნეირომოდულაცია განიხილება. PSPS ტიპი 2 აღწერს ხერხემლის ოპერაციის შემდეგ დარჩენილ ან დაბრუნებულ ტკივილს, მაგრამ მის მიზეზს არ ადგენს. ჯერ უნდა მოვძებნოთ კლინიკურად შესაბამისი კომპრესია, არასტაბილურობა ან სხვა გამოსასწორებელი პრობლემა. მხოლოდ ნაწიბურის დანახვა განმეორებითი ოპერაციის საკმარისი საფუძველი არ არის. ფანტომურ და ავულსიურ ტკივილში შემავალი სიგნალის დაკარგვაც პათოლოგიურ აქტივობას ქმნის. ცენტრალური ტკივილი თალამუსით არ შემოიფარგლება. ონკოლოგიური ტკივილისას სიმპტომის კონტროლი მიზეზზე მოქმედ მკურნალობასთან ერთად იგეგმება. მეთოდის დროული განხილვა პაციენტის დარჩენილი ცხოვრების ხარისხს შეიძლება მნიშვნელოვნად დაეხმაროს.

ალეგორიული შედარება. ხარვეზის პოვნა მხოლოდ დაზიანებული ნაწილის დანახვა არ არის: უნდა დავადგინოთ, ნამდვილად ის იწვევს თუ არა მიმდინარე პრობლემას.

Nota bene სინდრომის სახელი საწყისი გზამკვლევია; საბოლოო არჩევანს მექანიზმი და პაციენტის მიზანი განსაზღვრავს.

CRPS

კომპლექსური რეგიონული ტკივილის სინდრომი

კომპლექსური რეგიონული ტკივილის სინდრომის (CRPS) პირველი ტიპი აშკარა ნერვული დაზიანების დადასტურების გარეშე ვითარდება, ხშირად ტრავმის ან ოპერაციის შემდეგ; მეორე ტიპს ნერვის დაზიანება უკავშირდება და ისტორიულად კაუზალგიას უწოდებდნენ. ბუდაპეშტის კრიტერიუმები სენსორულ, ვაზომოტორულ, სუდომოტორულ/შეშუპებისა და მოტორულ/ტროფიკულ სიმპტომებსა და ნიშნებს აერთიანებს. მექანიზმში მონაწილეობს პერიფერიული და ცენტრალური სენსიტიზაცია, ნეიროგენური ანთება, ვეგეტატიური ცვლილებები და ქსელური რეორგანიზაცია. მკურნალობის საფუძველია ინდივიდუალურად შერჩეული აქტივობა და რეაბილიტაცია. სარკის თერაპია, ბისფოსფონატები ან ადრეულ ანთებით ფაზაში კორტიკოსტეროიდები შესაბამისი კლინიკური პირობებისა და მტკიცებულების გათვალისწინებით განიხილება.

რეზისტენტულ შემთხვევებში SCS-ის კვლევები, მათ შორის კემლერის 2000 წლის ნაშრომი, და ფოკალური ქვედა კიდურისთვის DRG-ის ACCURATE კვლევა ნეირომოდულაციის არჩევანს ეხმარება. დესტრუქციული სიმპათექტომია რუტინული მეთოდი არ არის.

Nota bene CRPS კლინიკური დიაგნოზია. მიზანი ტკივილის შემცირებასთან ერთად ფუნქციის დაბრუნებაა.

CRPS-ის დროს ადრეული, აქტიური რეაბილიტაცია პროგნოზისთვის გადამწყვეტია; ქირურგიული ნეირომოდულაცია განიხილება მაშინ, როცა ეს მიდგომა უშედეგოა.

CRPS: ტკივილთან ერთად რა იცვლება?

1. ტკივილს შეიძლება ახლდეს შეშუპება, კანის ფერისა და ტემპერატურის ცვლილება, შეხების მტკივნეულობა.

2. ეტაპობრივი მოძრაობა და რეაბილიტაცია ფუნქციის დაბრუნებას ემსახურება. დატვირთვა ინდივიდუალურად იგეგმება.

Nota bene ნახატი სასწავლო ილუსტრაციაა. მხოლოდ გარეგნული სურათით CRPS არ ისმება.



სურათი 3.27 — CRPS: ტკივილთან ერთად რა იცვლება?.

ოპერაციის შემდეგ დარჩენილი ხერხემლის ტკივილი

PSPS ტიპი 2 აღწერს ხერხემლის ოპერაციის შემდეგ დარჩენილ ან განმეორებულ ტკივილს. ტერმინი ტკივილის არსებობას აღწერს და მის მიზეზს თავისთავად არ ადგენს. შესაძლო მიზეზებია განმეორებითი კომპრესია, არასტაბილურობა, ნერვის დაზიანება, ეპიდურული ფიბროზი და სახსარ-კუნთოვანი ტკივილი. პირველი კითხვა: არის თუ არა კლინიკურად შესაბამისი, გამოსასწორებელი ანატომიური პრობლემა? MRI-ზე აღმოჩენილი ნაწიბური ყოველთვის ტკივილის მიზეზი არ არის. თუ ოპერაციული სამიზნე არ ჩანს და ნეიროპათიური ტკივილი რჩება, შერჩეულ პაციენტში შეიძლება SCS-ის ცდა. კვლევების შედეგები რეჟიმისა და შედარების მიხედვით განსხვავდება. რეაბილიტაცია, ძილისა და განწყობის მართვა მკურნალობის ნაწილია. ინტერვენციის შედეგი ტკივილთან ერთად ყოველდღიური ფუნქციითაც ფასდება.

Nota bene ოპერაციის შემდეგ ტკივილი ავტომატურად ახალი ოპერაციის ჩვენება არ არის.

ეპიდურული ფიბროზი: გამოსახულება და კლინიკა

A–C: ზედა ნაჩვენები დონე.

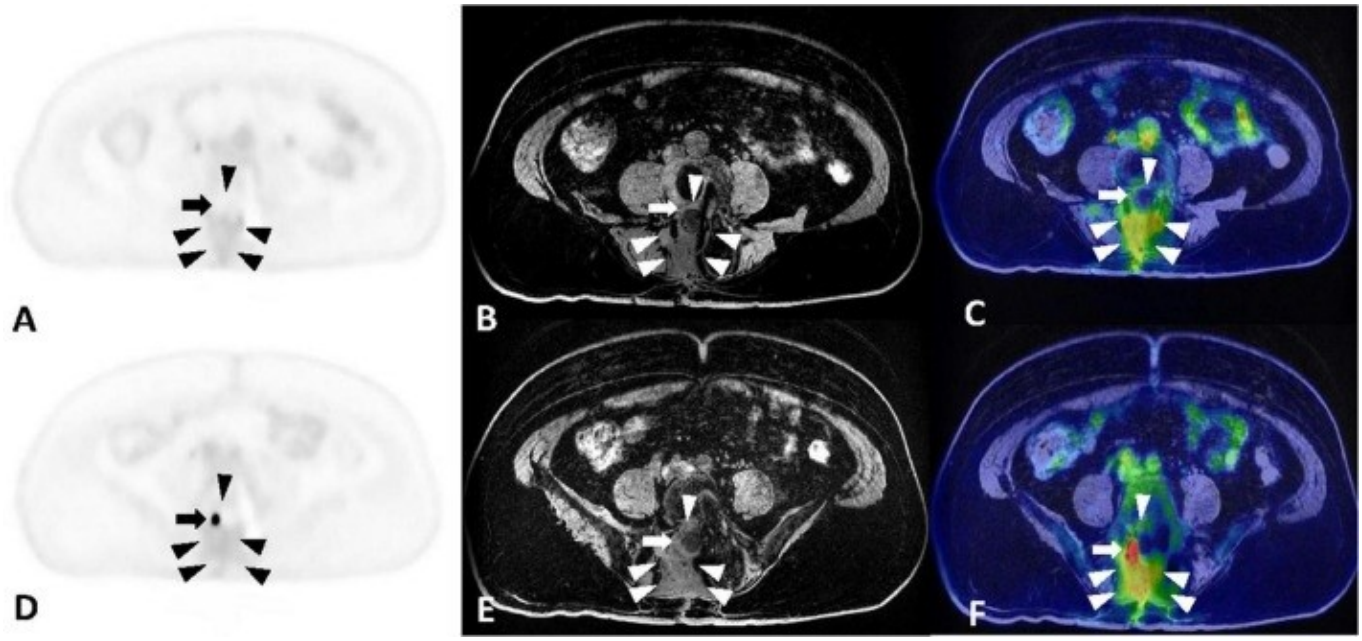
D–F: L5–S1-ის დონე.

შედარებულია MRI და PET/MRI მონაცემები.

მარჯვენა S1-ის ცვლილება ამ შემთხვევის კლინიკურ მონაცემებთან შეჯერდა.

Frontiers in Medicine 2022. doi:10.3389/fmed.2022.860545, Fig. 1.

Nota bene ნაწიბურის არსებობა ტკივილის მიზეზს ავტომატურად არ ადგენს.



სურათი 3.28 — ეპიდურული ფიბროზი: გამოსახულება და კლინიკა.

ფანტომური, ავულსიური და ცენტრალური ტკივილი

ფანტომური ტკივილი დაკარგულ კიდურში აღქმული ტკივილია. მასში პერიფერიული ნერვის, ზურგის ტვინისა და ტვინის ცვლილებები მონაწილეობს. ბრაქიალური წნულის ფესვების ავულსიისას სენსორული კავშირი წყდება. მძიმე რეზისტენტულ ტკივილში DREZ-ოტომია ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შერჩევითი მეთოდია. ინსულტის შემდგომი ცენტრალური ტკივილი შეიძლება სომატოსენსორული სისტემის სხვადასხვა უბნის დაზიანებას მოჰყვეს და მხოლოდ თალამუსის დაზიანებით არ შემოიფარგლება. ზურგის ტვინის დაზიანებისას ტკივილი შეიძლება დაზიანების დონეზე ან მის ქვემოთ იყოს. ეს განსხვავება შესაძლო ჩარევის არჩევაზე მოქმედებს. ჯერ გამოიყენება მულტიმოდალური მკურნალობა. MCS, DBS ან სხვა ჩარევა მხოლოდ შერჩეულ შემთხვევებში განიხილება, შეზღუდული მტკიცებულებისა და გაურკვეველი ხანგრძლივი სარგებლის გათვალისწინებით.

Nota bene ცენტრალური დაზიანება ავტომატურად ცენტრალურ ოპერაციას არ ნიშნავს.

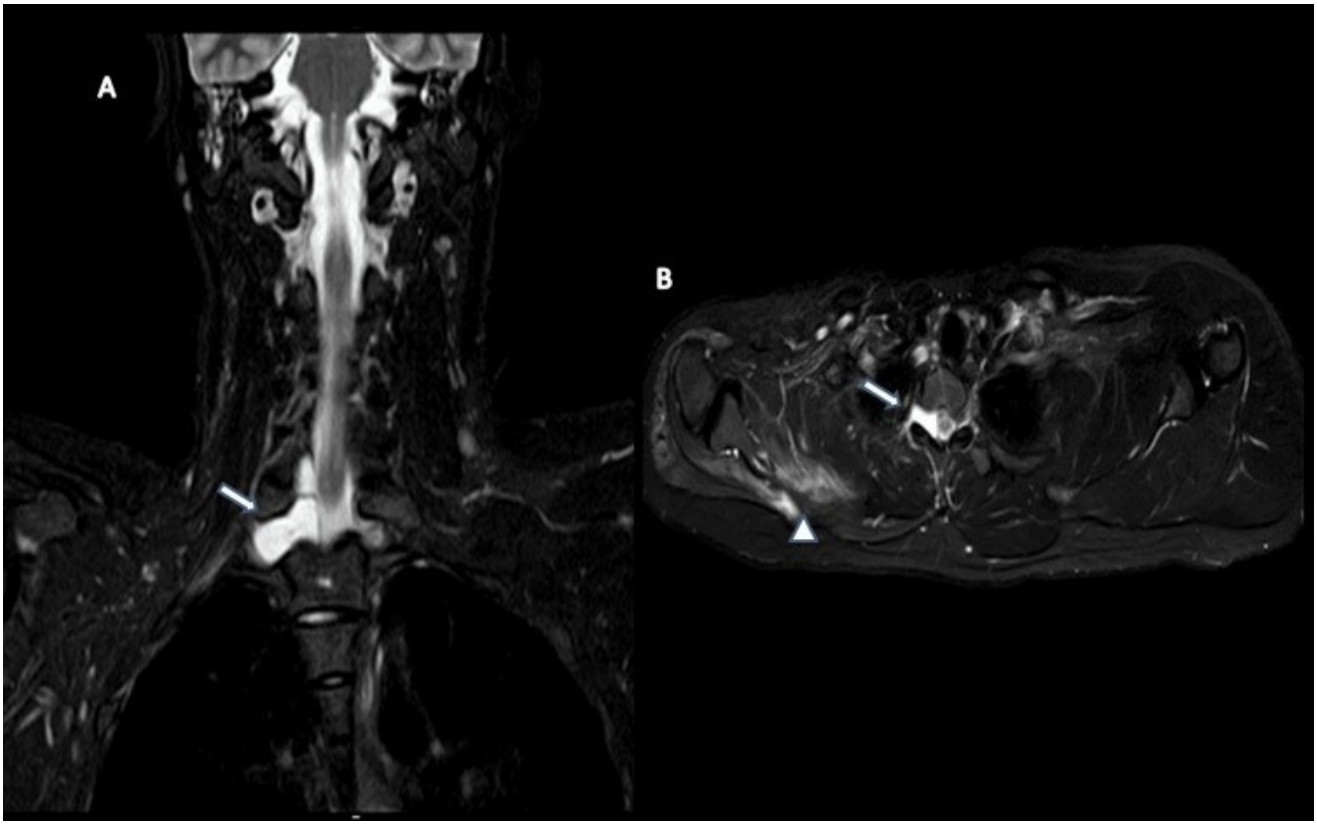
ბრაქიალური წნულის ავულსია: კავშირის დაკარგვა

კორონარული და აქსიალური STIR გამოსახულებები. ფესვების ავულსიასა და ფსევდომენინგოცელეს ნიშნები დეაფერენტაციის ანატომიურ საფუძველს აჩვენებს.

ეს რეალური კლინიკური შემთხვევაა.

Cureus 2024. doi:10.7759/cureus.55408, Fig. 2.

Nota bene ნერვული კავშირის დაკარგვამ შეიძლება ძლიერი ტკივილი წარმოქმნას.



სურათი 3.29 — ბრაქიალური წნულის ავულსია: კავშირის დაკარგვა.

ონკოლოგიური ტკივილი

პალიატიური ნეიროქირურგია

მოწინავე ონკოლოგიური დაავადებისას ზომიერი ან მძიმე ტკივილი ხშირია. სალექციო წყაროებში იგი პაციენტების ნახევარზე მეტშია აღწერილი; დაახლოებით 10–20%-ში სტანდარტული ფარმაკოთერაპია არასაკმარისია. ეს შეფასებები სიმსივნისა და მკურნალობის კონტექსტზეა დამოკიდებული. გავრცელებული რეზისტენტული ტკივილისას შეიძლება ინტრათეკალური ტუმბო განიხილებოდეს, შესაბამის ცალმხრივ ტკივილში — კორდოტომია, მუცლისა და მენჯის ვისცერულ ტკივილში — შერჩევითი მიელოტომია, სახის ტკივილში კი სხვა მიზნობრივი ჩარევა. ხერხემლის მეტასტაზებისას პარალელურად ფასდება მიზეზობრივი მკურნალობა: სხივური თერაპია, SBRT, სტაბილიზაცია ან შესაბამის შემთხვევაში ვერტებროპლასტიკა. ჩარევის განხილვა მხოლოდ სიცოცხლის ბოლო დღეებამდე არ უნდა გადაიდოს. ონკოლოგი, პალიატიური მედიცინის სპეციალისტი, ნეიროქირურგი და ანესთეზიოლოგი პაციენტსა და მის ახლობლებთან ერთად აფასებს მოსალოდნელ შვებას, დროსა და მკურნალობის ტვირთს.

Nota bene პალიატიური ჩარევის მიზანი პაციენტისთვის დარჩენილი დროის ხარისხის გაუმჯობესებაა.

ტკივილის ადეკვატური კონტროლი ონკოლოგიური დახმარების აუცილებელი ნაწილია; ნეიროქირურგიული ჩარევა შესაბამისი ჩვენებისას ამ მიზანს ემსახურება.

ონკოლოგიური ტკივილი: განაწილება და შესაძლო მეთოდი

ცალმხრივი სომატური

შერჩეულ შემთხვევაში კორდოტომია ამცირებს მოპირდაპირე სხეულის ტკივილის გადაცემას.

მუცლისა და მენჯის ვისცერული

იშვიათ შერჩეულ შემთხვევაში განიხილება შუა ხაზის მიელოტომია.

გავრცელებული რეზისტენტული

ინტრათეკალურმა თერაპიამ შეიძლება ანალგეზია გააუმჯობესოს და სისტემური ტოქსიკურობა შეამციროს.

Nota bene ეს შესაძლო არჩევანებია. მექანიზმი, პროგნოზი და რისკი გუნდურად ფასდება.

ტკივილის ქირურგიის ოთხი პრინციპი

ჯერ მექანიზმი. ქსოვილის დაზიანება, ნერვის დაავადება და შეცვლილი ნოციცეფცია სხვადასხვა მიდგომას მოითხოვს. ერთ პაციენტში ისინი შეიძლება თანაარსებობდეს. სამიზნეს კლინიკა განსაზღვრავს. ანატომიური აღმოჩენა უნდა ემთხვეოდეს სიმპტომებსა და გამოკვლევას. მხოლოდ სურათი ოპერაციის ჩვენებას არ ქმნის. შედეგი წინასწარ განვსაზღვროთ. ვაფასებთ ტკივილს, მოძრაობას, ძილსა და ყოველდღიურ ცხოვრებას. საცდელი ეტაპი გამოიყენება იქ, სადაც მეთოდისთვის დასაბუთებულია. გადაწყვეტილება გუნდურია. პაციენტის მიზნები, ფსიქოლოგიური მხარდაჭერა, რისკები და ხანგრძლივი მეთვალყურეობა მკურნალობის ნაწილია.

Nota bene მეთოდს ვირჩევთ პაციენტის მექანიზმისა და მიზნების მიხედვით.

კლინიკური მაგალითები

62 წ., ნევრალგია V2–V3

კლასიკური პაროქსიზმები, კარბამაზეპინი აღარ ეხმარება; MRT: SCA-ს კომპრესია; ჯანმრთელი. შესაძლო არჩევანი: MVD.

84 წ., ნევრალგია V3

ანტიკოაგულანტები, გულის უკმარისობა. შესაძლო არჩევანი: რადიოქირურგია ან პერკუტანული ბალონი/RF.

45 წ., PSPS ტიპი 2

L5–S1 ფიქსაციის შემდეგ ფეხის ნეიროპათიური ტკივილი > წელის; სტაბილური. შესაძლო არჩევანი: SCS-ის საცდელი ეტაპი.

58 წ., მეზოთელიომა

ცალმხრივი გულმკერდის ტკივილი, პროგნოზი თვეები, ოპიოიდები არაეფექტური. შესაძლო არჩევანი: პერკუტანული კორდოტომია.

Nota bene ეს შესაძლო არჩევანებია. საბოლოო გადაწყვეტილება სრულ შეფასებას ეფუძნება.

ძირითადი დასკვნები

Nota bene აღქმაზე სენსორული გადაცემა, ცენტრალური დამუშავება, ემოცია და კონტექსტიც მოქმედებს.

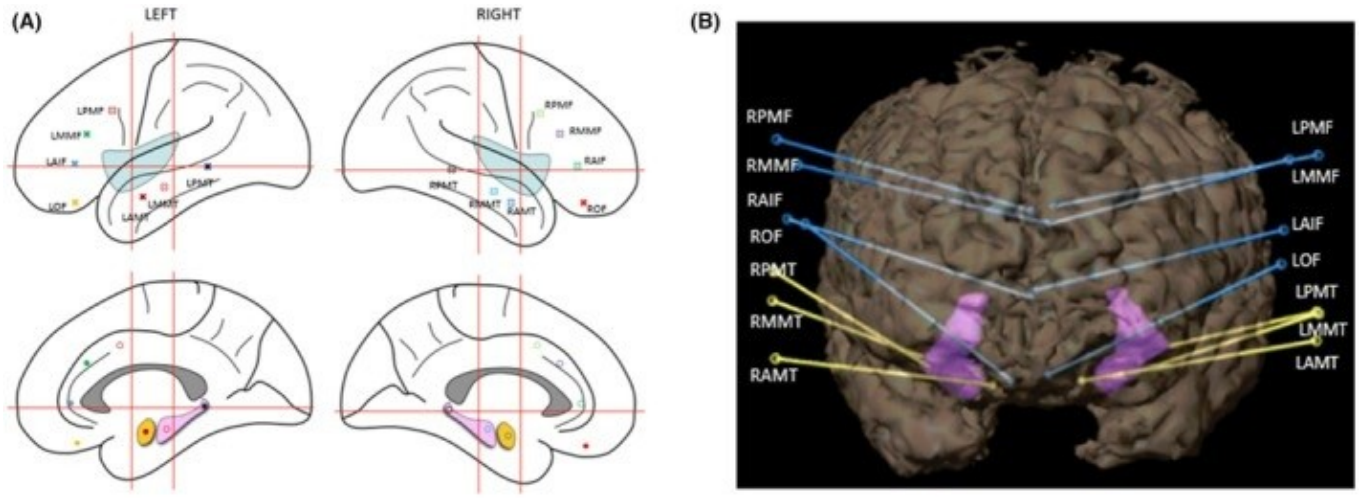
Nota bene საჭიროა მექანიზმის, გამოსასწორებელი მიზეზის, მტკიცებულებისა და პაციენტის მიზნის შესაბამისობა.



სურათი 3.30 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია.

თავი 4

ეპილეფსიის ქირურგიული მკურნალობა



სურათი 4.1 — ეპილეფსიის ქირურგიული მკურნალობა.

ნორმალური აქტივობიდან ეპილეფსიურ შეტევამდე

ნორმალური ტვინიც მუდმივად წარმოქმნის ელექტრულ აქტივობას. ნეირონები ინფორმაციას გადასცემენ და საჭირო მომენტში ერთმანეთს ეთანხმებიან, მაგრამ ეს შეთანხმება ამოცანის მიხედვით იცვლება. ეპილეფსიური შეტევისას პათოლოგიური აქტივობა დროებით არღვევს ქსელის მუშაობას. მისი გამოვლინება დამოკიდებულია იმაზე, რომელი უბანი მონაწილეობს: შეიძლება შეიცვალოს შეგრძნება, ცნობიერება, ქცევა ან მოძრაობა. ყველა შეტევა კრუნჩხვითი არ არის. ეპილეფსია გულისხმობს შეტევების განმეორების ხანგრძლივ მიდრეკილებას. პრაქტიკული განსაზღვრებით, ის შეიძლება დადგინდეს ორი არაპროვოცირებული შეტევის შემდეგ, თუ მათ შორის 24 საათზე მეტია; ერთი ასეთი შეტევის შემდეგაც, თუ მომდევნო ათ წელიწადში განმეორების რისკი მინიმუმ 60%-ია; ან ეპილეფსიური სინდრომის დიაგნოზით. მწვავე მეტაბოლური მიზეზით გამოწვეული ერთჯერადი შეტევა თავისთავად ეპილეფსიას არ ნიშნავს.

ეპილეპტოგენეზი ქმნის შეტევებისადმი მიდრეკილ ქსელს; იკტოგენეზი კონკრეტული შეტევის დაწყების პროცესია. აგზნების, შეკავებისა და კავშირების ცვლილებები ერთმანეთს ერწყმის. ქირურგისთვის მთავარი კითხვა ხდება: რომელი ქსოვილის ან კავშირის შეცვლაა საჭირო შეტევების შესაჩერებლად და რომელი ფუნქციები უნდა შევინარჩუნოთ?

ალეგორიული შედარება. ორკესტრში ერთდროული დაკვრა ნორმალურია; პრობლემა იწყება, როცა ერთი პათოლოგიური რიტმი სხვა პარტიებს აღარ აძლევს შესრულების საშუალებას.

Nota bene შეტევა დროებითი მოვლენაა; ეპილეფსია — მისი განმეორების მიდრეკილება. EEG-ზე სინქრონიზაცია თავისთავად დაავადებას არ ნიშნავს.

მაგალითი: მეზიური ტემპორული გულყრა

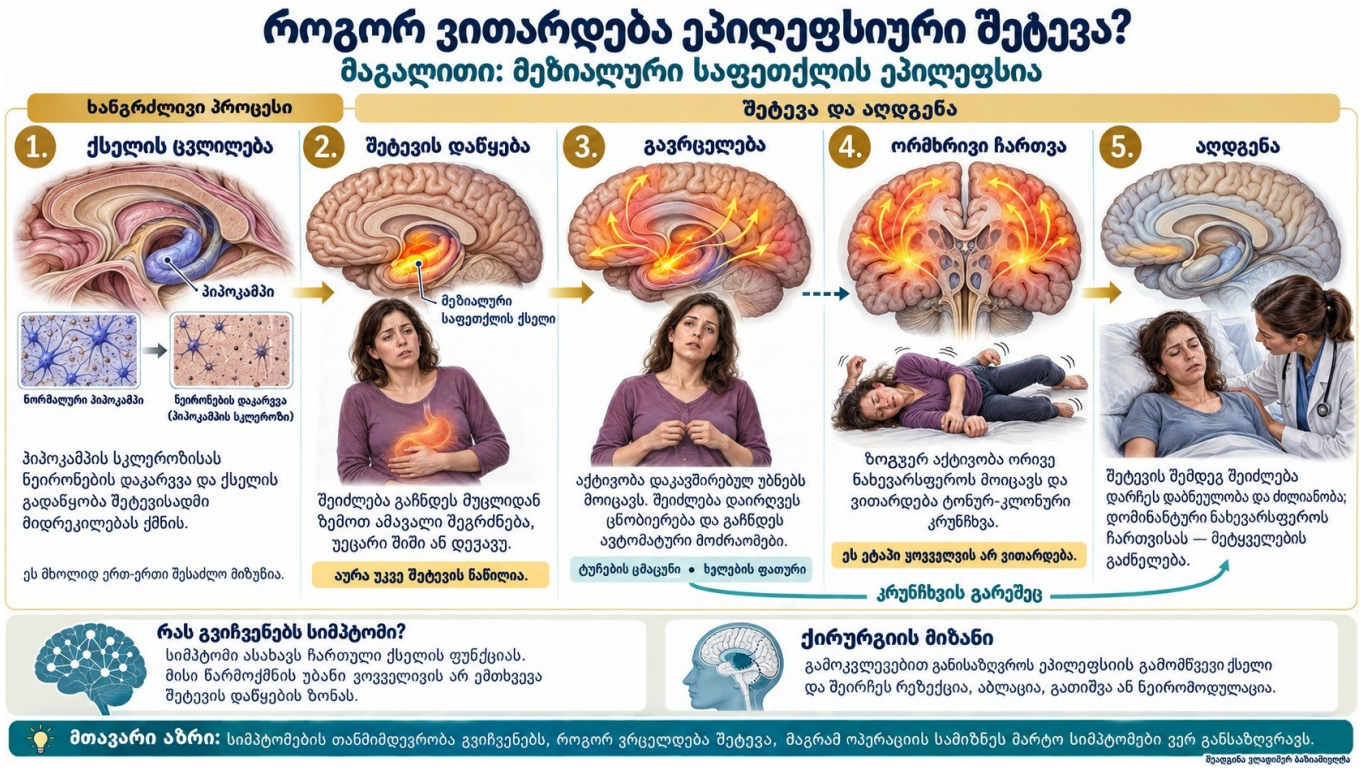
მეზიური საფეთქლის წილის ეპილეფსიის მაგალითში ხანგრძლივი ცვლილება და თავად შეტევა ერთმანეთისგან უნდა განვასხვაოთ. ჰიპოკამპური სკლეროზის დროს ნეირონების დაკარგვასა და ქსელის რეორგანიზაციას შეუძლია შეტევებისადმი მიდრეკილება შექმნას. შეტევა კი ამ ქსელში კონკრეტულ მომენტში დაწყებული მოვლენაა. პირველი განცდა შეიძლება იყოს მუცლიდან ზემოთ წამოსული შეგრძნება, déjà vu ან უეცარი შიში. ამიგდალის, ინსულისა და სხვა დაკავშირებული უბნების ჩართვისას შესაძლოა გაჩნდეს ავტომატიზმები და ცნობიერების დარღვევა. ზოგჯერ აქტივობა უფრო ფართოდ ვრცელდება და ფოკალურიდან ორმხრივ ტონურ-კლონურ შეტევაში გადადის. დასრულების შემდეგ შესაძლებელია დაბნეულობა, დომინანტური ნახევარსფეროს ჩართვისას კი მეტყველების დროებითი გაძნელებაც.

ამ ნიშნების თანმიმდევრობას სემიოლოგია აღწერს. იგი გავრცელების შესახებ მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა, თუმცა პირველი შესამჩნევი სიმპტომი ყოველთვის საწყის კერას არ მიუთითებს: შეტევა შეიძლება კლინიკურად „ჩუმ“ უბანში დაიწყოს და მხოლოდ სხვა ქსელის ჩართვისას გამოჩნდეს.

ალეგორიული შედარება. კვამლი შეიძლება პირველად მეზობელ ოთახში დავინახოთ, მაშინ როცა ცეცხლის წყარო სხვაგანაა. ასევე, სიმპტომის გამომწვევი უბანი და შეტევის დასაწყისი ყოველთვის ერთმანეთს არ ემთხვევა.

Nota bene ქირურგიული ამოცანაა შეტევისთვის აუცილებელი ქსოვილის ან კავშირის დადგენა და მისი რეზექცია, აბლაცია, გათიშვა ან მოდულაცია მნიშვნელოვანი ფუნქციის შენარჩუნებით.

თემის ილუსტრაცია



სურათი 4.2 — თემის ილუსტრაცია.

სასწავლო კონცეპტუალური ილუსტრაცია, გენერირებული AI-ით.

წყარო: https://www.epilepsydiagnosis.org/seizure/temporal-overview და https://doi.org/10.1684/epd.2022.1430

კლასიფიკაცია: გულყრა, ეპილეფსია, ეტიოლოგია

კლასიფიკაციაში სამი სხვადასხვა კითხვა გამოიყოფა: როგორი შეტევაა, რა ტიპის ეპილეფსია აქვს პაციენტს და რა არის მისი მიზეზი. ILAE-ის 2025 წლის შეტევების კლასიფიკაცია მოიცავს ფოკალურ, გენერალიზებულ, უცნობ — ფოკალურია თუ გენერალიზებული — და არაკლასიფიცირებულ შეტევებს. ფოკალური შეტევა შეიძლება ცნობიერების შენარჩუნებით ან დარღვევით მიმდინარეობდეს და ზოგჯერ ორმხრივ ტონურ-კლონურ შეტევაში გადავიდეს. ეპილეფსიის ტიპი შეიძლება იყოს ფოკალური, გენერალიზებული, კომბინირებული ან უცნობი. ცალკე დგინდება ეპილეფსიური სინდრომი, მაგალითად ლენოქს–გასტოს სინდრომი. ეტიოლოგიური ჯგუფებია სტრუქტურული, გენეტიკური, ინფექციური, მეტაბოლური, იმუნური და უცნობი; ერთი შემთხვევა რამდენიმე კატეგორიას შეიძლება უკავშირდებოდეს.

მსოფლიოში ეპილეფსიის მქონე ადამიანთა რაოდენობა დაახლოებით 50 მილიონად არის შეფასებული. მოზრდილებში ფოკალური ეპილეფსია ხშირია. ქირურგიულ შეფასებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ჰიპოკამპურ სკლეროზს, კორტიკალურ დისპლაზიას, სიმსივნეს, კავერნომას, ნაწიბურსა და ჰიპოთალამურ ჰამარტომას, თუმცა სტრუქტურული დაზიანების აღმოჩენა თავისთავად ოპერაციის ჩვენებას არ ქმნის.

კლასიფიკაცია: სამი განსხვავებული კითხვა

ცხრილი 4.1 — კლასიფიკაცია: სამი განსხვავებული კითხვა

კითხვა	დონე	კატეგორიები
როგორი შეტევაა?	ILAE 2025	ფოკალური; გენერალიზებული; უცნობი — ფოკალური თუ გენერალიზებული; არაკლასიფიცირებული
რა ტიპის ეპილეფსიაა?	დაავადება	ფოკალური; გენერალიზებული; კომბინირებული; უცნობი
რა არის მიზეზი?	ეტიოლოგია	სტრუქტურული; გენეტიკური; ინფექციური; მეტაბოლური; იმუნური; უცნობი

ILAE 2025 seizure classification: https://doi.org/10.1111/epi.18338

უჯრედიდან ქსელამდე: ეპილეპტოგენეზი

აგზნებისა და შეკავების რეგულაციის დარღვევა შეიძლება მოიცავდეს გლუტამატურ და GABA-ერგულ გადაცემას, Na-, K- და Ca-არხებსა და ქსელურ კავშირებს. მარტივი ფორმულა „გლუტამატი იზრდება, GABA მცირდება“ ყველა ეპილეფსიის უნივერსალური მექანიზმი არ არის. ეპილეპტოგენეზი შეიძლება დაზიანებას — ტრავმას, ინფექციას ან ზოგ შემთხვევაში გახანგრძლივებულ ცხელებით შეტევას — მოჰყვეს. გარკვეული ლატენტური პერიოდის განმავლობაში ვითარდება ნეირონული დანაკარგი, გლიოზი, ანთება და კავშირების გადაწყობა. ყველა დაზიანება ეპილეფსიით არ მთავრდება და ყველა ეპილეფსიას ასეთი შეძენილი დასაწყისი არ აქვს. ინტერიქტალური პიკები და მაღალი სიხშირის ოსცილაციები (HFO, დაახლოებით 80–500 ჰც) ლოკალიზაციის დამატებითი ნიშნებია. ზოგი მაღალი სიხშირის აქტივობა ფიზიოლოგიურიცაა, ამიტომ HFO დამოუკიდებლად ეპილეპტოგენური ქსოვილის უტყუარ მარკერს არ წარმოადგენს.

პათოლოგიური აქტივობისას ნეირონთა ჯგუფების დროითი შეთანხმება იცვლება და შეტევა დაკავშირებულ უბნებს მოიცავს. თალამუსის წინა და ცენტრომედიანური ბირთვები, აგრეთვე პულვინარი, სხვადასხვა ეპილეფსიურ ქსელში მონაწილეობს; მათი როლი კონკრეტულ სინდრომზეა დამოკიდებული. სწორედ ქსელურ კვანძებზე ზემოქმედება ქმნის ნეირომოდულაციის საფუძველს. ჰიპოკამპური სკლეროზის ზოგ შემთხვევაში აღწერილია ხავსისებრი ბოჭკოების აღმოცენება: დაკბილული ხვეულის გრანულური უჯრედების აქსონები უჩვეულო კავშირებს ქმნის. ეს ქსელური რეორგანიზაციის მაგალითია და ეპილეფსიის ყველა ფორმის აუცილებელ მექანიზმად არ უნდა ჩაითვალოს.

უჯრედიდან ქსელამდე: ეპილეპტოგენეზი

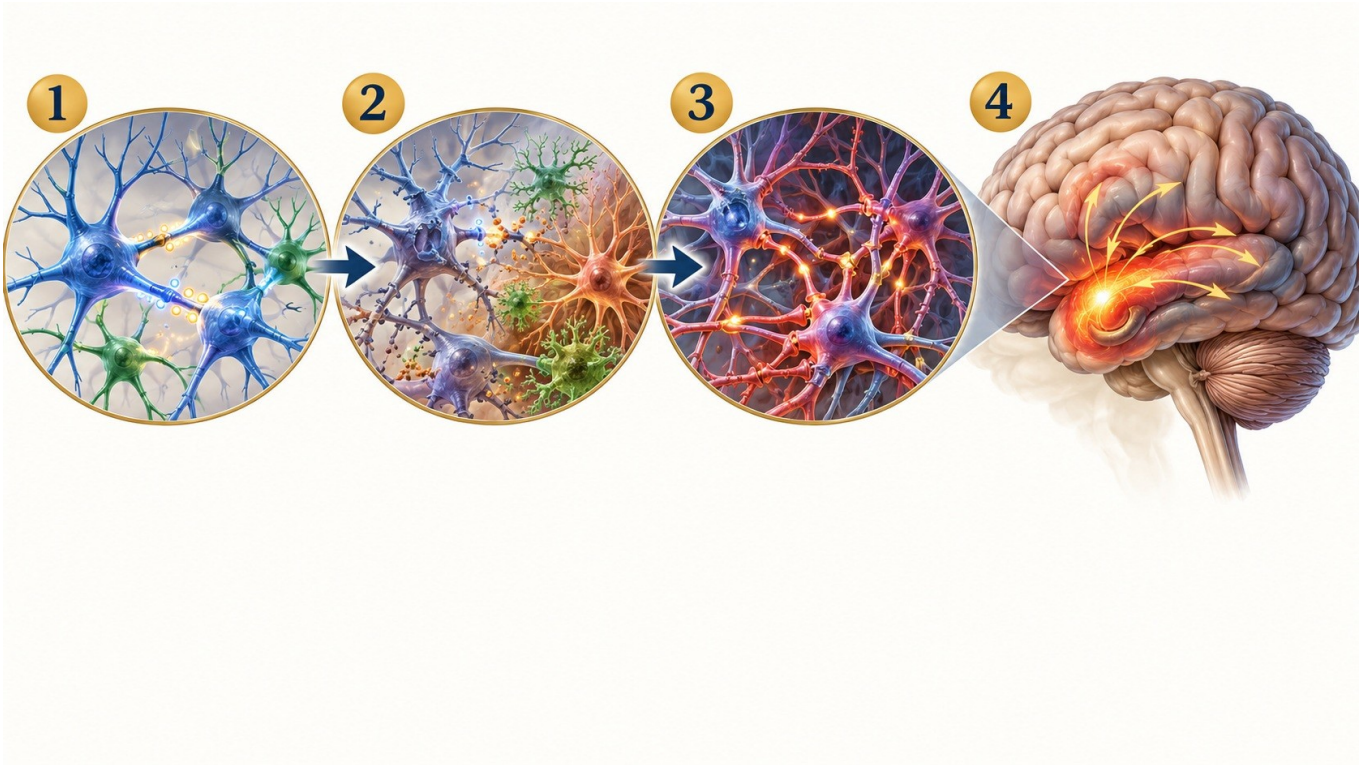
1. ნორმაში აგზნება და შეკავება ქსელის აქტივობას არეგულირებს.

2. დაზიანებას შეიძლება მოჰყვეს ნეირონების დაკარგვა, გლიოზი და ანთება.

3. კავშირების გადაწყობამ შეიძლება გაზარდოს ქსელის აგზნებადობა.

4. შედეგად შეიძლება ჩამოყალიბდეს განმეორებითი სპონტანური შეტევები.

Nota bene ეპილეპტოგენეზი ხანგრძლივი პროცესია და თავად შეტევისგან უნდა განვასხვავოთ.



სურათი 4.3 — უჯრედიდან ქსელამდე: ეპილეპტოგენეზი.

Presurgical epilepsy evaluation (2025), https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

ხუთი ზონა და ეპილეპტოგენური ზონა

როზენოვი და ლიუდერსი, 2001

ცხრილი 4.2 — ხუთი ზონა და ეპილეპტოგენური ზონა

ზონა	განმარტება	როგორ ვადგენთ
გაღიზიანების ზონა	ინტერიქტალური პიკების წყარო	EEG, MEG, SEEG
გულყრის დაწყების ზონა	სადაც კლინიკური გულყრა იწყება	იქტალური EEG/SEEG, იქტალური SPECT
სიმპტომების ზონა	რომლის აქტივაციაც სიმპტომებს იწვევს	სემიოლოგია (ვიდეო)
ეპილეპტოგენური დაზიანება	სტრუქტურული ანომალია, რომელიც გულყრებს იწვევს	MRT
ფუნქციური დეფიციტის ზონა	ინტერიქტალურად დისფუნქციური ქერქი	ნეიროფსიქოლოგია, PET, ნევროლოგიური გასინჯვა

ზონა	განმარტება	როგორ ვადგენთ
ეპილეპტოგენური ზონა	მინიმალური ქსოვილი, რომლის მოცილებაც გულყრებს შეაჩერებს	თეორიული; ყველა ზონის კონკორდანტობით

ეპილეპტოგენური ზონა თეორიული, კლინიკურად გამოსათვლელი ცნებაა: ეს არის ქსოვილის მინიმალური ერთობლიობა, რომლის მოცილება ან გათიშვა შეტევების შეწყვეტისთვის საკმარისი იქნებოდა. მას ერთი კვლევა პირდაპირ ვერ ზომავს. წინასაოპერაციო ჰიპოთეზა სხვადასხვა მონაცემის თანხვედრას ეფუძნება, ხოლო ოპერაციის შემდგომი შედეგი მის სისწორეზე დამატებით ინფორმაციას გვაძლევს.

როდის არის საჭირო ქირურგიული შეფასება?

მკურნალობა სწორად შერჩეული შეტევის საწინააღმდეგო მედიკამენტით იწყება. თუ ორი ადეკვატურად შერჩეული, ატანილი და გამოყენებული სქემა მდგრად თავისუფლებას ვერ უზრუნველყოფს, განიხილება მედიკამენტრეზისტენტული ეპილეფსია. ჯერ უნდა გადაამოწმონ დიაგნოზი, დოზა, მიღების რეგულარობა და შეტევის ტიპთან შესაბამისობა. ამ ეტაპზე სპეციალიზებულ ცენტრში მიმართვა ოპერაციაზე თანხმობას არ ნიშნავს. შეფასებამ შეიძლება გამოავლინოს მოსაშორებელი კერა, ნეირომოდულაციის შესაძლებლობა ან დიაგნოზის შეცვლის საჭიროება. წლების განმავლობაში მხოლოდ ახალი წამლების ცდა ზოგჯერ სასარგებლო მკურნალობას აყოვნებს. რანდომიზებულ კვლევებში შერჩეული საფეთქლის წილის ეპილეფსიის ქირურგიამ მედიკამენტურ გაგრძელებაზე უკეთესი შედეგი აჩვენა. თუმცა ამ შედეგს ყველა პაციენტზე ვერ გადავიტანთ: მნიშვნელობა აქვს კერის მდებარეობას, კვლევების თანხვედრასა და ფუნქციურ რისკს.

ალეგორიული შედარება. სპეციალიზებულ ცენტრში მიმართვა გზაჯვარედინზე რუკის გადამოწმებას ჰგავს: ჯერ შესაძლო გზებს ვადგენთ, შემდეგ ვირჩევთ მიმართულებას.

Nota bene ორი ადეკვატური სქემის წარუმატებლობა დროული შეფასების საფუძველია და არა ოპერაციის ავტომატური ჩვენება.

ფარმაკორეზისტენტული ეპილეფსია

ILAE-ის 2010 წლის განსაზღვრებით, მედიკამენტრეზისტენტობა გულისხმობს ორი სწორად შერჩეული, ატანილი და ადეკვატურად გამოყენებული მედიკამენტური სქემით მდგრადი კონტროლის მიუღწევლობას. პაციენტების დაახლოებით 30–35%-ში აღწერილი რეზისტენტობა მნიშვნელოვანი კლინიკური პრობლემაა, თუმცა მაჩვენებელი პოპულაციაზეა დამოკიდებული. კვანისა და ბროდის ცნობილ კოჰორტაში პირველი მედიკამენტით შეტევებისგან თავისუფალი გახდა 47%, მეორე ან მესამე პრეპარატით კი დამატებით 14%. ეს კონკრეტული კვლევის მონაცემებია, რომლებიც აჩვენებს, რატომ მცირდება მხოლოდ მორიგი წამლის ცდისგან მოსალოდნელი სარგებელი პირველი წარუმატებლობების შემდეგ.

განმეორებით შეტევებს ახლავს ტრავმის, სოციალური შეზღუდვის, კოგნიტური და ფსიქიატრიული პრობლემებისა და SUDEP-ის — ეპილეფსიასთან დაკავშირებული უეცარი

მოულოდნელი სიკვდილის — რისკი. ამავდროულად, აუცილებელია ფსევდორეზისტენტობის გამორიცხვა: არასწორი დიაგნოზი, შეუსაბამო პრეპარატი, დოზა ან მიღების რეჟიმი ნამდვილ რეზისტენტობას შეიძლება ჰგავდეს. ვიდეო-EEG შეტევის ტიპის დაზუსტებას და არაეპილეფსიური მოვლენების, მათ შორის ფუნქციური შეტევებისა და სინკოპის, გარჩევას ეხმარება.

რატომ ქირურგია და რატომ ადრე?

შერჩეული პაციენტებისთვის ქირურგიის უპირატესობა რანდომიზებულ კვლევებშიც გამოჩნდა. უიბის 2001 წლის კვლევაში საფეთქლის წილის ეპილეფსიისას ერთი წლის შემდეგ ცნობიერების დამრღვევი შეტევებისგან თავისუფალი იყო ქირურგიული ჯგუფის 58% და მედიკამენტური ჯგუფის 8%. ERSET-ის 2012 წლის მცირე კვლევაში ორი წლის შედეგი იყო 11/15 ოპერირებულ და 0/23 მედიკამენტურად ნამკურნალებ პაციენტში შეტევათავისუფლება. დვივედის 2017 წლის ბავშვთა კვლევაში 12 თვის შემდეგ შესაბამისი მაჩვენებლები 77% და 7% იყო. ეს განსხვავებული კოჰორტებია და მათი პროცენტები ერთმანეთის პირდაპირ შედარებას არ ემსახურება. სპეციალიზებულ შეფასებამდე მრავალწლიანი დაყოვნება სასარგებლო მკურნალობის შესაძლებლობას შეიძლება აყოვნებდეს. მედიკამენტრეზისტენტობის დადგენის შემდეგ ცენტრში დროული მიმართვა შესაძლო ოპერაციის, სხვა მკურნალობისა და დიაგნოზის ხელახალი შეფასების გზას ხსნის.

კერის ძიება: კლინიკა, EEG და გამოსახულება

პირველი მინიშნება თავად შეტევაა: რა იგრძნო პაციენტმა პირველად, რომელმა ნაწილმა დაიწყო მოძრაობა, როდის შეიცვალა ცნობიერება? ვიდეო-EEG ამ თანმიმდევრობას ელექტრულ აქტივობას ადარებს. მაღალი ხარისხის MRI ეძებს სტრუქტურულ მიზეზს, მაგალითად ჰიპოკამპის სკლეროზს ან ქერქის დისპლაზიას. გამოსახულებაზე ნაპოვნი დაზიანება ყოველთვის მთელი ეპილეპტოგენური ზონა არ არის. ნორმალური MRI-ც ეპილეფსიას არ გამორიცხავს. PET, SPECT და MEG დამატებით მონაცემებს იძლევა, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საწყისი კვლევები ერთმანეთს არ ემთხვევა. ამავე დროს ვადგენთ, სად მდებარეობს მეტყველება, მეხსიერება, მხედველობითი გზები და მოძრაობისთვის მნიშვნელოვანი ქსელი. ნეიროფსიქოლოგიური შეფასება გვაჩვენებს საწყის შესაძლებლობებსა და მოსალოდნელ რისკს. საუკეთესო გეგმა სხვადასხვა მეთოდის თანხვედრით იქმნება.

ალეგორიული შედარება. გამოძიებაში ერთი კვალი ეჭვს ქმნის; ერთმანეთთან შეთანხმებული რამდენიმე დამოუკიდებელი კვალი დასკვნას ამყარებს.

Nota bene ეპილეპტოგენური ზონა არც MRI-ის დაზიანების და არც ერთი EEG-ელექტროდის სინონიმია.

წინასაოპერაციო შეფასების გზა

პირველ, არაინვაზიურ ფაზაში ვიდეო-EEG შეტევის კლინიკურ თანმიმდევრობას ელექტრულ აქტივობას ადარებს. ხშირად რამდენიმე ტიპური შეტევის, მაგალითად 3–5 ეპიზოდის,

ჩაწერაა სასარგებლო, თუმცა საჭირო რაოდენობა ინდივიდუალურია. 3T MRI ეპილეფსიის სპეციალური პროტოკოლით, მათ შორის HARNESS-ის პრინციპებითა და საჭირო პოსტპროცესინგით, სტრუქტურულ მიზეზს ეძებს. FDG-PET, იქტალური SPECT და MEG შერჩეულ შემთხვევებში დამატებით ფუნქციურ ინფორმაციას იძლევა. ნეიროფსიქოლოგიური შეფასება, fMRI და ფსიქიატრიული შეფასება კი საწყისი ფუნქციისა და ოპერაციული რისკის დადგენას ემსახურება. ეპილეპტოლოგი, ნეიროქირურგი, ნეირორადიოლოგი, ნეიროფსიქოლოგი და სხვა სპეციალისტები ამ მონაცემებს ერთ კლინიკურ ჰიპოთეზად აერთიანებს.

თუ მონაცემები ერთმანეთს ემთხვევა — კონკორდანტულია — და ფუნქციური რისკი მისაღებია, შესაძლებელია ოპერაციის დაგეგმვა. შეუსაბამო ან MRI-ნეგატიური მონაცემებისას დასაბუთებული ჰიპოთეზა SEEG-ით შეიძლება შემოწმდეს. როდესაც უსაფრთხოდ მოსაშორებელი ერთი კერა ვერ დგინდება, შესაძლოა დისკონექციის ან ნეირომოდულაციის განხილვა გახდეს საჭირო.

წინასაოპერაციო შეფასების გზა

1. ვიდეო-EEG: როგორ იწყება და ვლინდება შეტევა?

2. MRI: არსებობს თუ არა სტრუქტურული დაზიანება?

3. PET/SPECT/MEG: სად ჩანს დამატებითი ფუნქციური დარღვევა?

4. მეხსიერებისა და ენის შეფასება: რა ფუნქცია უნდა დავიცვათ?

5. გუნდი აერთიანებს მონაცემებს და ადგენს შემდგომ გეგმას.

Nota bene ოპერაციის გეგმა რამდენიმე მეთოდის შეთანხმებულ მონაცემებს ეყრდნობა.



სურათი 4.4 — წინასაოპერაციო შეფასების გზა.

MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება

ჰიპოკამპურ სკლეროზზე მიგვანიშნებს ჰიპოკამპის ატროფია, T2/FLAIR სიგნალის მატება და შინაგანი არქიტექტურის დაკარგვა. ზოგჯერ ფორნიქსისა და ძუძუსებრი სხეულის ატროფიაც ჩანს. ფოკალური კორტიკალური დისპლაზიისას (FCD) შეიძლება ქერქის გასქელება და რუხი–თეთრი ნივთიერების საზღვრის წაშლა გამოვლინდეს; IIb ტიპისთვის დამახასიათებელი ტრანსმანტიული ნიშანი პარკუჭისკენ მიმართულ ზოლს ჰგავს. გამოსაკვლევი მიზეზები მოიცავს DNET-სა და განგლიოგლიომას, კავერნომას, ნაწიბურს, ჰეტეროტოპიას, პოლიმიკროგირიასა და ჰიპოთალამურ ჰამარტომას. მათ დასანახად მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ მაგნიტის სიმძლავრე, არამედ პროტოკოლი: იზოტროპული 3D T1 და FLAIR, აგრეთვე ჰიპოკამპის ღერძის პერპენდიკულარული მაღალი გარჩევადობის კორონარული T2 ჭრილები.

სალექციო წყაროებში MRI-ნეგატიური შემთხვევებისთვის მოყვანილი დაახლოებით 20–30% დამოკიდებულია პაციენტთა ჯგუფსა და კვლევის ხარისხზე. ექსპერტულმა ხელახალმა შეფასებამ და მორფომეტრიულმა პოსტპროცესინგმა, მაგალითად MAP-მა, ზოგჯერ ფარული დისპლაზია შეიძლება გამოავლინოს.

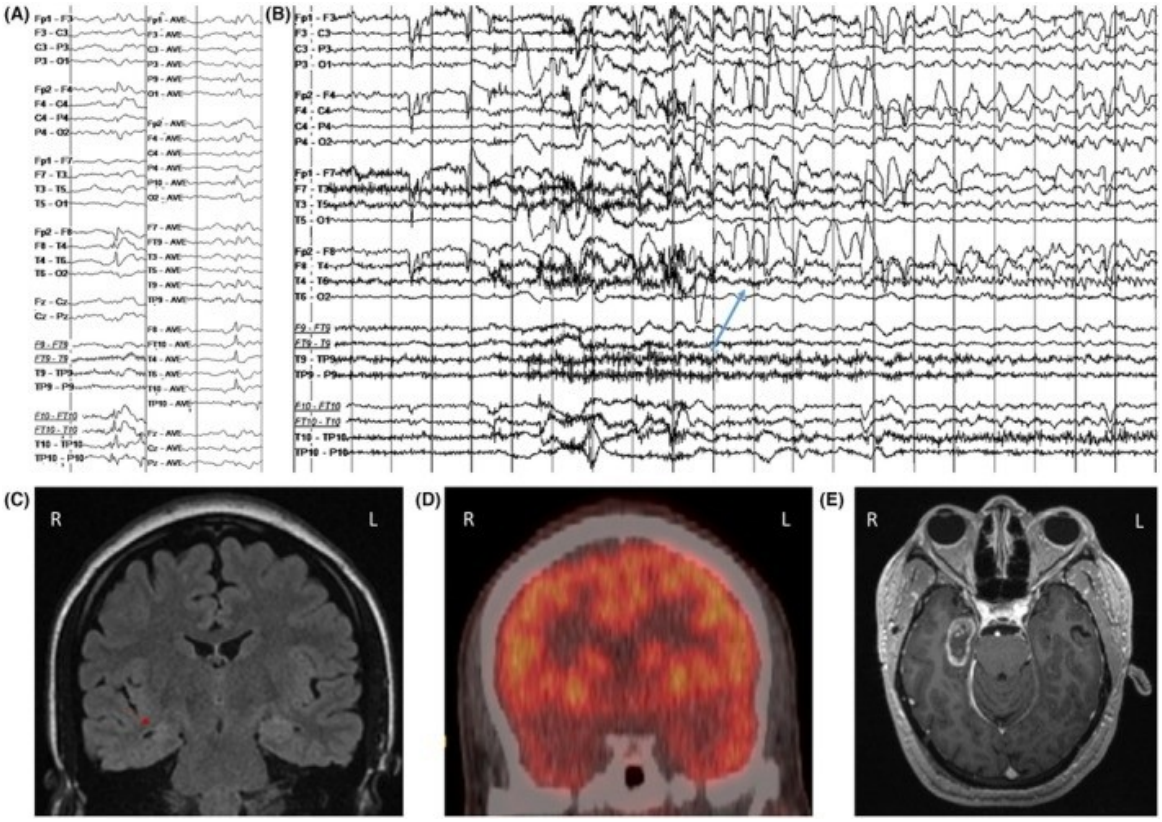
Nota bene „MRI-ნეგატიური“ ნიშნავს, რომ მოცემული კვლევით დაზიანება ვერ გამოჩნდა; ეს მის არარსებობას არ ამტკიცებს.

MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება

მარჯვენა ჰიპოკამპის სკლეროზის კლინიკური მაგალითი. ქვედა რიგში: MRI (C), PET (D) და ოპერაციის შემდგომი MRI (E).

Schuele et al., 2025, Fig. 2

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



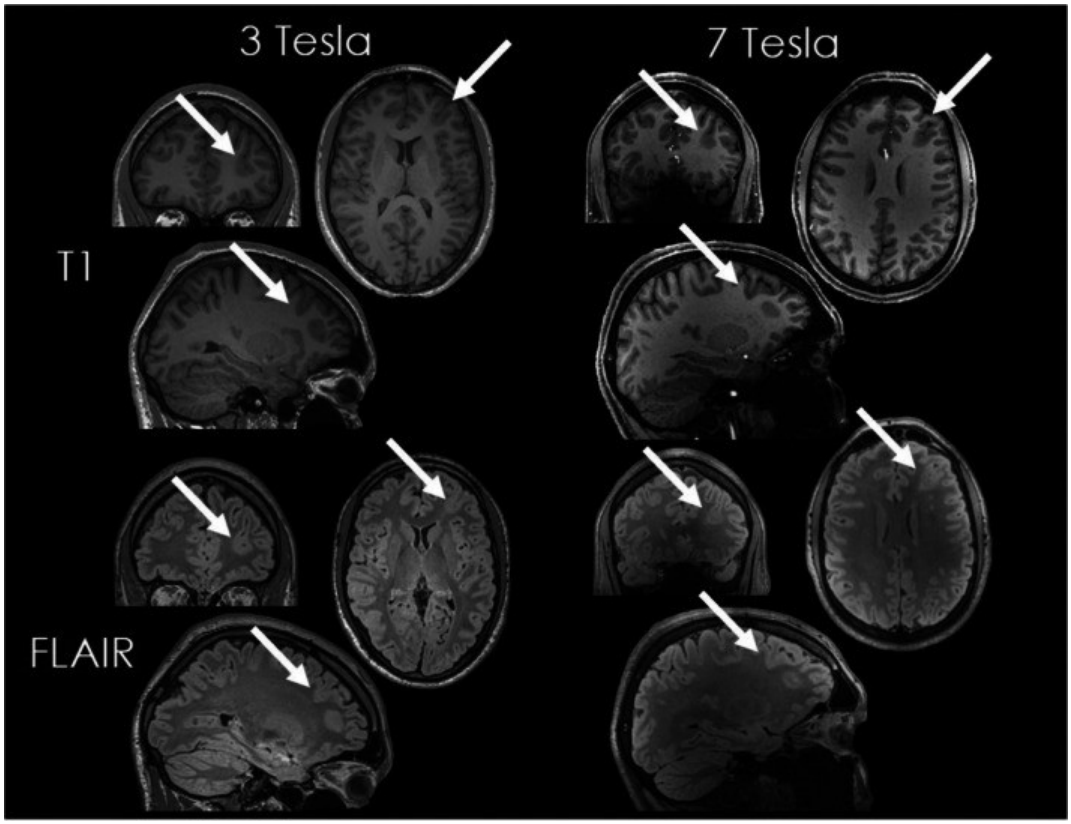
სურათი 4.5 — MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება.

MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება

ერთ პაციენტში 3T და 7T MRI-ის შედარება: მარცხენა შუბლის ფოკალური კორტიკალური დისპლაზია.

Schuele et al., 2025, Fig. 5

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.6 — MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება.

PET, SPECT, MEG: სად არის ფუნქციური დარღვევა?

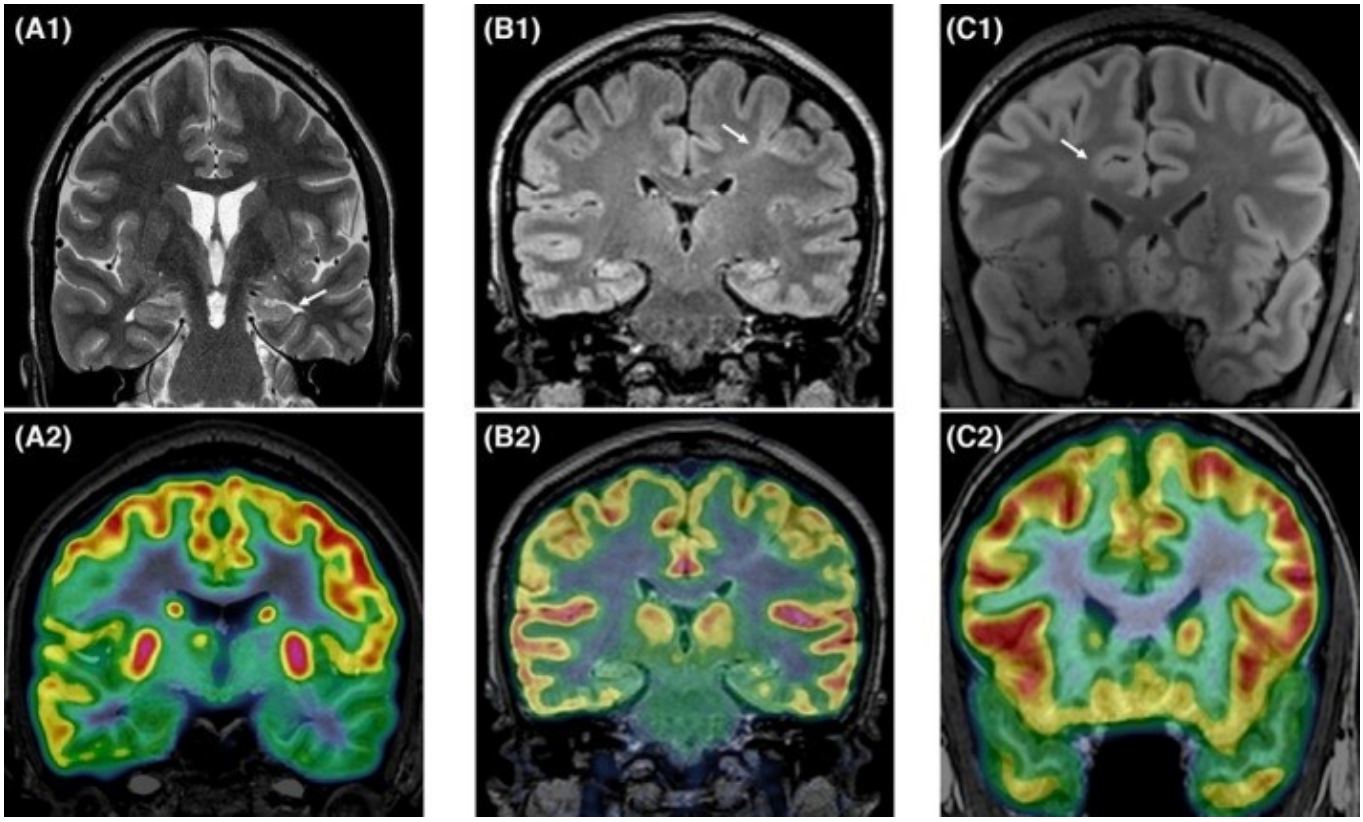
ინტერიქტალური FDG-PET შეტევებს შორის მეტაბოლიზმს აფასებს. ჰიპომეტაბოლური უბანი სავარაუდო ეპილეფსიურ ქსელს შეიძლება მიუთითებდეს, განსაკუთრებით MRI-ნეგატიური საფეთქლის წილის შემთხვევებში, თუმცა იგი მოსაშორებელი ზონის ზუსტ საზღვარს არ უდრის. იქტალური SPECT-ისას ტრასერის სწრაფი შეყვანა შეტევის დროს მომატებული სისხლმომარაგების დაფიქსირებას ემსახურება. ინტერიქტალურ კვლევასთან გამოკლება და MRI-ზე შერწყმა — SISCOM — ამ განსხვავების დანახვას ამარტივებს. გვიან შეყვანილმა ტრასერმა უკვე გავრცელების ქსელიც შეიძლება ასახოს. MEG ნეირონული აქტივობის მაგნიტურ ველს ზომავს და წყაროს ლოკალიზაციას მოდელის საშუალებით აფასებს. EEG-fMRI და მაღალი სიმკვრივის EEG დამატებითი გზებია წყაროს შესასწავლად. მონაცემების ერთ MRI სივრცეში გაერთიანება SEEG-ის ან ოპერაციის დაგეგმვას ეხმარება; მათი ღირებულება სხვა კლინიკურ და ელექტრულ ნიშნებთან თანხვედრაშია.

PET, SPECT, MEG: სად არის ფუნქციური დარღვევა?

ზედა რიგი: MRI. ქვედა რიგი: MRI-ზე შერწყმული FDG-PET. ჰიპომეტაბოლიზმი ეხმარება სავარაუდო ქსელის ლოკალიზაციას.

Schuele et al., 2025, Fig. 7

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.7 — PET, SPECT, MEG: სად არის ფუნქციური დარღვევა?.

ენა, მეხსიერება, მოძრაობა: რისი დაკარგვა შეიძლება?

ნეიროფსიქოლოგიური შეფასება ვერბალურ და ვიზუალურ მეხსიერებას, დასახელებას, ენასა და აღმასრულებელ ფუნქციებს აღწერს. იგი გვიჩვენებს როგორც საწყის მდგომარეობას, ისე გარკვეულ ლატერალიზაციულ ნიშნებს. ენის დომინანტობის შესაფასებლად გამოიყენება ფუნქციური MRI; ვადას ტესტი ინტრაკაროტიდული ამობარბიტალით დღეს ძირითადად შერჩეულ სადავო შემთხვევებს ემსახურება. დომინანტური საფეთქლის წილის ჩარევისას ვერბალური მეხსიერების დაქვეითების რისკს, სხვა ფაქტორებთან ერთად, უკავშირდება კარგი საწყისი მეხსიერება, MRI-ზე შედარებით შენარჩუნებული ჰიპოკამპი და ასაკი. DTI-ტრაქტოგრაფია კორტიკოსპინალური გზის, რკალისებრი კონისა და მეიერის მარყუჟის მიმართ რისკის შეფასებას ეხმარება; ნავიგაციური TMS და უშუალო კარტირება ფუნქციურ ინფორმაციას ამატებს.

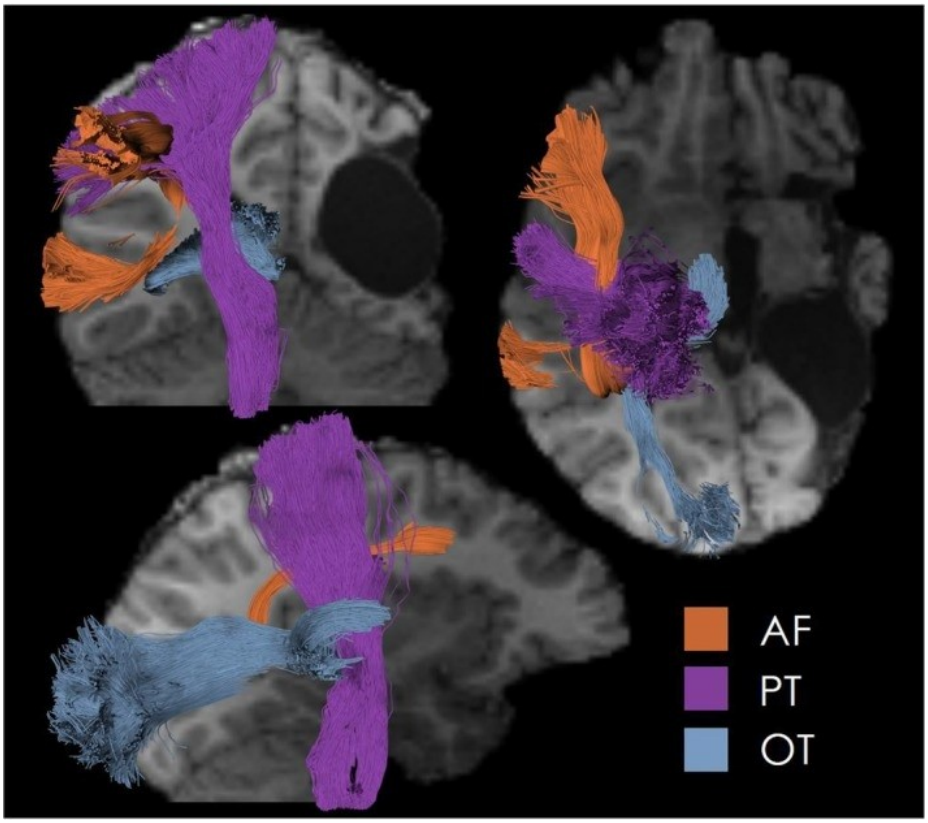
ფსიქიატრიული შეფასება დეპრესიას, ფსიქოზს, ფუნქციურ შეტევებსა და შემდგომი ადაპტაციის რისკებს მოიცავს. გადაწყვეტილება ორ მიზანს ათავსებს: შეტევების კონტროლის გაუმჯობესებას და პაციენტისთვის მნიშვნელოვანი შემეცნებითი თუ მოტორული შესაძლებლობების შენარჩუნებას.

ენა, მეხსიერება, მოძრაობა: რისი დაკარგვა შეიძლება?

ტრაქტოგრაფია: AF — რკალისებრი კონა; PT — პირამიდული გზა; OT — წყაროში აღნიშნული მხედველობის ტრაქტი.

Schuele et al., 2025, Fig. 8

Nota bene ბოჭკოების ვიზუალიზაცია რისკის შეფასებას ეხმარება; ფუნქციური კარტირება დამატებით ინფორმაციას იძლევა.



სურათი 4.8 — ენა, მეხსიერება, მოძრაობა: რისი დაკარგვა შეიძლება?.

SEEG და ფუნქციური კარტირება

თუ არაინვაზიური კვლევებით პასუხი არასაკმარისია, შესაძლებელია ელექტროდების დროებითი იმპლანტაცია. SEEG ტვინის ღრმა და ზედაპირულ უბნებს სამგანზომილებიანად სინჯავს. ელექტროდები კონკრეტული ჰიპოთეზის შესამოწმებლად თავსდება; ისინი ტვინის ყველა უბანს ვერ ფარავს. ჩანაწერში ვაკვირდებით, სად იწყება შეტევა და როგორ ვრცელდება. სტიმულაციით ვამოწმებთ მნიშვნელოვანი ფუნქციის მონაწილეობას და ზოგჯერ პაციენტის ტიპურ შეგრძნებასაც ვიწვევთ. სუბდურული ბადე ქერქის ზედაპირის უფრო მჭიდრო რუკას ქმნის, მაგრამ ღრმა სტრუქტურებს სხვაგვარად აფასებს. ამ კვლევების მიზანი უბრალოდ პათოლოგიური სიგნალის პოვნა კი არ არის, არამედ უსაფრთხო მკურნალობის საზღვრის დადგენა. სისხლძარღვების ტრაექტორიის გათვალისწინება და მრავალპროფილური განხილვა აუცილებელია.

ალეგორიული შედარება. რამდენიმე მიკროფონით ოთახში ხმის წყაროს ვადგენთ; მიკროფონის არქონა რომელიმე კუთხეში იქ სიჩუმეს ვერ დაამტკიცებს.

Nota bene SEEG ჰიპოთეზას ამოწმებს; უარყოფითი ჩანაწერი არასაკმარისად გამოკვლეულ უბანს ვერ გამორიცხავს.

სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG)

ტალერაშისა და ბანკოს მიერ განვითარებული SEEG ანატომიის, ელექტრული ჩანაწერისა და შეტევის კლინიკური სურათის დაკავშირებას ეფუძნება. ელექტროდები წინასწარ ჩამოყალიბებული ჰიპოთეზის მიხედვით თავსდება. ტიპურ აღწერებში გამოიყენება 8–15 ან მეტი სიღრმული ელექტროდი, დაახლოებით 0.8 მმ დიამეტრითა და 8–18 კონტაქტით, თუმცა კონკრეტული სისტემა და რაოდენობა განსხვავდება. ჩარჩო, რობოტი ან ნავიგაცია დაგეგმილ ტრაექტორიაზე მუშაობას უზრუნველყოფს; სისხლძარღვების გამოსახულება ტრაექტორიის უსაფრთხოებისთვის მნიშვნელოვანია. რამდენიმე დღიდან რამდენიმე კვირამდე მონიტორინგისას, კონტროლირებულ პირობებში, შეიძლება მედიკამენტების შემცირება და სტიმულაციური ტესტები ჩატარდეს. დაბალი ვოლტაჟის სწრაფი აქტივობა შეტევის დასაწყისის ერთ-ერთი შესაძლო ნიმუშია და ერთადერთი კრიტერიუმი არ არის.

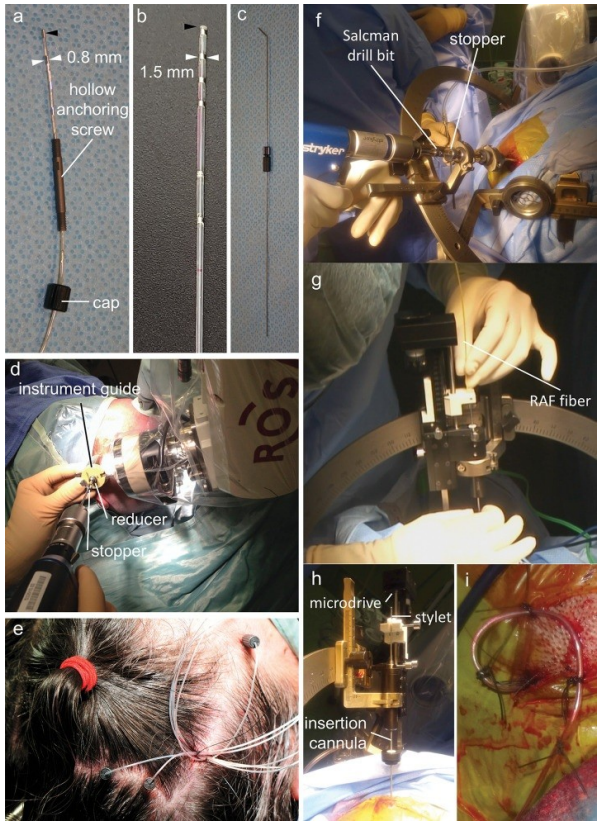
SEEG ღრმა სტრუქტურებს — ჰიპოკამპს, ინსულას, ღარის სიღრმესა და ცინგულუმს — და საჭიროებისას ორივე ნახევარსფეროს იკვლევს. კლინიკურად მნიშვნელოვანი სისხლჩაქცევის რისკი დაახლოებით 1%-ის რიგისაა, ინფექცია შედარებით იშვიათია; რისკი ტექნიკასა და შემთხვევაზეა დამოკიდებული. შერჩეულ პაციენტში იმავე ელექტროდებით RF-თერმოკოაგულაციაც შეიძლება ჩატარდეს.

სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG)

SEEG-ის იმპლანტაციის რეალური მაგალითები და გამოყენებული ინსტრუმენტები. მეთოდები სხვადასხვა ცენტრში განსხვავდება.

Technical Aspects of SEEG, 2021, Fig. 1

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



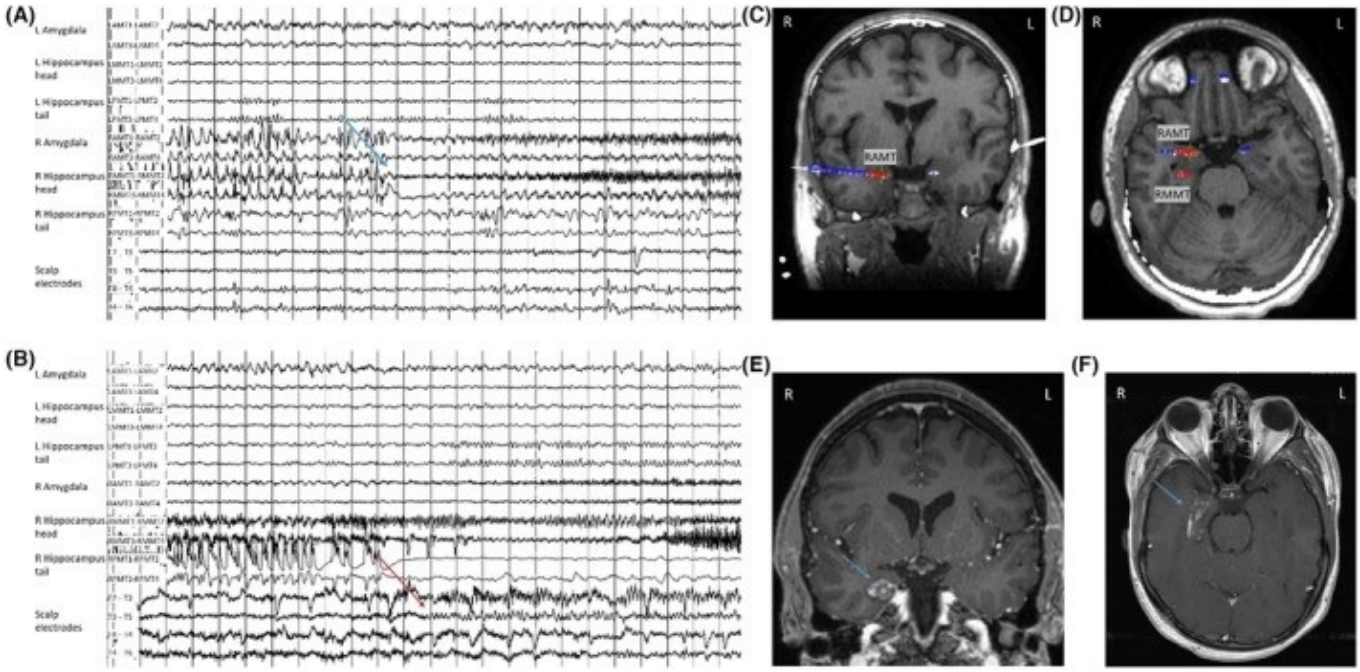
სურათი 4.9 — სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG).

სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG)

რეალური იქტალური SEEG, ელექტროდების რეკონსტრუქცია და მკურნალობის შედეგი. დასაწყისის ინტერპრეტაცია კონტაქტების მდებარეობასთან ერთად ხდება.

Schuele et al., 2025, Fig. 15

Nota bene ჩანაწერი უნდა შეფასდეს კლინიკურ ნიშნებსა და ელექტროდების მდებარეობასთან ერთად.



სურათი 4.10 — სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG).

SEEG თუ სუბდურული ბადე?

ცხრილი 4.3 — SEEG თუ სუბდურული ბადე?

საკითხი	SEEG	სუბდურული ბადე ან ზოლი
დაფარვა	სიღრმული, ღარის, ინსულის, მეზიალური და ორმხრივი ჰიპოთეზები	ქერქის ზედაპირის უწყვეტი დაფარვა, ხშირად ერთ მხარეს
მისადგომი	მცირე ტრაექტორიები; ნაკლები ზედაპირული დაფარვა	ბადისათვის კრანიოტომია; ზოლისთვის მისადგომი განსხვავდება
ფუნქცია	სამგანზომილებიანი ქსელის შეფასება	ზედაპირის დეტალური ფუნქციური კარტირება
დამატებითი შესაძლებლობა	RF-თერმოკოაგულაცია შერჩეულ კონტაქტებზე	გამოიყენება ფუნქციურ ზონასთან ახლოს, მათ შორის ბავშვებში
რისკი	ჰემორაგია და ინფექცია მაინც შესაძლებელია	ხშირად მეტი ინფექციური, შეშუპებისა და ლიქვორეის რისკი

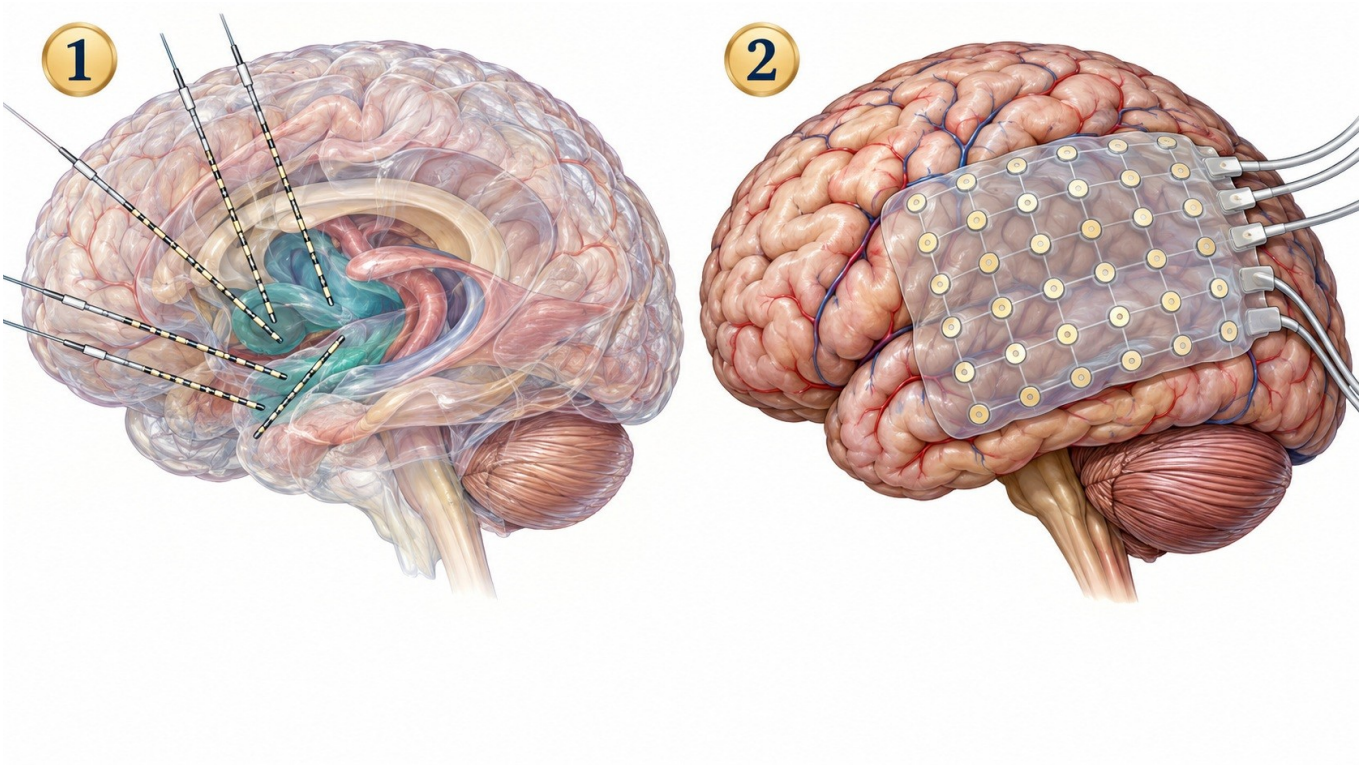
მსოფლიო ტენდენცია SEEG-ისკენაა, თუმცა ბადეს დღესაც აქვს ადგილი, როცა ზედაპირული ფუნქციური კარტირება მთავარი ამოცანაა.

SEEG თუ სუბდურული ბადე?

1. SEEG ღრმა და ზედაპირულ უბნებს შერჩევითად იკვლევს. განლაგება წინასწარ ჩამოყალიბებულ ჰიპოთეზას ეყრდნობა.

2. სუბდურული ბადე ქერქის ზედაპირს მჭიდროდ ფარავს და დეტალურ ფუნქციურ კარტირებას უწყობს ხელს.

Nota bene მეთოდის არჩევანს განსაზღვრავს კლინიკური კითხვა და სავარაუდო ქსელის მდებარეობა.



სურათი 4.11 — SEEG თუ სუბდურული ბადე?.

Presurgical epilepsy evaluation (2025), https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

ელექტრული სტიმულაცია და ფხიზელი ქირურგია

ფუნქციური კარტირებისას SEEG-ის ან სუბდურული ბადის კონტაქტებით სტიმულაცია შეიძლება მოტორულ, სენსორულ, ენობრივ ან მხედველობით პასუხს იწვევდეს. პაციენტის ტიპური აურის განმეორება ლოკალიზაციურ ჰიპოთეზას ამყარებს, მაგრამ დამოუკიდებლად საკმარისი მტკიცებულება არ არის. ენის უბნებთან ახლოს ფხიზელი კრანიოტომიისას პაციენტი ასახელებს საგნებს, კითხულობს ან საუბრობს. გუნდი აკვირდება, რომელ ზემოქმედებას ახლავს ფუნქციის ცვლილება. პენფილდის ტრადიციის ეს გაგრძელება ინდივიდუალურ რუკას ქმნის. ანესთეზიის პირობებში მოტორული გამოწვეული პოტენციალები კორტიკოსპინალური გზის მონიტორინგს ემსახურება. ინტრაოპერაციული ECoG რეზექციამდე და მის შემდეგ ეპილეპტიფორმულ აქტივობას აფასებს, განსაკუთრებით ზოგ FCD შემთხვევაში. მაღალი გამა აქტივობის კარტირება დავალებისას ფუნქციური აქტივაციის პასიურ შეფასებას იძლევა. არც ერთი მეთოდი სხვა მონაცემების გარეშე რეზექციის საზღვარს ავტომატურად არ განსაზღვრავს.

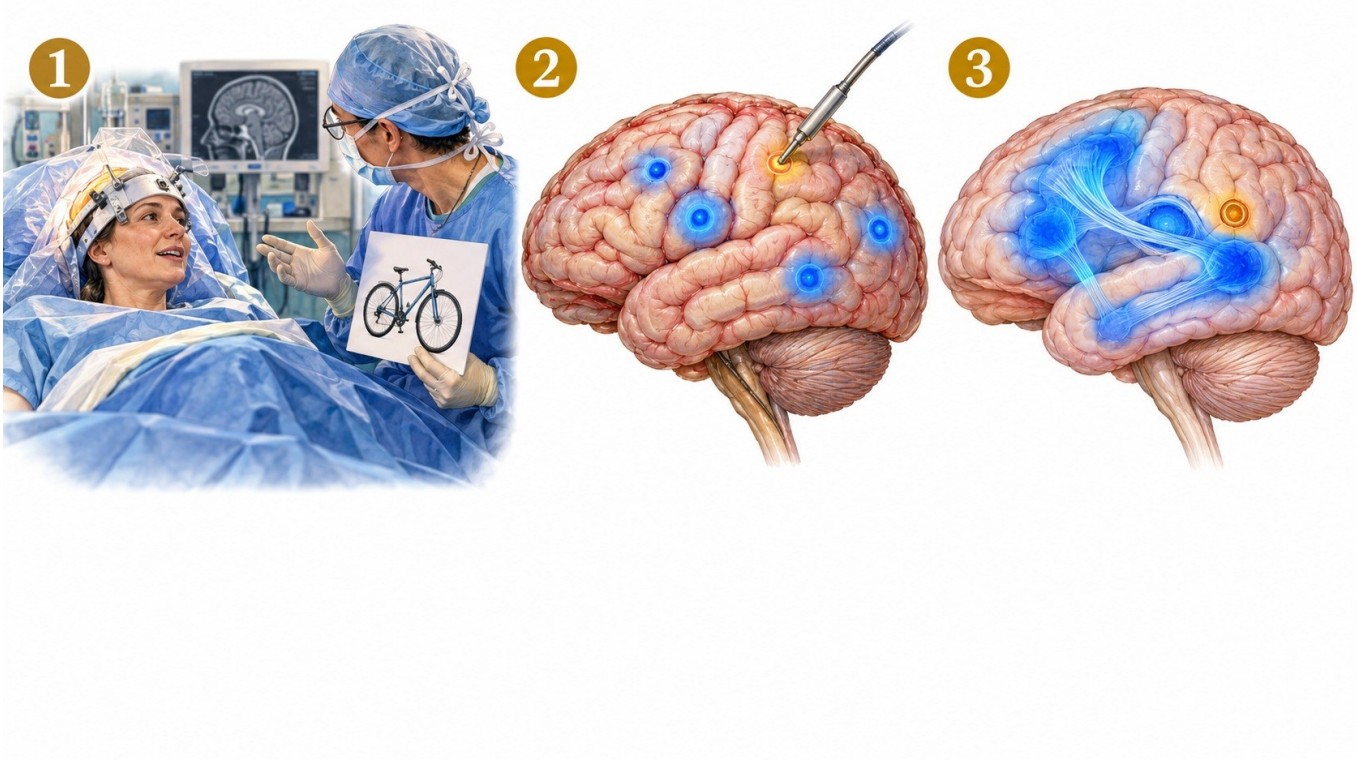
ელექტრული სტიმულაცია და ფხიზელი ქირურგია

1. ფხიზელი პაციენტი ასახელებს საგნებს ან ასრულებს სხვა ენობრივ დავალებას.

2. სტიმულაციისას გუნდი აკვირდება მოძრაობისა და მეტყველების ცვლილებას.

3. მიღებული ინდივიდუალური რუკა ეხმარება ქირურგს მნიშვნელოვანი ფუნქციის დაცვაში.

Nota bene ოპერაციის მიზანი შეტევების კონტროლთან ერთად მნიშვნელოვანი ფუნქციის შენარჩუნებაა.



სურათი 4.12 — ელექტრული სტიმულაცია და ფხიზელი ქირურგია.

რეზექცია: კერის მოცილება და ფუნქციის შენარჩუნება

რეზექციული ოპერაცია შეტევის წარმომქმნელი ქსოვილის მოცილებას ცდილობს. მეზიალური საფეთქლის ეპილეფსიისას სამიზნე შეიძლება ჰიპოკამპისა და ამიგდალის კომპლექსი იყოს. ოპერაციის მოცულობა დამოკიდებულია გავრცელებაზე, მხარეზე, მეხსიერების საწყის მდგომარეობასა და ენობრივ დომინანტობაზე. სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია და წინა საფეთქლის რეზექცია განსხვავებული მიდგომებია. მცირე მოცულობა ყველა შემთხვევაში უკეთეს შედეგს არ ნიშნავს, ხოლო ფართო რეზექცია ყოველთვის საჭირო არ არის. საჭიროა კერის კონტროლისა და ფუნქციის დაცვის წონასწორობა. დისპლაზიის, დაბალი ხარისხის ეპილეფსიასთან დაკავშირებული სიმსივნისა თუ კავერნომის დროს სარწმუნო ლოკალიზაცია განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია. დაზიანებასთან დაკავშირებული ქსოვილის მოცილების საზღვარს ფუნქციური უსაფრთხოებაც განსაზღვრავს.

ალეგორიული შედარება. დაზიანებული ელექტრული კვანძის შეკეთებისას საჭიროა ხარვეზიანი ნაწილის ამოღება ისე, რომ მეზობელი გამართული წრედები შევინარჩუნოთ.

Nota bene ქირურგიის წარმატება შეტევების შემცირებასთან ერთად მეხსიერების, მეტყველებისა და ყოველდღიური ფუნქციის შენარჩუნებასაც მოიცავს.

მეზიური ტემპორული ეპილეფსია და ჰიპოკამპური სკლეროზი

მეზიური ტემპორული ეპილეფსიის ზოგი შემთხვევის ანამნეზში ბავშვობის გახანგრძლივებული ცხელებითი შეტევა, ლატენტური პერიოდი და მოგვიანებით დაწყებული რეზისტენტული შეტევები გვხვდება. ეს თანმიმდევრობა ყველა პაციენტისთვის დამახასიათებელი არ არის. ტიპური გამოვლინებებია ეპიგასტრიული აღმავალი აურა, déjà vu ან შიში, რასაც შეიძლება მზერის გაშეშება და პირის, ღეჭვის ან ხელის ავტომატიზმები მოჰყვეს. საწინააღმდეგო ხელის დისტონიური პოზა და იმავე მხარის ხელის ავტომატიზმები სასარგებლო, მაგრამ არა აბსოლუტური ლატერალიზაციური ნიშნებია.

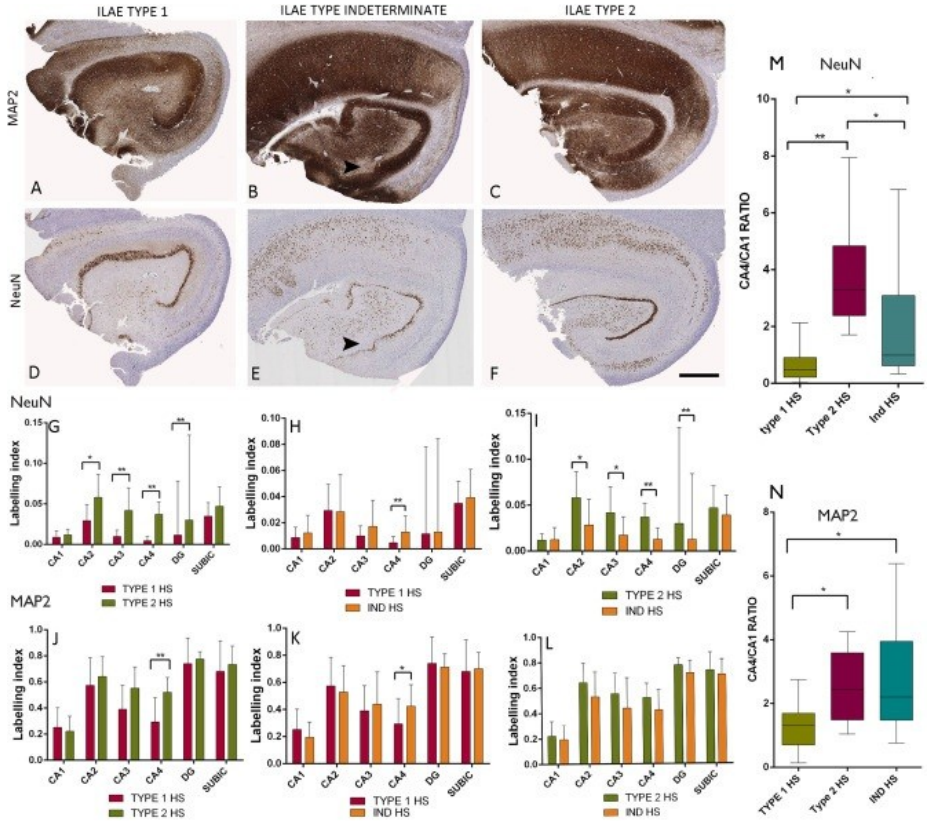
ჰიპოკამპური სკლეროზის ILAE-ის ჰისტოლოგიურ კლასიფიკაციაში (ბლიუმკე და სხვ., 2013) პირველი ტიპი უპირატესად CA1-ისა და CA4-ის ნეირონულ დანაკარგს მოიცავს, მეორე — CA1-ს, მესამე კი CA4-ს. EEG-ზე შეიძლება წინა ან შუა საფეთქლის პიკები და შეტევისას თეტა-აქტივობა გამოჩნდეს. კლინიკის, MRI-ისა და EEG-ის თანხვედრისას ქირურგიული შედეგი ხშირად ხელსაყრელია; სხვადასხვა სერიაში დაახლოებით 60–80% შეტევებისგან თავისუფლებაა აღწერილი, შესაბამისი შერჩევისა და დაკვირვების ვადის გათვალისწინებით.

მეზიური ტემპორული ეპილეფსია და ჰიპოკამპური სკლეროზი

ჰიპოკამპური სკლეროზის ტიპების შედარება. A–C: MAP2; D–F: NeuN. ნეირონების დაკარგვის განაწილება განსხვავდება.

Characterising subtypes of hippocampal sclerosis, Fig. 1

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.13 — მეზიური ტემპორული ეპილეფსია და ჰიპოკამპური სკლეროზი.

ანტერიორული ტემპორალური ლობექტომია (ATL)

წინა საფეთქლის რეზექცია (ATL) საფეთქლის პოლუსისა და შერჩეული ლატერალური ქსოვილის მოცილებას მეზიალური სტრუქტურების — ამიგდალის, ჰიპოკამპისა და საჭიროებისამებრ პარაჰიპოკამპური უბნის — რეზექციასთან აერთიანებს. დომინანტურ მხარეს ენობრივი და მეხსიერებითი რისკი მოცულობის შერჩევისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია. კლასიკური ოპერაცია ფრონტოტემპორალური წვდომით ტარდება. ლატერალური რეზექციისა და ტემპორალური რქის გახსნის შემდეგ მეზიალური სტრუქტურები ქოროიდული ღარისა და ამიგდალის ზედა საზღვრის გათვალისწინებით მუშავდება. ჰიპოკამპის en bloc მოცილება ერთ-ერთი ტექნიკური ვარიანტია. დასაცავია წინა ქოროიდული და უკანა ტვინის არტერიები, III ნერვი, ტვინის ფეხი და მხედველობის გზები.

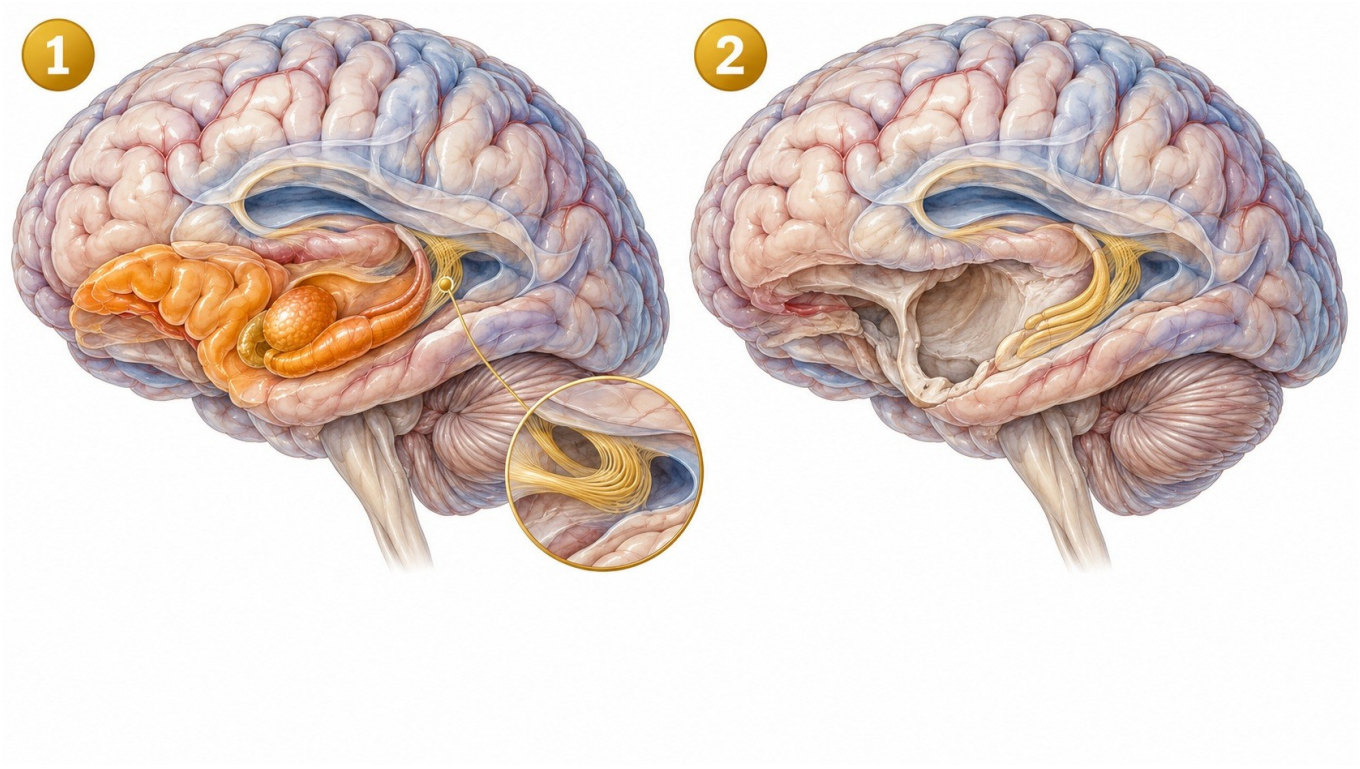
რისკებს შორისაა მეიერის მარყუჟის დაზიანებით გამოწვეული ზედა კვადრანტის მხედველობითი დეფექტი, დომინანტურ მხარეს დასახელებისა და ვერბალური მეხსიერების დაქვეითება. სისხლძარღვოვან დაზიანებას ჰემიპარეზიც შეიძლება მოჰყვეს; სალექციო შეფასება დაახლოებით 1–2%-ია, თუმცა სიხშირე სერიებს შორის განსხვავდება. შერჩეულ ჯგუფებში ხანგრძლივი შეტევათავისუფლება დაახლოებით 60–70%-ის ფარგლებშია აღწერილი; ეს მაჩვენებელი ინდივიდუალური პროგნოზი არ არის.

ანტერიორული ტემპორალური ლობექტომია (ATL)

1. ATL მოიცავს წინა საფეთქლის ქსოვილისა და შერჩეული მეზიალური სტრუქტურების რეზექციას.

2. რეზექციის მოცულობა ინდივიდუალურია. დასაცავია მეხსიერება, ენა და მხედველობის გზები.

Nota bene მოცილების საზღვრებს ეპილეფსიური ქსელი და ფუნქციური რისკი ერთად განსაზღვრავს.



სურათი 4.14 — ანტერიორული ტემპორალური ლობექტომია (ATL).

სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია (SAH)

ვიზერისა და იაშარგილის მიერ განვითარებული სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია მეზიალურ სტრუქტურებზე მოქმედებს ლატერალური ნეოკორტექსის მაქსიმალური შენარჩუნებით. სამიზნემდე შეიძლება ტრანსსილვიური, შუა საფეთქლის ხვეულის გავლით ტრანსკორტიკალური ან სუბტემპორალური გზით მისვლა. დიდ სერიებში შეტევების კონტროლი ATL-ის მსგავსი ან შედარებით ნაკლებია. დომინანტურ მხარეს ენისა და მეხსიერების უკეთ შენარჩუნების შესაძლებლობა არსებობს, მაგრამ კვლევები ერთგვაროვან უპირატესობას არ ადასტურებს. ტრანსსილვიური გზისას რისკშია შუა ტვინის არტერიის ტოტები და საფეთქლის ღეროს ბოჭკოები. არჩევანი ლატერალური ქერქის ჩართულობაზე, დომინანტობაზე, ინდივიდუალურ ანატომიასა და გუნდის გამოცდილებაზეა დამოკიდებული.

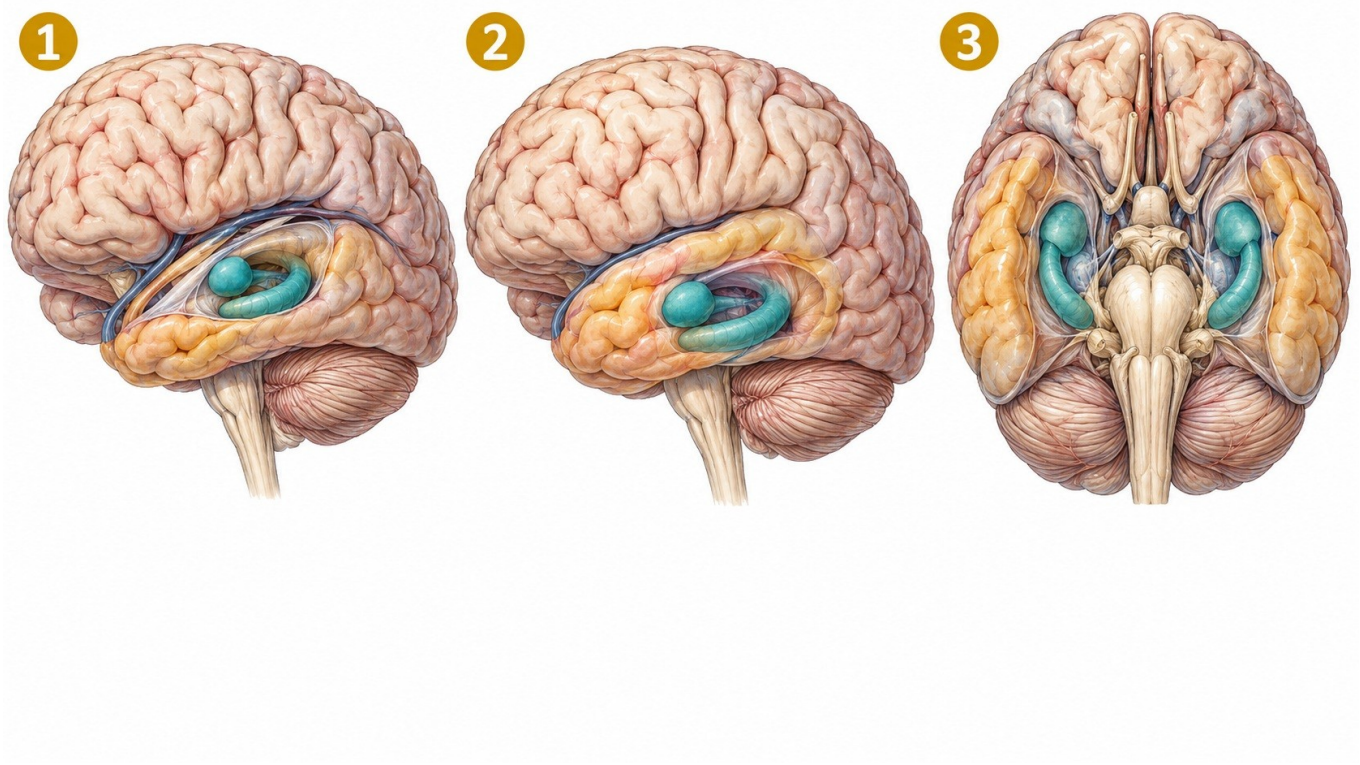
სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია (SAH)

1. **ტრანსსილვიური:** მეზიალურ სტრუქტურებთან მისვლა სილვიუსის ნაპრალის მხრიდან.

2. **ტრანსკორტიკალური:** მისვლა საფეთქლის ქერქის გავლით.

3. **სუბტემპორალური:** მისვლა საფეთქლის წილის ქვედა მხრიდან.

Nota bene ლატერალური ქერქის შენარჩუნება მეხსიერების რისკს სრულად არ გამორიცხავს.



სურათი 4.15 — სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია (SAH).

FCD, სიმსივნეები, კავერნომა

ფოკალური კორტიკალური დისპლაზია ქერქის განვითარების დარღვევაა. ILAE-ის კლასიფიკაციაში პირველი ტიპი არქიტექტურულ ცვლილებას, მეორე დისმორფულ ნეირონებს — IIb-ში ბალონური უჯრედებით — ხოლო მესამე სხვა ძირითად დაზიანებასთან ასოცირებულ ცვლილებას აღწერს. გარკვეულ ფორმებში mTOR სასიგნალო გზის ცვლილებები მონაწილეობს. კლასიფიკაცია 2011 წელს ჩამოყალიბდა და 2022 წელს დაზუსტდა. სარწმუნოდ ლოკალიზებული დისპლაზიის სრული და უსაფრთხო რეზექცია შედეგის მნიშვნელოვანი განმსაზღვრელია. ნავიგაცია და ზოგ შემთხვევაში ECoG საზღვრების შეფასებას ეხმარება. ღარის ძირში მოთავსებული დისპლაზია MRI-ზე შეიძლება შეუმჩნეველი დარჩეს. FCD II-ის შერჩეულ სერიებში დაახლოებით 60–75% შეტევათავისუფლებაა აღწერილი, თუმცა ფუნქციური უბნის დაცვა რეზექციის მოცულობას ზღუდავს.

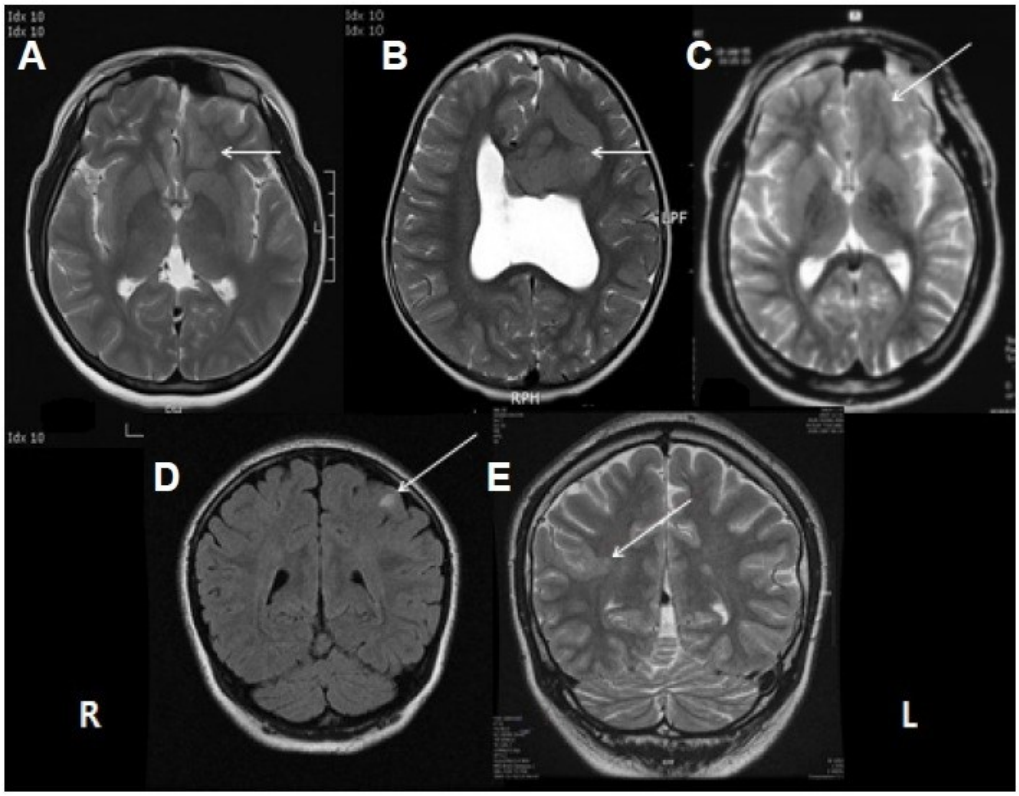
ეპილეფსიასთან ასოცირებული სიმსივნეები — LEAT — მოიცავს DNET-სა და განგლიოგლიომას; ზოგ განგლიოგლიომაში BRAF V600E ცვლილება გვხვდება. შეტევაში სიმსივნის მიმდებარე ქერქიც შეიძლება მონაწილეობდეს. კავერნომის შემთხვევაში ჰემოსიდერინის რგოლის დამატებითი მოცილება მხოლოდ ფუნქციური უსაფრთხოების გათვალისწინებით განიხილება. დროული შეფასება და შესაბამისი ქსოვილის სრულყოფილი მკურნალობა სარგებელს ზრდის, მაგრამ „რაც მეტი, მით უკეთესი“ უნივერსალური წესი არ არის.

FCD, სიმსივნეები, კავერნომა

FCD-ის MRI-ნიშნები: გასქელებული ხვეულები, რუხი და თეთრი ნივთიერების საზღვრის წაშლა და ტრანსმანტიული ცვლილება.

Focal Cortical Dysplasia and Epilepsy Surgery, Fig. 1

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.16 — FCD, სიმსივნეები, კავერნომა.

ექსტრატემპორული და ფუნქციურ ზონასთან ახლოს

შუბლის წილის შეტევები ხშირად ხანმოკლეა, ძილში ვითარდება და შეიძლება მკვეთრი ჰიპერმოტორული ქცევით გამოჩნდეს. MRI ზოგჯერ უარყოფითია, ლოკალიზაცია კი საფეთქლის კლასიკურ შემთხვევებზე რთულია. ინსულურმა და ოპერკულო-ინსულურმა ეპილეფსიამ შეიძლება შუბლის ან საფეთქლის შეტევა მიბაძოს, ამიტომ კონკრეტული ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ხშირად SEEG გამოიყენება. ინსულასთან ახლოს გასათვალისწინებელია შუა ტვინის არტერიის ტოტები და კორონა რადიატა. სენსომოტორულ ან ენობრივ უბანთან კარტირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია; უსაფრთხო სრული რეზექციის შეუძლებლობისას შესაძლოა შეზღუდული ჩარევა ან RNS განიხილებოდეს. უკანა კვადრანტისა და კეფის კერისას მხედველობის ველია მნიშვნელოვანი რისკი.

მრავლობითი დაზიანებაც ყოველთვის არ გამორიცხავს მიზნობრივ მკურნალობას. მაგალითად, ტუბეროზული სკლეროზისას შესაძლებელია შეტევებში წამყვანი ტუბერისა და

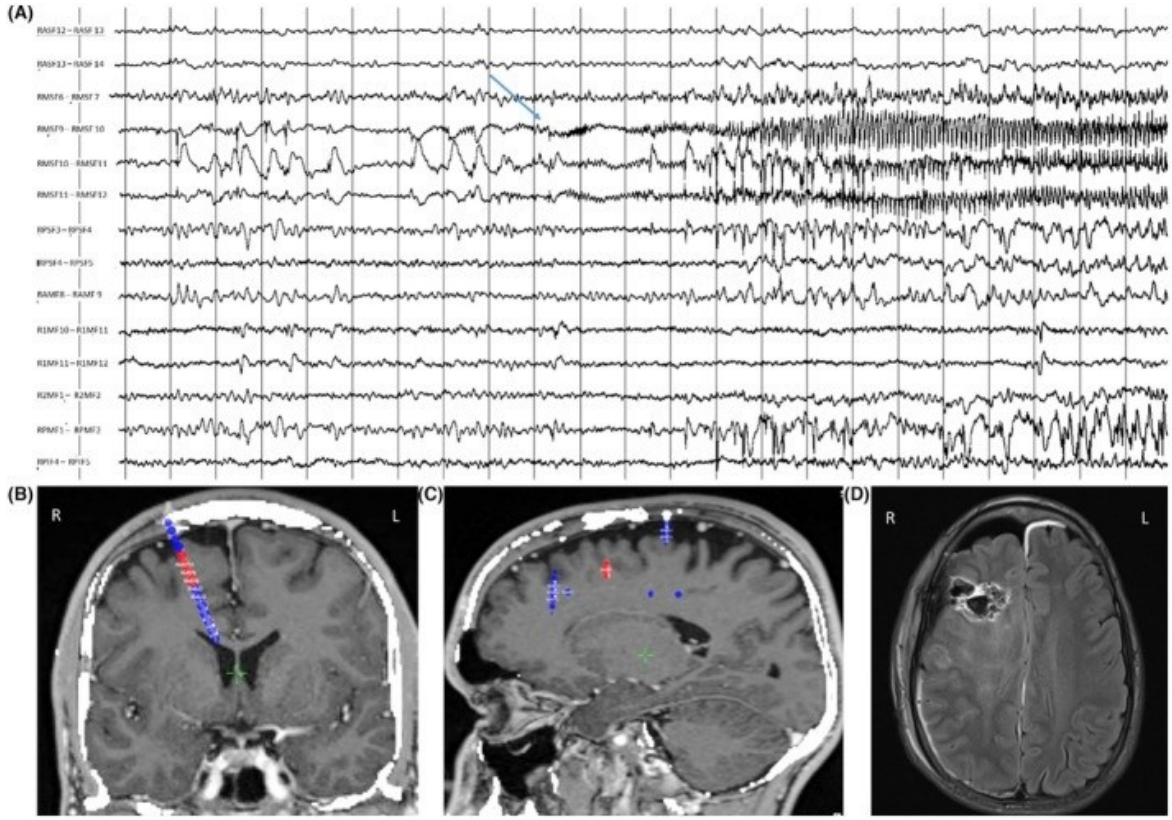
მასთან დაკავშირებული ქსელის გამოვლენა. არჩევანი თითოეულ შემთხვევაში კლინიკისა და კვლევების თანხვედრას ეფუძნება.

ექსტრატემპორული და ფუნქციურ ზონასთან ახლოს

შუბლის ეპილეფსიის მაგალითი: SEEG, ელექტროდების მდებარეობა და ქირურგიული შედეგი. ყველა ექსტრატემპორული შემთხვევა ინდივიდუალურ შეფასებას საჭიროებს.

Schuele et al., 2025, Fig. 16

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.17 — ექსტრატემპორული და ფუნქციურ ზონასთან ახლოს.

მცირე მისადგომი და ღრმა კერის მკურნალობა

ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია მცირე ტრაექტორიით აღწევს ღრმა სამიზნემდე და MRI-თერმომეტრიით აკონტროლებს გათბობას. ეს შეიძლება სასარგებლო იყოს შერჩეული მეზიალური საფეთქლის კერისა და ჰიპოთალამური ჰამარტომის დროს. მცირე ჭრილობა მცირე ფუნქციურ რისკს ავტომატურად არ ნიშნავს. SEEG-ელექტროდებით რადიოსიხშირული თერმოკოაგულაცია ლოკალურ უბნებს აზიანებს. პასუხი დამატებითი მინიშნებაა, მაგრამ ეპილეპტოგენური ზონის სრულად დამტკიცებას არ უდრის. რადიოქირურგიის ეფექტი დაგვიანებით ვითარდება და შერჩევა განსხვავებულ რისკებს ითვალისწინებს. ჰიპოთალამური ჰამარტომისას სიცილის მსგავსი გელასტიკური შეტევა

შეიძლება ქსელური დარღვევის პირველი ნიშანი იყოს. ზოგჯერ საკვანძოა ჰამარტომის კავშირების გათიშვა და არა მთელი წარმონაქმნის ამოღება.

ალეგორიული შედარება. ხარვეზიანი მოწყობილობა ზოგჯერ ქსელიდან უნდა გამოვაერთოთ; მისი მთლიანად დაშლა ყოველთვის საჭირო არ არის.

Nota bene ნაკლებად ინვაზიური მისადგომი და მკურნალობის ეფექტურობა ცალ-ცალკე ფასდება.

ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია

ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპიისას (LITT) სტერეოტაქსიულად მოთავსებული ბოჭკო სამიზნეს ათბობს. გამაგრილებელი კათეტერი და MR-თერმომეტრია სითბოს გავრცელების კონტროლს ემსახურება; თერმული დაზიანების სავარაუდო მოცულობა რეალურ დროში ფასდება. მეზიური ტემპორული ეპილეფსიისას ამიგდალოჰიპოკამპური აბლაციის შემდეგ სხვადასხვა სერიაში დაახლოებით 50–60% შეტევათავისუფლებაა აღწერილი. მეთოდი ასევე განიხილება ჰიპოთალამური ჰამარტომის, მცირე FCD-ის, ზოგი კავერნომისა და პერივენტრიკულური ჰეტეროტოპიის დროს; შერჩეულ შემთხვევაში ლაზერით კალოზოტომიაც სრულდება.

მცირე მისადგომი ხშირად სწრაფ გამოჯანმრთელებას უწყობს ხელს, თუმცა არ გამორიცხავს სისხლჩაქცევას, შეშუპებასა და მხედველობის გზის დაზიანებას. ღია ოპერაციასთან შედარება მოიცავს შეტევების კონტროლს, მეხსიერების რისკსა და პაციენტის პრიორიტეტებს. კოგნიტური უპირატესობა ყველა შემთხვევაში გარანტირებული არ არის. წარუმატებელი LITT-ის შემდეგ განმეორებითი აბლაცია ან რეზექცია ზოგჯერ კვლავ შესაძლებელია.

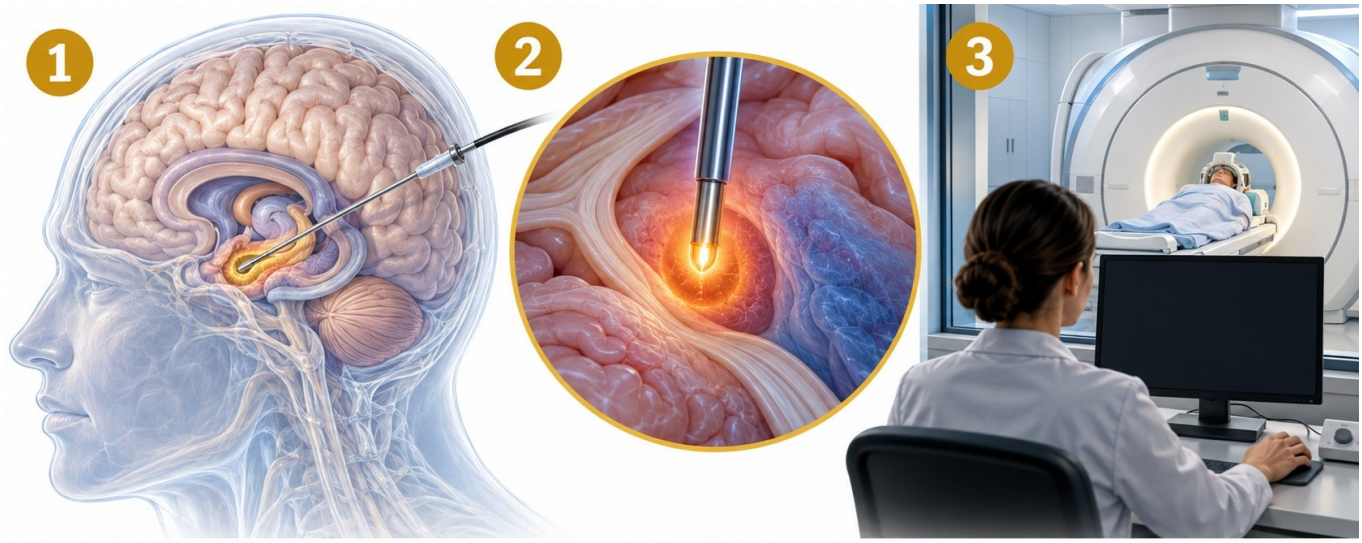
ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია

1. ლაზერული ბოჭკო მიემართება წინასწარ განსაზღვრულ სამიზნეში.

2. სითბო აზიანებს სამიზნე ქსოვილს. ახლომდებარე სტრუქტურები დაცვას საჭიროებს.

3. MR-თერმომეტრია მკურნალობისას ტემპერატურის ცვლილებას აკონტროლებს.

Nota bene LITT არის კონტროლირებადი თერმული აბლაცია და არა უბრალოდ „ლაზერით ამოჭრა“.



სურათი 4.18 — ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია.

Presurgical epilepsy evaluation (2025), https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

RF-თერმოკოაგულაცია და რადიოქირურგია

SEEG · რადიოქირურგია

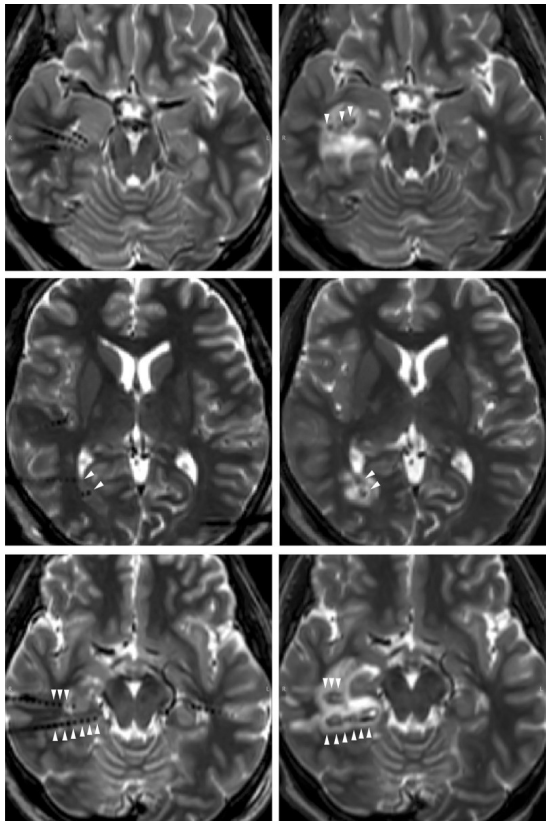
SEEG-ით მართული RF-თერმოკოაგულაცია მონიტორინგისთვის უკვე მოთავსებულ კონტაქტებს შორის მცირე თერმულ ლეზიებს ქმნის. იგი შერჩეულ ჰეტეროტოპიასა და მცირე FCD-ში შეიძლება სასარგებლო იყოს. კარგი პასუხი სამიზნის შესაბამისობას ამყარებს, მაგრამ ეპილეპტოგენური ზონის სრულად დადგენის ტოლფასი არ არის. რადიოქირურგიის ეფექტი დაგვიანებულია. ROSE-ის კვლევაში (ბარბარო და სხვ., 2018) მეზიური ტემპორული ეპილეფსიისას დაახლოებით 52% რემისია დაფიქსირდა რადიოქირურგიის შემდეგ და 78% ATL-ის შემდეგ, კვლევის განსაზღვრული დაკვირვების პერიოდში. დაგვიანებული ეფექტის პერიოდში შეტევები შეიძლება გაგრძელდეს და შეშუპებაც განვითარდეს. რადიოქირურგია ზოგ ჰიპოთალამურ ჰამარტომასა და მაღალი ღია ოპერაციული რისკის სხვა შერჩეულ შემთხვევაში განიხილება. ღრმა კავერნომა ავტომატური ჩვენება არ არის. ეპილეფსიის MRgFUS, მათ შორის ჰამარტომისა და თალამური სამიზნეების მიმართულება, კვლევით სფეროს მიეკუთვნება.

RF-თერმოკოაგულაცია და რადიოქირურგია

RF-თერმოკოაგულაციის რეალური MRI-შედეგი: ელექტროდების კონტაქტებთან წარმოქმნილი ლოკალური ცვლილებები.

Technical Aspects of SEEG, 2021, Fig. 5

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.19 — RF-თერმოკოაგულაცია და რადიოქირურგია.

ჰიპოთალამური ჰამარტომა

ჰიპოთალამური ჰამარტომა განვითარების წარმონაქმნია, რომელსაც ადრეული ასაკიდან სიცილის მსგავსი — გელასტიკური — შეტევები შეიძლება უკავშირდებოდეს. მოგვიანებით შესაძლოა სხვა შეტევები, ქცევითი და კოგნიტური დარღვევები გამოვლინდეს; ზოგი ჰამარტომა ნაადრევ სქესობრივ მომწიფებასაც იწვევს. ელექტრული ჩანაწერები აჩვენებს, რომ გარკვეულ შემთხვევებში შეტევა თავად ჰამარტომაში იწყება. მკურნალობა მისი პათოლოგიური კავშირების გათიშვას ცდილობს; სრული მოცილება ყოველთვის აუცილებელი არ არის. გამოიყენება ტრანსკალოზური ინტერფორნიკალური, ენდოსკოპიური ან ორბიტოზიგომატური მიდგომები, რადიოქირურგია და LITT. მეთოდის არჩევა წარმონაქმნის მიმაგრებასა და მოცულობას, ასაკსა და ცენტრის გამოცდილებას ეფუძნება.

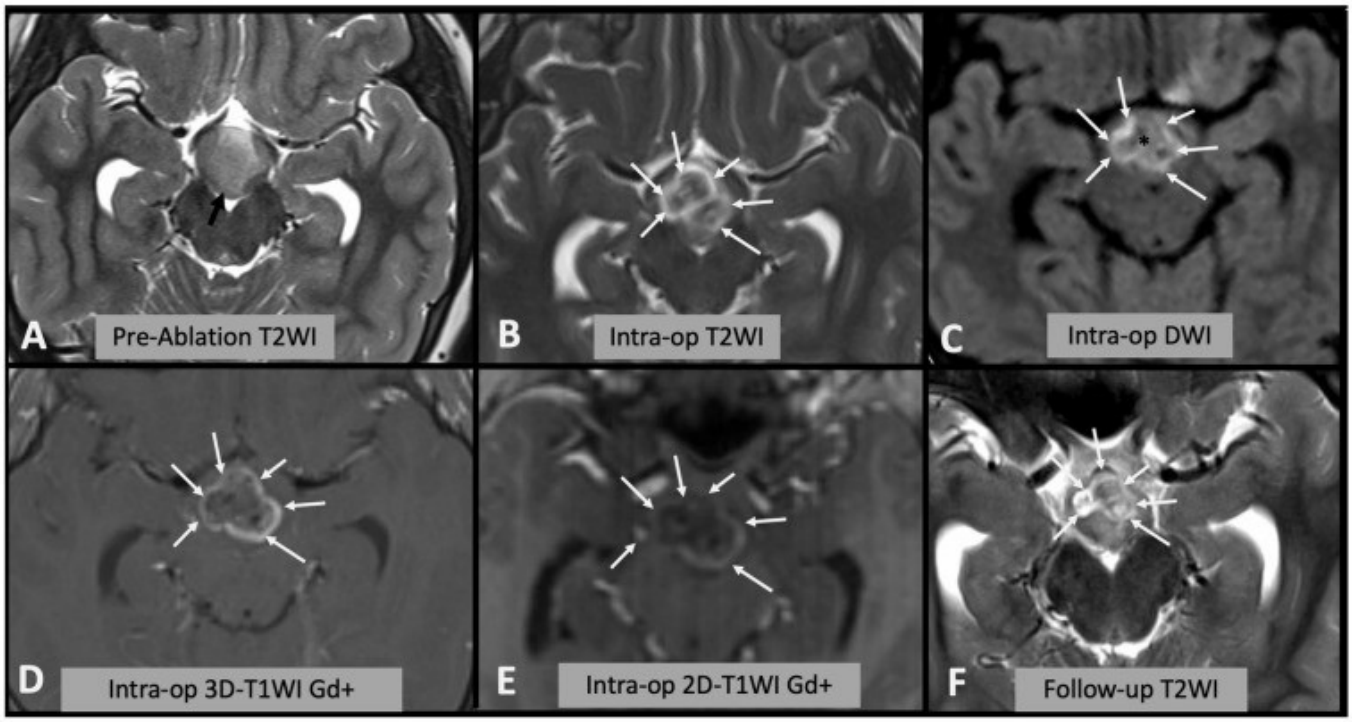
მცირე მისადგომითაც დასაცავია ჰიპოთალამუსის ენდოკრინული, კვებისა და თერმორეგულაციის ფუნქციები, აგრეთვე ფორნიქსთან დაკავშირებული მეხსიერება. ამ მაგალითში ტექნოლოგია რთულ სამიზნემდე მისვლას ამარტივებს, მაგრამ ანატომიურ რისკს არ აქრობს.

ჰიპოთალამური ჰამარტომა

ჰიპოთალამური ჰამარტომა: A — აბლაციამდე; B–E — ინტრაოპერაციული გამოსახულებები; F — შემდგომი კონტროლი.

Intraoperative MRI Assessment, 2023, Fig. 1

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.20 — ჰიპოთალამური ჰამარტომა.

დისკონექცია: გავრცელების გზის შეწყვეტა

თუ შეტევის წყაროს უსაფრთხოდ ვერ მოვაშორებთ, შეიძლება მისი გავრცელების გზა შევზღუდოთ. კორპუს კალოზუმი ნახევარსფეროებს აკავშირებს. კალოზოტომია შერჩეულ მძიმე შემთხვევებში ამცირებს დაცემის გამომწვევ შეტევებს, თუმცა ყველა ტიპის შეტევის სრულ შეწყვეტას არ გულისხმობს. ჰემისფეროტომია ძლიერ დაზიანებული ნახევარსფეროს კავშირებს თიშავს. იგი განიხილება მაშინ, როცა დაავადება ერთ ნახევარსფეროშია დომინანტური და ფუნქციური შეფასება მოსალოდნელ სარგებელს ამყარებს. მოტორული, მხედველობითი და სხვა შედეგები წინასწარ უნდა განიხილონ. უკანა კვადრანტის დისკონექცია და მრავალჯერადი სუბპიალური ტრანსექცია უფრო სპეციფიკურ სიტუაციებს ეხება. პრინციპი ერთია: ქსელის პათოლოგიური გავრცელება შევცვალოთ ფუნქციის მაქსიმალური შენარჩუნებით.

ალეგორიული შედარება. ხანძრის გავრცელების შესაჩერებლად ზოგჯერ დამაკავშირებელ დერეფანს კეტავენ, მაშინაც კი, როცა საწყის კერასთან მისვლა ვერ ხერხდება.

Nota bene დისკონექციური ოპერაცია კავშირის გათიშვას ემსახურება; მისი მიზანი ყოველთვის ყველა შეტევის გაქრობა არ არის.

კორპუს კალოზოტომია

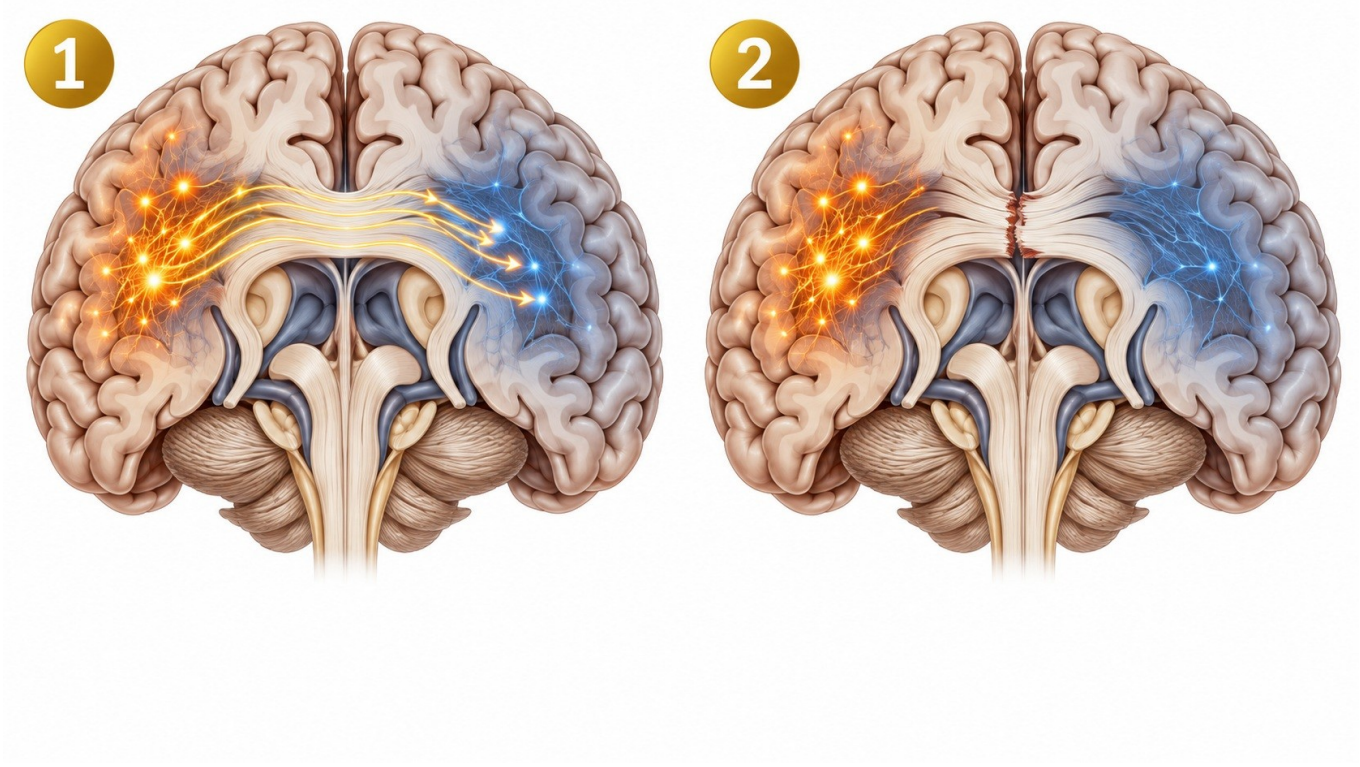
კორპუს კალოზოტომია განსაკუთრებით ტონური ან ატონური დაცემის შეტევების შემცირებას ემსახურება, მაგალითად ლენოქს–გასტოს სინდრომისას. კორპუს კალოზუმის წინა ორი მესამედი ან მთელი სიგრძე ითიშება; ოპერაცია შეიძლება ეტაპობრივად ჩატარდეს. უფრო ფართო გათიშვა ხშირად უკეთ ზღუდავს გავრცელებას, თუმცა დამატებით ფუნქციურ რისკსაც ქმნის. კლასიკური წვდომა ინტერჰემისფერულია; გამოიყენება ენდოსკოპიური ან LITT მიდგომებიც. სხვადასხვა სერიაში დაცემის შეტევების მნიშვნელოვანი შემცირება დაახლოებით 70–80%-შია აღწერილი, მაგრამ ყველა ტიპის შეტევის სრული შეწყვეტა იშვიათია. შესაძლო გართულებებია დისკონექციის სინდრომი, დროებითი მუტიზმი და უცხო ხელის ფენომენი. კალოზოტომია, VNS და შერჩეულ შემთხვევებში CM-DBS სხვადასხვა გზით ამცირებს მძიმე შეტევების ტვირთს. მათ შორის არჩევანს წამყვანი შეტევა, ქსელის ორგანიზაცია და მტკიცებულების ხარისხი განსაზღვრავს.

კორპუს კალოზოტომია

1. კორპუს კალოზუმი ნახევარსფეროებს აკავშირებს და შეიძლება შეტევის გავრცელებაში მონაწილეობდეს.

2. კავშირის გაწყვეტა განსაკუთრებით დაცემის შეტევებს ამცირებს. სრული განკურნება გარანტირებული არ არის.

Nota bene კალოზოტომია ზღუდავს გავრცელებას და ხშირად პალიატიური ოპერაციაა.



სურათი 4.21 — კორპუს კალოზოტომია.

ჰემისფეროტომია (ფუნქციური ჰემისფერექტომია)

ჰემისფეროტომია განიხილება ფართო ცალმხრივი ეპილეფსიური ქსელისას, მაგალითად რასმუსენის ენცეფალიტის, ჰემიმეგალენცეფალიის, პერინატალური ინსულტის, სტერჯ–ვებერის სინდრომისა და ფართო დისპლაზიის დროს. ისტორიულად ანატომიურ ჰემისფერექტომიას — დენდისა და შემდგომ ეპილეფსიისთვის კრაინაუს გამოცდილებას — მოჰყვა რასმუსენის ფუნქციური მიდგომა და თანამედროვე ჰემისფეროტომია. განვითარების ერთ-ერთი მიზეზი ფართო მოცილების გვიანი გართულებების, მათ შორის ჰემოსიდეროზის, შემცირება იყო. პერიინსულური მიდგომა ვილემურს, ვერტიკალური კი დელალანდს უკავშირდება. ორივეს მიზანია ნახევარსფეროს კავშირების გათიშვა შედარებით მცირე რეზექციით. შერჩეულ სერიებში დაახლოებით 70–80% შეტევათავისუფლებაა აღწერილი; განვითარების გაუმჯობესება საწყის მდგომარეობასა და დაავადების მიზეზზეც არის დამოკიდებული.

ჰემიპარეზი ხშირად ოპერაციამდეც არსებობს, მაგრამ ხელის დახვეწილი მოძრაობა შეიძლება დამატებით გაუარესდეს. სიარულის შენარჩუნება შესაძლებელია, თუმცა გარანტირებული არ არის. მოსალოდნელია ჰომონიმური ჰემიანოფსია და გასათვალისწინებელია ჰიდროცეფალიაც. ადრეული ასაკის პლასტიკურობამ ენისა და ზოგი ფუნქციის მეორე ნახევარსფეროში გადანაწილებას შეიძლება შეუწყოს ხელი, მაგრამ თითოეული ბავშვის შესაძლებლობა წინასწარ ფასდება.

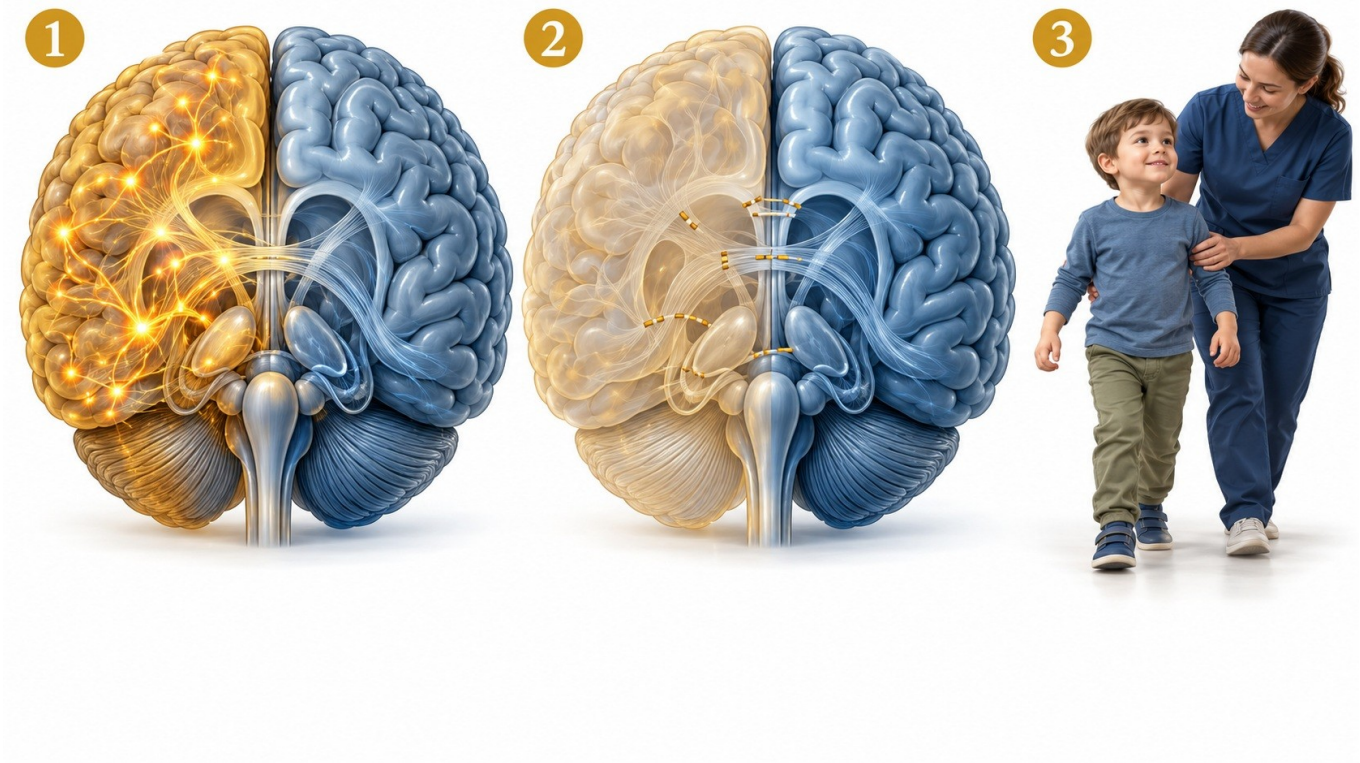
ჰემისფეროტომია (ფუნქციური ჰემისფერექტომია)

1. ფართო ცალმხრივი ქსელი იწვევს მძიმე, რეზისტენტულ შეტევებს.

2. ჰემისფეროტომია პათოლოგიურ ნახევარსფეროს თიშავს, ქსოვილის დიდი ნაწილის შენარჩუნებით.

3. მიზანია შეტევების კონტროლი და განვითარების ხელშეწყობა. აუცილებელია ფუნქციური რისკის შეფასება და რეაბილიტაცია.

Nota bene ჰემისფეროტომიის მთავარი პრინციპია გათიშვა და არა მთელი ნახევარსფეროს მოცილება.



სურათი 4.22 — ჰემისფეროტომია (ფუნქციური ჰემისფერექტომია).

მრავლობითი სუბპიალური ტრანსექცია და კვადრანტის დისკონექცია

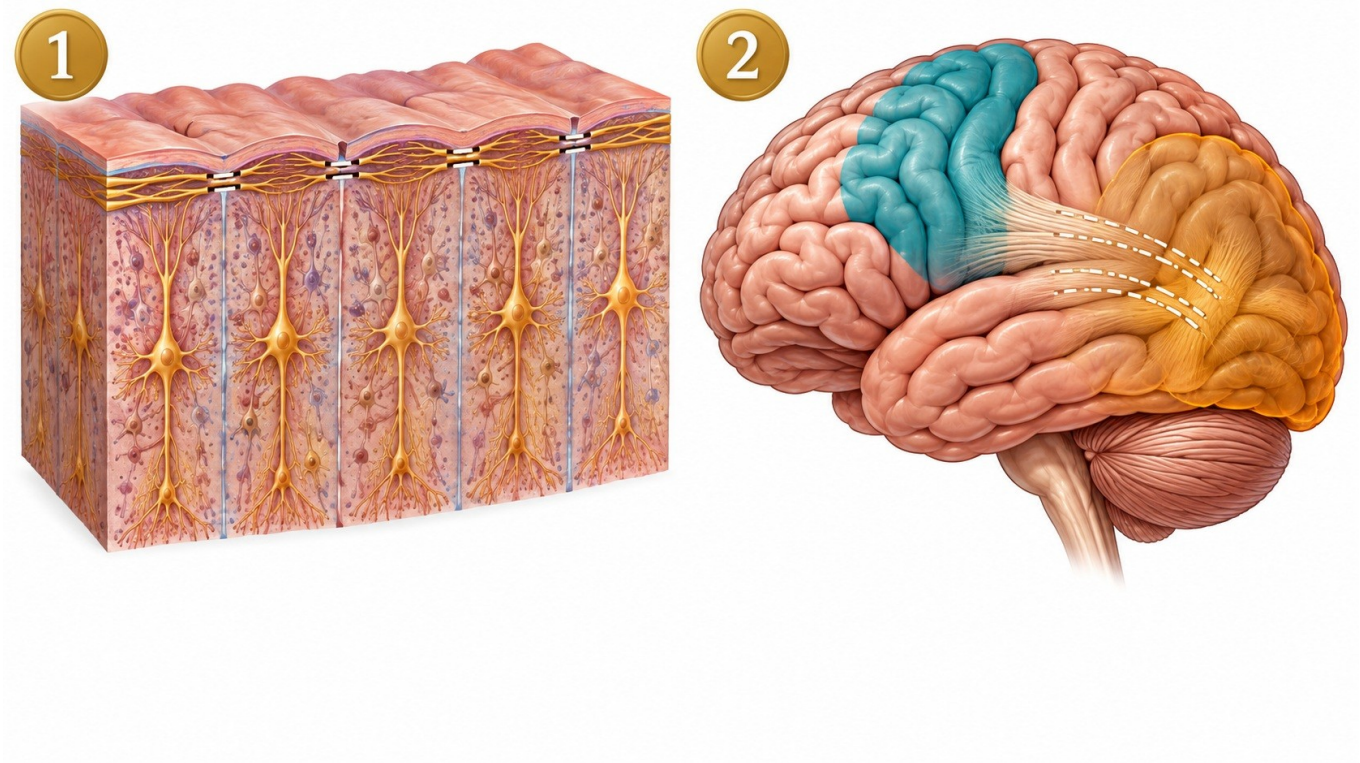
მრავლობითი სუბპიალური ტრანსექცია (MST), რომელიც მორელის 1989 წლის მუშაობას უკავშირდება, ქერქის ჰორიზონტალური კავშირების გაწყვეტას ცდილობს ვერტიკალური ფუნქციური ორგანიზაციის დაზოგვით. მეთოდი გამოიყენებოდა ფუნქციურ ქერქში მდებარე კერისა და შერჩეული ლანდაუ–კლეფნერის შემთხვევებისთვის, ხშირად რეზექციასთან ერთად; ამჟამად მისი გამოყენება შეზღუდულია. უკანა კვადრანტის, ანუ TPO დისკონექცია საფეთქელ–თხემ–კეფის ქსელს თიშავს მოტორული ფუნქციის მაქსიმალური შენარჩუნებით. ბავშვებში ტემპორალური დისკონექციაც გამოიყენება. საერთო მიზანია პათოლოგიური გავრცელების შეწყვეტა მნიშვნელოვანი ფუნქციისა და სისხლძარღვების დაცვით; კავშირის გათიშვა თავისთავად უსაფრთხოებას არ უზრუნველყოფს.

დისკონექცია: MST და უკანა კვადრანტი

1. MST ზღუდავს ქერქის ჰორიზონტალურ კავშირებს. მიზანია ფუნქციური სვეტების დაზოგვა, თუმცა რისკი რჩება.

2. უკანა კვადრანტის დისკონექცია თიშავს საფეთქელ-თხემ-კეფის ქსელს. დასაცავია მოტორიკა, შესაფასებელია მხედველობა.

Nota bene კავშირების გაწყვეტაც შეიძლება იყოს მკურნალობა, მაგრამ ფუნქციის დაცვა ავტომატურად არ მიიღწევა.



სურათი 4.23 — დისკონექცია: MST და უკანა კვადრანტი.

Presurgical epilepsy evaluation (2025), https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

ნეირომოდულაცია ეპილეფსიისას

როცა კერა მრავალრიცხოვანია, ცუდად ლოკალიზდება ან მნიშვნელოვან ფუნქციას ემთხვევა, შესაძლებელია ქსელის ელექტრული მოდულაცია. VNS კისერზე მდებარე ცდომილ ნერვს ასტიმულირებს და ტვინის გავრცელებულ კავშირებზე მოქმედებს. წინა თალამური ბირთვის DBS ეპილეფსიურ ქსელში ერთ მნიშვნელოვან კვანძს ცვლის. RNS აქტივობას იწერს და ამოცნობილ პათოლოგიურ სიგნალს სტიმულაციით პასუხობს. ამიტომ მას დახურული უკუკავშირის სისტემა ეწოდება. კანდიდატურა, ასაკობრივი პირობები და დაშვებული ჩვენებები კონკრეტულ მოწყობილობასა და ქვეყანაზეა დამოკიდებული. შეტევების შემცირება ხშირად თანდათან ვითარდება. კვლევაში მიღებული პროცენტი ჯგუფის შედეგია და ინდივიდუალურ გარანტიას არ იძლევა. მედიკამენტები, პროგრამირება და შემდგომი დაკვირვება კვლავ საჭიროა.

ალეგორიული შედარება. ჩვეულებრივი სტიმულატორი წინასწარ დაგეგმილი განრიგით მუშაობს, ხოლო საპასუხო სისტემა სიგნალის ამოცნობის შემდეგ ერთვება.

Nota bene ნეირომოდულაციის ჩვეულებრივი მიზანია შეტევების ტვირთის შემცირება; სრული თავისუფლება ყველა პაციენტში მოსალოდნელი არ არის.

ეპილეფსიის ნეირომოდულაციური მეთოდები

ცხრილი 4.4 — ეპილეფსიის ნეირომოდულაციური მეთოდები

მეთოდი	სამიზნე / პრინციპი	მტკიცებულება	ტიპური ჩვენება
VNS (FDA 1997)	მარცხენა ცდომილი ნერვი; ღია მარყუჟი + ტაქიკარდიაზე რეაქცია	რესპონდერები ~50–60% წლების განმავლობაში	ფოკალური და გენერალიზებული, ბავშვები
ANT-DBS (FDA 2018)	თალამუსის წინა ბირთვი, პაპესის წრე	SANTE: მედიანური შემცირება ~40% 1 წელში, ~69% 5 წელში	ფოკალური, მრავლობითი ან ფუნქციური ზონა
RNS (FDA 2013)	გულყრის დაწყების ზონაში ელექტროდები; აღმოჩენა → სტიმულაცია	მედიანური შემცირება ~75% 9 წელში	ორმხრივი მეზიური, ფუნქციური ზონა
CM-DBS	თალამუსის ცენტრომედიანური ბირთვი	ESTEL 2022: ელექტროგრაფიული სარგებელი; დღიურის პირველადი მაჩვენებელი სარწმუნო არ იყო	გენერალიზებული, LGS

ყველა მეთოდი პალიატიურია: გულყრებისგან სრული განთავისუფლება იშვიათია, მაგრამ ეფექტი წლების განმავლობაში იზრდება. ეს რეზექციული ქირურგიისგან განსხვავებული მოლოდინია და პაციენტს უნდა აუხსნათ.

დაზუსტება. ESTEL-ის ბრმა ფაზაში დღიურით აღრიცხული შეტევების პირველადი საბოლოო მაჩვენებელი სტატისტიკურად სარწმუნოდ არ გაუმჯობესებულა; ელექტროგრაფიულ მეორეულ მაჩვენებელში სარგებელი დაფიქსირდა. ამიტომ CM-DBS-ის ეფექტი ლენოქს–გასტოს სინდრომში დამკვიდრებულ უნივერსალურ შედეგად არ უნდა წარმოვადგინოთ. [Dalic et al., 2022; doi:10.1002/ana.26280.]

ცდომილი ნერვის სტიმულაცია

VNS

VNS-ის ელექტროდი, ჩვეულებრივ, კისერზე მარცხენა ცდომილ ნერვს ეხვევა და ლავიწქვეშა გენერატორს უკავშირდება. მარცხენა მხარის არჩევაში გულის ინერვაციის თავისებურებებიც არის გათვალისწინებული, თუმცა კარდიული რისკი სრულად არ ქრება. აფერენტული სიგნალი მარტოხელა ტრაქტის ბირთვს, ლურჯ ლაქას, ნაკერის ბირთვებსა და უფრო ფართო ქერქულ ქსელებს უკავშირდება. სტიმულაცია ჩვეულებრივ პერიოდულია; 30 წამი ჩართული და 5 წუთი გამორთული რეჟიმი ერთ-ერთი მაგალითია. შესაბამის სისტემებში მაგნიტით დამატებითი იმპულსი ან ტაქიკარდიის ამოცნობით ავტომატური გააქტიურება გამოიყენება. შესაძლო გვერდითი მოვლენებია ხმის ჩახლეჩა, ხველა, ყელის დისკომფორტი და ძილის აპნოეს გაუარესება; ტესტირებისას იშვიათად ბრადიკარდიაც ვითარდება. მეთოდი ტვინში ელექტროდის მოთავსებას არ მოითხოვს. განწყობაზე შესაძლო გავლენა და დეპრესიის ცალკეული ჩვენება ეპილეფსიისას მოსალოდნელი სარგებლისგან დამოუკიდებლად ფასდება.

VNS ბავშვებში ყველაზე ხშირად გამოყენებული ნეირომოდულაციური მეთოდია, განსაკუთრებით მაშინ, როცა ზონა ლოკალიზებული არ არის.

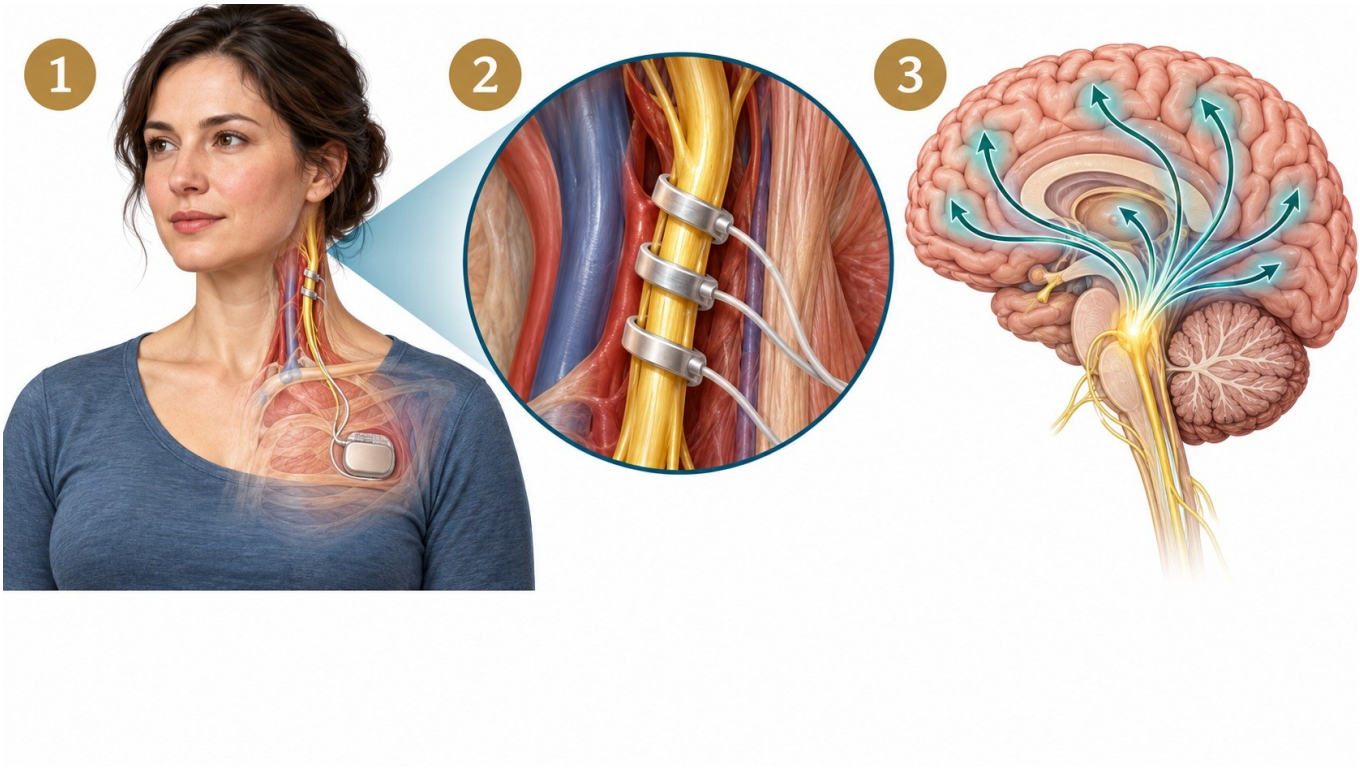
ცდომილი ნერვის სტიმულაცია

1. გენერატორი თავსდება მარცხენა ლავიწქვეშ და უკავშირდება კისრის ცდომილ ნერვს.

2. ელექტროდი ნერვს იმპულსებს აწვდის მისი გადაკვეთის გარეშე.

3. აფერენტული სიგნალი ტვინის ღეროს გავლით ფართო ქსელების აქტივობაზე მოქმედებს.

Nota bene VNS ტვინის ქსელზე პერიფერიული ნერვის მეშვეობით მოქმედებს.



სურათი 4.24 — ცდომილი ნერვის სტიმულაცია.

თალამუსის DBS და რეაქტიული ნეიროსტიმულაცია

თალამუსის წინა ბირთვი — ANT — პაპესის წრის ერთ-ერთი კვანძია: იგი ძუძუსებრი სხეულიდან ინფორმაციას იღებს და სარტყლისებრ ქსელთან არის დაკავშირებული. ANT-DBS ამ წრის აქტივობაზე მოქმედებს. ელექტროდის გზა შეიძლება ტრანსვენტრიკულური ან სხვა დაგეგმილი ტრაექტორია იყოს. SANTE-ის ხანგრძლივ დაკვირვებაში შეტევების შემცირება დროთა განმავლობაში იზრდებოდა; ამასთან, ფასდება განწყობა, მეხსიერება და სტიმულაციის სხვა გვერდითი მოვლენები. რეაქტიული ნეიროსტიმულაციისას (RNS) ქალაში მოთავსებული მოწყობილობა სიღრმული ან ქერქული ელექტროდებით ECoG-ს იწერს და წინასწარ განსაზღვრულ ელექტრულ ნიმუშს სტიმულაციით პასუხობს. კლასიკურ ფოკალურ გამოყენებაში სამიზნეა ერთი ან ორი დასაწყისი ზონა. ხანგრძლივი ჩანაწერი შეტევების ციკლებისა და ორმხრივი აქტივობის განაწილების შეფასებასაც ეხმარება და ზოგჯერ შემდგომ ქირურგიულ გეგმაზე მოქმედებს.

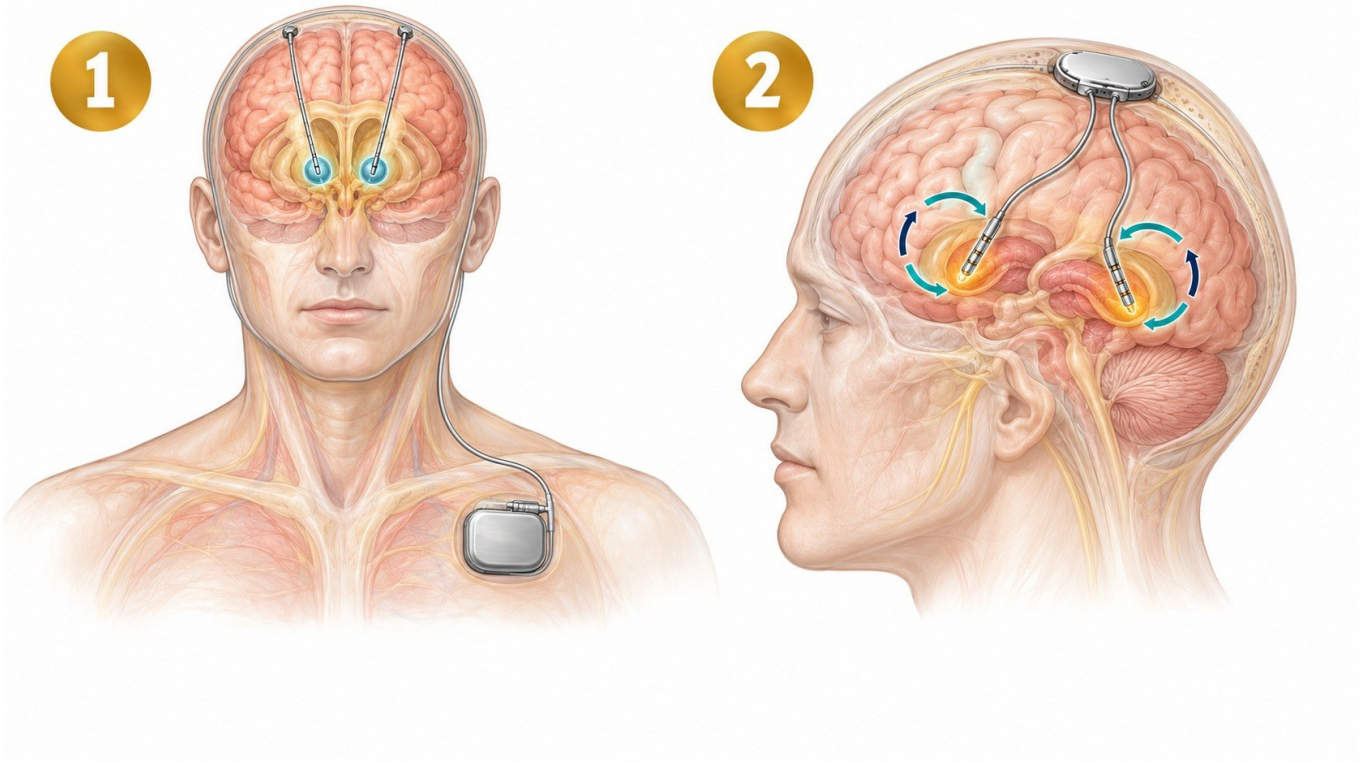
CM და პულვინარი სხვა ეპილეფსიური ქსელების შესაძლო სამიზნეებია. თალამური RNS-ისა და ამ მიმართულებების მნიშვნელოვანი ნაწილი კვლავ კვლევით ან სპეციალიზებულ გამოყენებას მიეკუთვნება. RNS დახურული უკუკავშირის კლინიკური მაგალითია: სისტემა არა მხოლოდ სტიმულაციას გასცემს, არამედ საკუთარ სამიზნეში აქტივობასაც აკვირდება.

თალამუსის DBS და რეაქტიული ნეიროსტიმულაცია

1. ANT-DBS თალამუსის წინა ბირთვს ასტიმულირებს და ეპილეფსიურ ქსელს არეგულირებს.

2. RNS აღრიცხავს შერჩეულ ელექტრულ პატერნებს და მათ საპასუხოდ აწვდის სტიმულაციას.

Nota bene DBS ქსელის კვანძს ასტიმულირებს, RNS კი აღმოჩენილ ელექტრულ აქტივობას პასუხობს.



სურათი 4.25 — თალამუსის DBS და რეაქტიული ნეიროსტიმულაცია.

შედეგი, რეაბილიტაცია და ბავშვის განვითარება

ოპერაციის შედეგს მხოლოდ შეტევების რაოდენობით არ ვაფასებთ. მნიშვნელოვანია ცნობიერების დაკარგვა, ტრავმა, მედიკამენტური ტვირთი, მეხსიერება, განწყობა, სწავლა და დამოუკიდებლობა. Engel-ისა და ILAE-ის კლასები შედეგის შედარებას ეხმარება, მაგრამ კონკრეტული კლასი და დაკვირვების დრო ზუსტად უნდა იყოს მითითებული. ბავშვში ხშირი შეტევები და პათოლოგიური აქტივობა განვითარებასაც უშლის ხელს. დროულმა შეფასებამ შეიძლება უკეთესი სასწავლო შესაძლებლობა შექმნას, თუმცა წინასწარი დაზიანება და დაავადების მიზეზი შედეგს მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს. ოპერაციის შემდეგ მედიკამენტის შემცირება ინდივიდუალური გადაწყვეტილებაა. ხანგრძლივი დაკვირვება

გვაჩვენებს, რამდენად მდგრადია სარგებელი და ხომ არ სჭირდება პაციენტს დამატებითი დახმარება.

ალეგორიული შედარება. შედეგი მხოლოდ გაჩერებული განგაშების დათვლა არ არის; უნდა ვნახოთ, რამდენად დაბრუნდა ადამიანი ჩვეულებრივ ცხოვრებაში.

Nota bene შეტევების კონტროლი, ფუნქცია და ცხოვრების ხარისხი ერთობლივად განსაზღვრავს მკურნალობის ღირებულებას.

ენგელის და ILAE-ს შედეგების სკალები

ცხრილი 4.5 — ენგელის და ILAE-ს შედეგების სკალები

ენგელი	აღწერა	ILAE	აღწერა
I	გულყრებისგან თავისუფალი (დასაშვებია აურა ან გულყრა წამლის მოხსნისას)	1	სრულად თავისუფალი, აურების გარეშე
II	იშვიათი, დამაბრკოლებელი გულყრები	2	მხოლოდ აურები
III	მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება	3	1–3 გულყრის დღე წელიწადში
IV	მნიშვნელოვანი გაუმჯობესების გარეშე	4	4 დღე/წელი – 50%-ით შემცირება
		5	<50% შემცირებიდან 100%-მდე მატებამდე
		6	>100% მატება

ILAE-ის შედეგების კლასები, შესაბამის კატეგორიებში, შეტევიანი დღეების სიხშირეს საწყის მდგომარეობას ადარებს. ILAE-ის მე-5 კლასი მოიცავს 50%-ზე ნაკლები შემცირებიდან 100%-მდე მატების დიაპაზონს.

https://www.seizure-journal.com/article/S1059-1311(11)00209-3/fulltext

დაზუსტება. Engel-ისა და ILAE-ის სვეტები გვერდიგვერდ არის მოცემული, მაგრამ სტრიქონები პირდაპირ ეკვივალენტობას არ აღნიშნავს. Engel I ნიშნავს დამაბრკოლებელი შეტევებისგან თავისუფლებას და ქვეკლასებს მოიცავს; ILAE 1 სრული თავისუფლებაა, აურების გარეშეც.

ქირურგიის გრძელვადიანი სარგებელი

შეტევების კონტროლმა შეიძლება გააუმჯობესოს დამოუკიდებლობა, დასაქმება და ცხოვრების ხარისხი; ავტომობილის მართვის შესაძლებლობა შესაბამის წესებსა და ინდივიდუალურ მდგომარეობაზეც არის დამოკიდებული. მედიკამენტების შემცირება ან მოხსნა მხოლოდ შემდგომი რისკის შეფასებით იგეგმება. წლების შემდეგ რეციდივისას

ზოგჯერ საჭიროა განმეორებითი გამოკვლევა და დამატებითი ჩარევის განხილვა. SUDEP-ის საშუალო სიხშირე მოზრდილებში დაახლოებით 1 შემთხვევაა 1000 პაციენტ-წელზე, მაგრამ არაკონტროლირებადი, განსაკუთრებით ტონურ-კლონური შეტევებისას რისკი უფრო მაღალია. შეტევების კონტროლი ამ რისკის შემცირების მნიშვნელოვანი გზაა. დეპრესია და შფოთვა ოპერაციის შემდეგ შეიძლება გაუმჯობესდეს ან გაუარესდეს, ამიტომ ხანგრძლივი მეთვალყურეობა მხოლოდ EEG-სა და შეტევების დათვლას არ მოიცავს.

ბავშვთა ეპილეფსიის ქირურგია

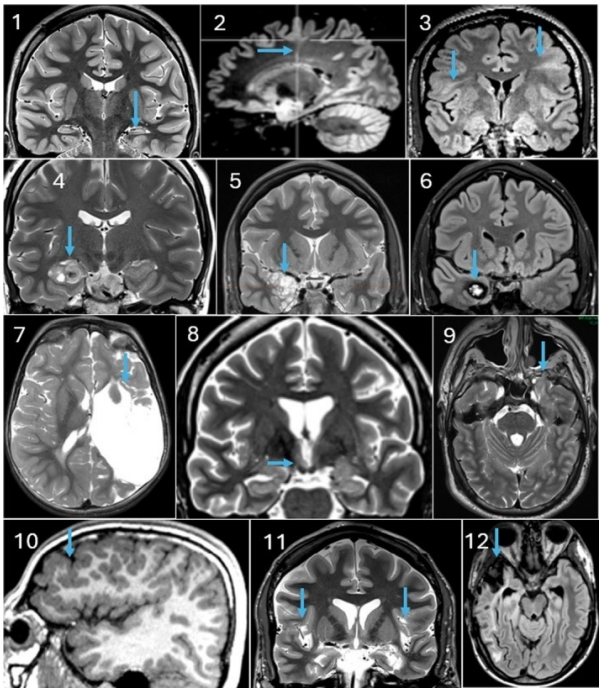
ბავშვებში ხშირი შეტევები და ინტენსიური ეპილეპტიფორმული აქტივობა განვითარებას შეიძლება აფერხებდეს. დროული ქირურგიული შეფასების მიზანი შეტევების კონტროლთან ერთად სწავლისა და სოციალური განვითარების შესაძლებლობის შენარჩუნებაა. შედეგს ძირითადი დაავადებაც განსაზღვრავს. მნიშვნელოვანი მიზეზებია FCD, ტუბეროზული სკლეროზი, ჰემიმეგალენცეფალია, პერინატალური ინსულტი, სტერჯ–ვებერის სინდრომი, ჰიპოთალამური ჰამარტომა და სიმსივნე. ფოკალური დაზიანებით მიმდინარე ინფანტილური სპაზმებისას რეზექციამ ან ჰემისფეროტომიამ ზოგ შემთხვევაში სპაზმები შეიძლება შეაჩეროს. განვითარებადი ტვინის პლასტიკურობა გარკვეული ფუნქციების გადანაწილებას შესაძლებელს ხდის, თუმცა უკვე არსებული დაზიანების სრულ კომპენსაციას არ უზრუნველყოფს. გეგმა ითვალისწინებს ანესთეზიას, ბავშვის მცირე სისხლის მოცულობას, რეაბილიტაციას, ფსიქოლოგიურ და საგანმანათლებლო მხარდაჭერას.

ბავშვთა ეპილეფსიის ქირურგია

MRI-ატლასის მაგალითები: 3 — ტუბეროზული სკლეროზი; 7 — პოსტიშემიური დეფექტი; 10 — პოლიმიკროგირია. ეს სხვადასხვა პაციენტის გამოსახულებებია.

Schuele et al., 2025, Fig. 17

Nota bene გამოსახულება კლინიკურ და ელექტროფიზიოლოგიურ მონაცემებთან ერთად ფასდება.



სურათი 4.26 — ბავშვთა ეპილეფსიის ქირურგია.

ეპილეფსიის ქირურგიის ოთხი პრინციპი

ეპილეფსიის ქირურგიული გეგმა იწყება კლინიკური ჰიპოთეზით, რომელსაც სემიოლოგია, EEG, MRI და საჭირო დამატებითი კვლევები ამყარებს. SEEG გამოიყენება განსაზღვრული კითხვის შესამოწმებლად. შემდგომი არჩევანია რეზექცია, აბლაცია, დისკონექცია ან ნეირომოდულაცია — კერისა და შესანარჩუნებელი ფუნქციის ურთიერთობის მიხედვით. ენის, მეხსიერების, მოძრაობისა და მხედველობის რისკი შეტევების კონტროლის სარგებელთან ერთად ფასდება. ორი ადეკვატური მედიკამენტური სქემის წარუმატებლობის შემდეგ სპეციალიზებული შეფასება დროულია; ზოგი ბავშვის სტრუქტურული დაზიანება და განვითარების გაუარესება შეფასების კიდევ უფრო ადრეულ დაწყებას მოითხოვს.

კლინიკური მაგალითები

28 წ., მარცხენა HS

ეპიგასტრიული აურა, კონკორდანტული EEG, კარგი ვერბალური მეხსიერება. → ATL/SAH ან LITT, მეხსიერების რისკის განხილვით.

7 წ., MRT-ნეგატიური

ფოკალური მოტორული გულყრები, PET-ზე შუბლის ჰიპომეტაბოლიზმი. → SEEG; დასაბუთებული და უსაფრთხოდ მოსაცილებელი ზონის შემთხვევაში — რეზექცია.

4 წ., პერინატალური ინსულტი

ჰემიპარეზი, ყოველდღიური გულყრები, განვითარების რეგრესი. → ჰემისფეროტომია.

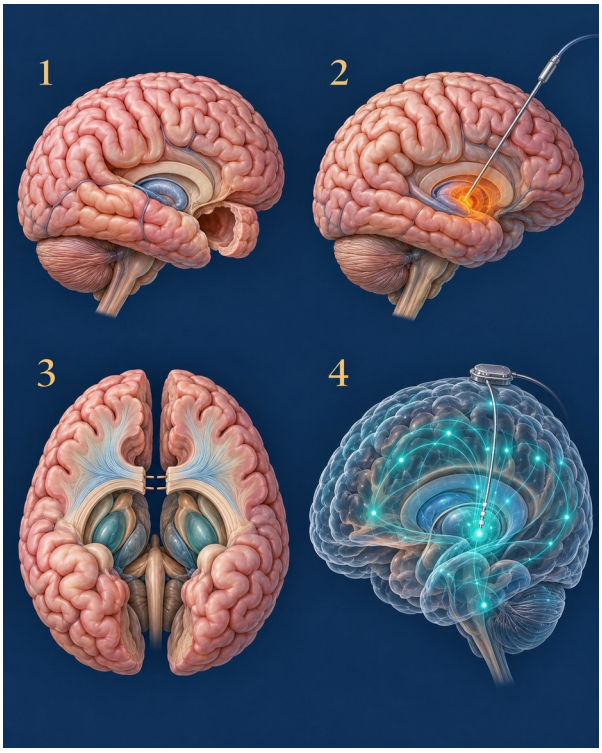
34 წ., ორმხრივი მეზიური

დამოუკიდებელი ორმხრივი დაწყება SEEG-ზე. → RNS ან ANT-DBS.

ძირითადი დასკვნები

Nota bene საჭიროა დიაგნოზისა და მკურნალობის გადამოწმება და დროული სპეციალიზებული შეფასება.

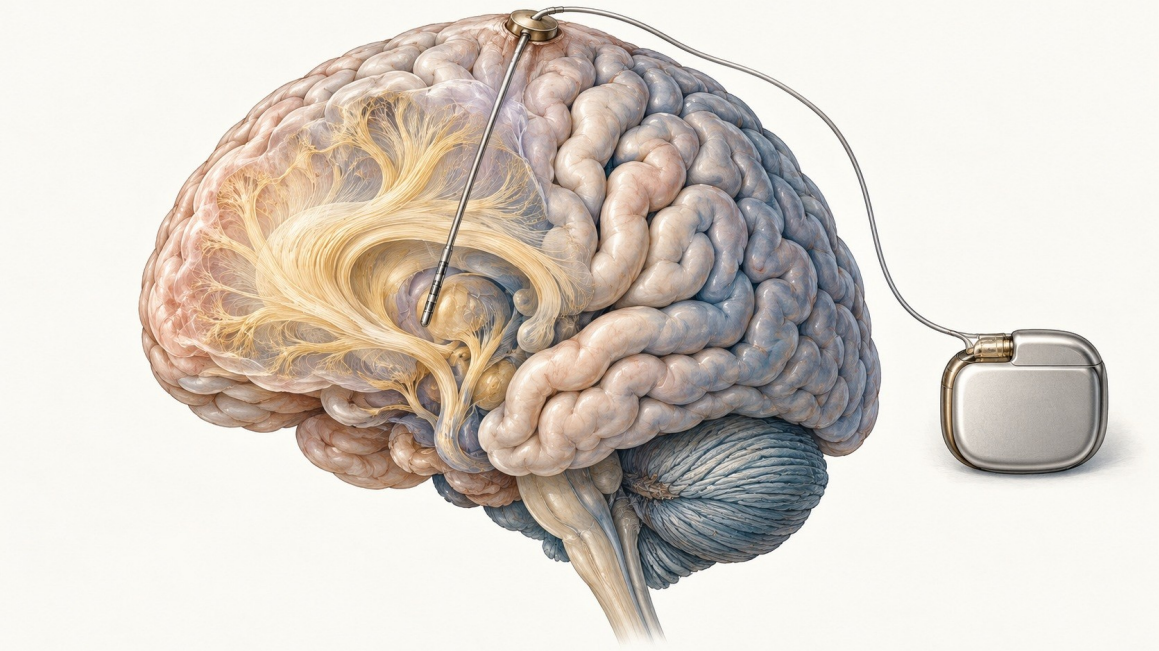
Nota bene იგი ხილულ სტრუქტურულ დაზიანებას ვერ ავლენს; ეპილეფსიას ან ქირურგიული შეფასების შესაძლებლობას არ გამორიცხავს.



სურათი 4.27 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია.

თავი 5

ფსიქიატრიული და აღდგენითი ნეიროქირურგია



სურათი 5.1 — ფსიქიატრიული და აღდგენითი ნეიროქირურგია.

ფსიქიატრიული ქირურგიის ეთიკური საფუძველი

ფსიქიატრიული ნეიროქირურგია განიხილება იშვიათ, მძიმე და სათანადო მკურნალობისადმი რეზისტენტულ შემთხვევებში. ისტორიული ლობოტომია გვახსენებს, რომ სიმპტომის შემცირება პიროვნების, დამოუკიდებლობისა და უფლებების ფასად მისაღები მიზანი ვერ იქნება. თანამედროვე შერჩევა გულისხმობს სარწმუნო დიაგნოზს, წინა მკურნალობის გადამოწმებას, თავისუფალ ინფორმირებულ თანხმობასა და დამოუკიდებელ შეფასებას. აუცილებელია იმის გარკვევაც, შეძლებს თუ არა პაციენტი ხანგრძლივ დაკვირვებასა და მოწყობილობის მომსახურებას. DBS-ის სტიმულაცია რეგულირებადია და მისი გამორთვა შესაძლებელია, მაგრამ იმპლანტაცია მთლიანად შექცევადი პროცედურა არ არის. ოპერაციული რისკი და ქსოვილის დაზიანების შესაძლებლობა რჩება. მკურნალობის ღირებულება პაციენტის რეალურ ცხოვრებაში უნდა გამოჩნდეს.

ალეგორიული შედარება. ზუსტი გასაღები მხოლოდ კარს აღებს; სად და რატომ შევიდეთ, ამას პასუხისმგებლიანი გადაწყვეტილება განსაზღვრავს.

Nota bene ტექნიკური სიზუსტე თავისუფალ თანხმობასა და ეთიკურ შეფასებას ვერ ჩაანაცვლებს.

Nota bene პაციენტის უფლებები და თავისუფალი თანხმობა მკურნალობის საფუძველია.

ისტორიის გაკვეთილი: სიზუსტე და პაციენტის უფლებები

1930–1950-იან წლებში ლობოტომია შუბლის წილების ფართო კავშირებს აზიანებდა. ზოგჯერ სიმპტომები მცირდებოდა, მაგრამ შესაძლებელი იყო მძიმე აპათია, პიროვნებისა და შემეცნების ცვლილებები. იმდროინდელი მკურნალობის შესაძლებლობები შეზღუდული იყო. ეფექტის შეფასება და თავისუფალი ინფორმირებული თანხმობა ხშირად ვერ აკმაყოფილებდა თანამედროვე მოთხოვნებს. დღეს სტერეოტაქსია მცირე სამიზნის ზუსტად შერჩევას გვაძლევს. DBS-ის პარამეტრები რეგულირდება, თუმცა იმპლანტაცია ოპერაციულ რისკსა და ქსოვილის დაზიანების შესაძლებლობას მაინც შეიცავს. თანამედროვე ჩარევის საფუძველია პაციენტის სარგებელი, ნებაყოფლობითი თანხმობა, დამოუკიდებელი შეფასება და ხანგრძლივი მეთვალყურეობა.

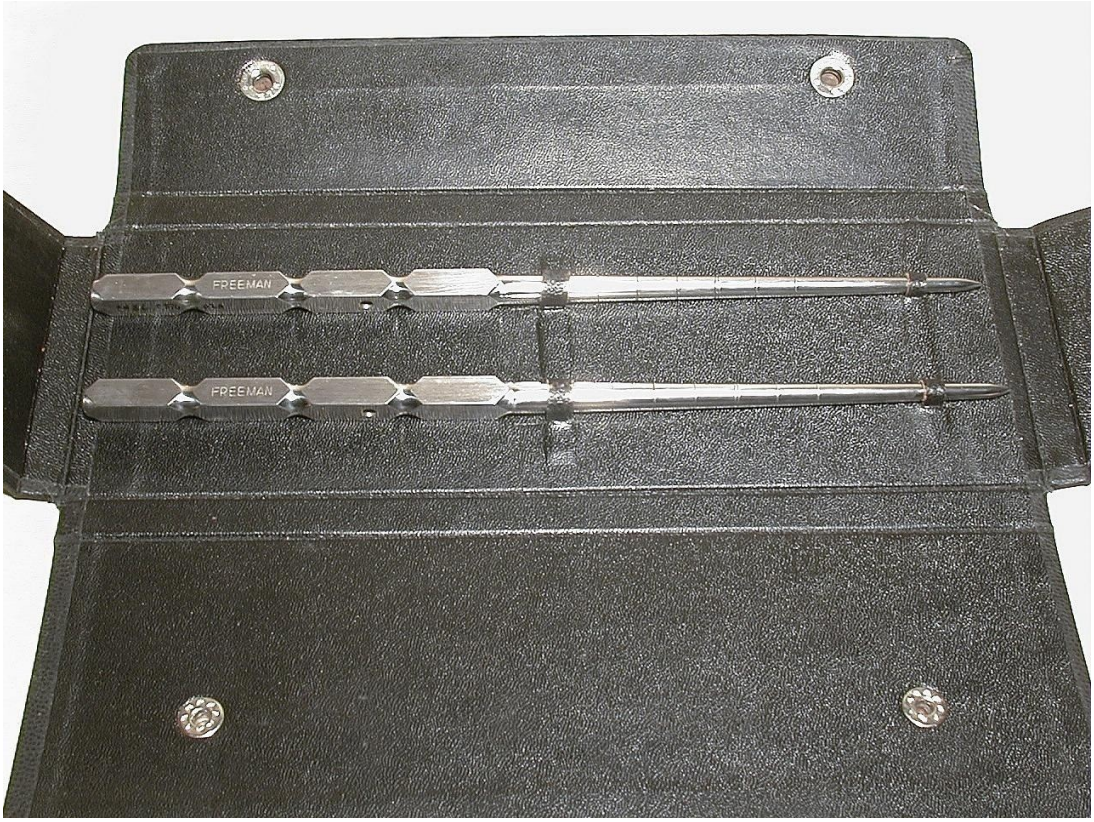
Nota bene ზუსტი ტექნოლოგია ეთიკურ პასუხისმგებლობას ვერ ანაცვლებს.

ისტორიული ინსტრუმენტი: ლობოტომიის გაკვეთილი

ფოტოზეა Freeman-ის ლობოტომიის ინსტრუმენტები, Smithsonian-ის კოლექციიდან. ფართო კავშირების დაზიანება შეიძლებოდა მძიმე ქცევითი და კოგნიტური ცვლილებების მიზეზი გამხდარიყო. დღეს მთავარი განსხვავება ზუსტ სამიზნესთან ერთად შერჩევა, თანხმობა და შემდგომი ზრუნვაა.

Smithsonian, National Museum of American History, NMAH2002-09254.
https://www.si.edu/object/lobotomy-knives%3Anmah_738842

Nota bene ისტორიის ცოდნა პაციენტის უფლებების დაცვის აუცილებლობას გვახსენებს.



სურათი 5.2 — ისტორიული ინსტრუმენტი: ლობოტომიის გაკვეთილი.

ვისთვის შეიძლება განვიხილოთ ფსიქიატრიული ოპერაცია?

დიაგნოზი უნდა იყოს სარწმუნო, დაავადება მძიმე და ყოველდღიური ფუნქცია მნიშვნელოვნად შეზღუდული. მხოლოდ მაღალი ქულა ოპერაციის ჩვენებას არ ქმნის. გუნდმა უნდა გადაამოწმოს ადეკვატური მედიკამენტური და ფსიქოთერაპიული მკურნალობა. OCD-ისას მნიშვნელოვანია ERP. ECT დეპრესიის ბიოლოგიური მკურნალობაა და არა ფსიქოთერაპია. პაციენტმა უნდა გაიგოს შესაძლო სარგებელი, გაურკვევლობა, რისკი და ალტერნატივები. თანხმობა თავისუფალია და გადაწყვეტილების გადახედვა შესაძლებელია. საჭიროა ფსიქიატრი, ნეიროქირურგი, ნეიროფსიქოლოგი და დამოუკიდებელი ეთიკური შეფასება. წინასწარ იგეგმება შემდგომი მკურნალობა, პროგრამირება და კრიზისის მართვა.

Nota bene რეზისტენტობა უნდა დადასტურდეს, თანხმობა კი თავისუფალი უნდა იყოს.

გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად

1. დიაგნოზი და რეზისტენტობა

ვადგენთ, რა ზღუდავს ცხოვრებას და რომელი მკურნალობა ჩატარდა სრულფასოვნად.

2. თავისუფალი თანხმობა

პაციენტი აფასებს სარგებელს, რისკსა და ალტერნატივებს.

3. გუნდი და მეთვალყურეობა

იგეგმება ჩარევა, შემდგომი დახმარება და შედეგის შეფასება.

Nota bene შერჩევა ერთი ექიმის ან მხოლოდ ერთი სკალის გადაწყვეტილება არ არის.



სურათი 5.3 — გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად.

ქცევა, ემოცია და ურთიერთდაკავშირებული ქსელები

ნორმალური ფსიქიკური ფუნქცია გარემოს შეფასებას, მოქნილ მოქმედებას, ემოციის რეგულაციასა და გამოცდილებიდან სწავლას აერთიანებს. ერთი ემოცია ერთ ბირთვს არ ეკუთვნის. ქერქი, სტრიატუმი, თალამუსი და ლიმბური სტრუქტურები სხვადასხვა ამოცანისთვის ურთიერთქმედებს. ჯილდოს ქსელი მოქმედების ღირებულებას სწავლობს; საფრთხის ქსელები მნიშვნელობასა და კონტექსტს აფასებს. ფსიქიკური აშლილობისას ამ ურთიერთქმედების დრო, ინტენსივობა და მოქნილობა შეიძლება შეიცვალოს. „ერთი ცენტრის გაფუჭება“ სასწავლოდაც ზედმეტად მარტივი ახსნაა. ამიტომ სამიზნე ხშირად თეთრი ნივთიერების კავშირია. ერთი ელექტროდის ეფექტი შეიძლება რამდენიმე დაშორებულ უბანზე გავრცელდეს. კონექტომიკა ამ კავშირების აღწერას ეხმარება, თუმცა ინდივიდუალური შედეგის ზუსტ წინასწარმეტყველებას ჯერ ვერ უზრუნველყოფს.

ალეგორიული შედარება. ქალაქის მოძრაობას ერთი ქუჩა ვერ ხსნის: მნიშვნელობა აქვს გზების კავშირებს, ნაკადსა და გადართვის წესებს.

Nota bene ფსიქიატრიული სამიზნე ქსელის ნაწილია; მისი არჩევა სიმპტომისა და კავშირების ლოგიკას უნდა ეყრდნობოდეს.

Nota bene ქცევასა და ემოციას ქერქული და ქერქქვეშა ქსელების ურთიერთქმედება აყალიბებს.

OCD: რატომ ბრუნდება შემაწუხებელი ეჭვი?

ნორმაში საფრთხის შემოწმება კონკრეტულ მიზანს ემსახურება. კარის ჩაკეტვის დადასტურების შემდეგ ყურადღება სხვა მოქმედებაზე გადადის. OCD-ისას ეჭვი ან არასრულყოფილების განცდა შეიძლება განმეორებით დაბრუნდეს. ადამიანი ასრულებს რიტუალს, მაგალითად კარს მრავალჯერ ამოწმებს. რიტუალი შფოთვას დროებით ამცირებს. ეს შვება განმეორებით შემოწმებას ამყარებს და ყოველდღიურ ცხოვრებას სულ უფრო მეტ დროს ართმევს. ქერქულ–სტრიატულ–თალამურ ქსელებში იცვლება მოქმედების შერჩევა და მოქნილობა. „ჩარჩენილი მარყუჟი“ სასწავლო ანალოგიაა და არა ყველა პაციენტის სრული მექანიზმი.

Nota bene რიტუალის დროებითი შვება განმეორებად ქცევას ამყარებს.

OCD: სამიზნე და შუბლის ქერქთან კავშირები

1. ქერქი

dACC და vlPFC მონაწილეობს კონტროლსა და მოქმედების შერჩევაში.

2. თეთრი ნივთიერება

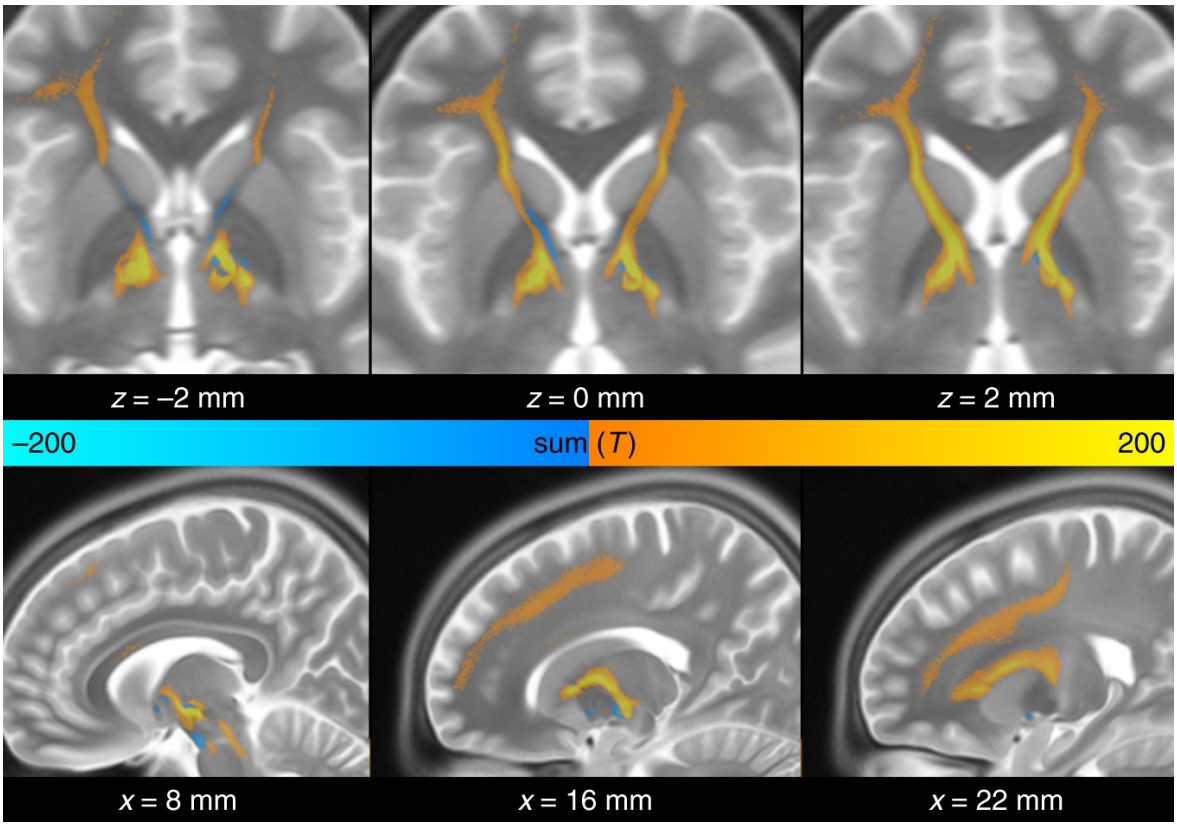
ALIC-ში გადის ქერქქვეშა კავშირების ნაწილი.

3. ქსელის კვანძები

კვლევაში გამოყოფილ გზას კავშირი აქვს STN-სა და MD თალამუსთან.

Li et al. Nature Communications 2020, Fig. 6. doi:10.1038/s41467-020-16734-3

Nota bene სურათი აჩვენებს კვლევით კავშირებს და არა OCD-ის ერთ უნივერსალურ „მიზეზს“.



სურათი 5.4 — OCD: სამიზნე და შუბლის ქერქთან კავშირები.

მოტივაცია, განწყობა და საფრთხის შეფასება

ჯილდოს ქსელში VTA-ის დოფამინერგული ნეირონები უკავშირდება აკუმბენსის ბირთვსა და პრეფრონტალურ ქერქს. ეს სისტემა მოტივაციასა და შედეგზე სწავლაში მონაწილეობს. განწყობას რამდენიმე ურთიერთდაკავშირებული ქსელი არეგულირებს. სუბკალოზური სარტყლისებრი უბანი, პრეფრონტალური ქერქი და ლიმბური კავშირები დეპრესიის კვლევაში მნიშვნელოვანია. ნუშისებრი სხეული, ჰიპოკამპი და ვენტრომედიალური პრეფრონტალური ქერქი საფრთხის მნიშვნელობასა და კონტექსტს ამუშავებს. PTSD-ს ერთ „შიშის ცენტრამდე“ ვერ დავიყვანთ. ლატერალური ჰაბენულა არასასურველ შედეგზე რეაგირებაში მონაწილეობს. მისი და დამაკავშირებელი თეთრი ნივთიერების როლი კვლევითია, ერთიანი უნივერსალური სამიზნე არ არსებობს.

Nota bene ფსიქიკური ფუნქციები ურთიერთდაკავშირებული ქსელების მუშაობას ეფუძნება.

ქსელის ფუნქცია ყოველდღიურ ცხოვრებაში

1. ჯილდო და მოტივაცია

VTA, NAc და პრეფრონტალური ქერქი მოქმედების ღირებულების სწავლაში მონაწილეობს.

2. განწყობის რეგულაცია

SCC და მისი კავშირები ემოციისა და სხეულებრივი მდგომარეობის დამუშავებაში მონაწილეობს.

3. საფრთხე და კონტექსტი

ამიგდალა, ჰიპოკამპი და vmPFC მნიშვნელობასა და გარემოებას აერთიანებს.

Nota bene ერთი ემოცია ერთ ბირთვს არ ეკუთვნის.



სურათი 5.5 — ქსელის ფუნქცია ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

NICE CG31 https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations ; NICE IPG693 https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693 ; FDA H050003 https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

ფსიქიატრიული ნეიროქირურგიის სამიზნეები

Nota bene ნებართვა კონკრეტულ სისტემასა და ჩვენებას ეხება. ქვეყნების რეკომენდაციები განსხვავდება.

ცხრილი 5.1 — ფსიქიატრიული ნეიროქირურგიის სამიზნეები

სამიზნე	ანატომია	ჩვენება	სტატუსი
ALIC / VC-VS	კაფსულის წინა ფეხი / ვენტრალური სტრიატუმი	OCD, დეპრესია	OCD: აშშ HDE (2009) დეპრესია: კვლევითი
NAc	აკუმბენსის ბირთვი	OCD, დეპრესია, დამოკიდებულება	კვლევები
ლიმბური STN	STN-ის ლიმბური ნაწილი	OCD	RCT (მალე, 2008)

სამიზნე	ანატომია	ჩვენება	სტატუსი
BNST	ტერმინალური ზოლის ბირთვი	OCD	მცირე სერიები
Cg25 / SCC	სუბკალოზური თეთრი ნივთიერება	დეპრესია, ანორექსია	კვლევები
slMFB	მედიალური წინა ტვინის კონა	დეპრესია	კვლევები
ამიგდალა (BLA)	ბაზოლატერალური ბირთვი	PTSD	ექსპერიმენტული
ჰიპოთალამუსი (უკანა-მედიალური)	ჰიპოთალამუსი	აგრესია	კვლევითი, მკაცრი შერჩევა

OCD: ეჭვისა და რიტუალის წრის შეცვლა

ობსესია შემაწუხებელი განმეორებადი აზრი, იმპულსი ან წარმოდგენაა; კომპულსია — ქცევითი ან გონებრივი რიტუალი, რომელიც დისკომფორტის შემცირებას ემსახურება. კარის შემოწმების შემდეგ მიღებული დროებითი შვება შეიძლება განმეორებით შემოწმებას ამყარებდეს. საწყისი მკურნალობა მოიცავს ექსპოზიციასა და რეაქციის პრევენციას და შესაბამის მედიკამენტებს. მძიმე რეზისტენტულ შემთხვევებში კაფსულოტომია, ცინგულოტომია ან DBS განიხილება. მეთოდები სხვადასხვა კავშირს ცვლის და ერთმანეთის სრული ეკვივალენტი არ არის. მკურნალობის შემდეგ მხოლოდ სკალის ქულა არ გვაინტერესებს: შეძლო თუ არა ადამიანმა სახლიდან გამოსვლა, სწავლა, მუშაობა და ურთიერთობა? ოპერაცია ფსიქიატრიულ მეთვალყურეობასა და ქცევით თერაპიას არ ანაცვლებს. მტკიცებულებისა და რეგულაციური ნებართვის ფარგლები ქვეყნებს შორის განსხვავდება.

ალეგორიული შედარება. თუ შემოწმების ღილაკი ყოველ ჯერზე მხოლოდ წამიერ სიმშვიდეს გვაძლევს, მისი დაჭერა ჩვევად მყარდება. მკურნალობა ამ წრის მოქნილობის დაბრუნებას ცდილობს.

Nota bene რიტუალის შემცირება უნდა გადაიქცეს ყოველდღიური თავისუფლებისა და ფუნქციის გაუმჯობესებად.

Nota bene OCD ერთ-ერთი ყველაზე მეტად შესწავლილი ფსიქიატრიული ქირურგიული მიმართულებაა.

OCD: განმარტება, შეფასება და საწყისი მკურნალობა

ობსესიებია შემაწუხებელი, განმეორებადი აზრები, იმპულსები ან წარმოდგენები. კომპულსიებია განმეორებადი ქცევა ან გონებრივი რიტუალები, რომლებითაც ადამიანი დისკომფორტს ამცირებს. Y-BOCS სიმპტომების სიმძიმეს 0–40 ქულით აფასებს. კვლევებში პასუხად ხშირად ითვლება ქულის მინიმუმ 35%-ით შემცირება. ფუნქციური ცვლილებაც

ცალკე ფასდება. პირველადი მკურნალობა მოიცავს ექსპოზიციასა და რეაქციის პრევენციას (ERP) და SSRI-ს. საჭიროებისას განიხილება სხვა SSRI, კლომიპრამინი ან მედიკამენტური გაძლიერება. ქირურგიული შეფასება ეხება იშვიათ, მძიმე და ხანგრძლივად რეზისტენტულ შემთხვევებს. Y-BOCS ≥28 და ≥5 წელი ზოგი პროგრამის კრიტერიუმია და არა უნივერსალური წესი.

Nota bene მძიმე OCD-ის დიაგნოზი ოპერაციის ავტომატური ჩვენება არ არის.

ობსესია და კომპულსია: კარის შემოწმების მაგალითი

1. შემაწუხებელი ეჭვი

„ნამდვილად ჩავკეტე?“ აზრი განმეორებით ბრუნდება.

2. განმეორებითი რიტუალი

შემოწმება დროებით ამცირებს დისკომფორტს.

3. ფუნქციის შეზღუდვა

რიტუალი დროს იკავებს და ყოველდღიურ საქმიანობას აფერხებს.

Nota bene სიმძიმე ფასდება დისკომფორტით, დახარჯული დროითა და ფუნქციის გაუარესებით.



სურათი 5.6 — ობსესია და კომპულსია: კარის შემოწმების მაგალითი.

კაფსულოტომია და ცინგულოტომია

კაფსულოტომია შიგნითა კაფსულის წინა ფეხის შერჩეულ ბოჭკოებს აზიანებს. მიზანია ქერქულ და ქერქქვეშა ქსელებს შორის პათოლოგიური ურთიერთქმედების შეცვლა. ლეზია

შეიძლება შეიქმნას რადიოსიხშირით, რადიოქირურგიით ან MRgFUS-ით. მეთოდების ხელმისაწვდომობა და მტკიცებულება განსხვავდება. ცინგულოტომია წინა სარტყლისებრ უბანსა და ცინგულუმის კავშირებზე მოქმედებს. შერჩეულ მძიმე OCD-სა და დეპრესიაში განიხილება სპეციალიზებულ ცენტრში. ლეზია შეუქცევადია. რისკებია აპათია, ქცევისა და აღმასრულებელი ფუნქციის ცვლილებები. რადიოქირურგიის შემდეგ შესაძლებელია დაგვიანებული შეშუპება ან კისტა.

Nota bene მცირე ლეზიაც შეუქცევადია და გრძელვადიან მეთვალყურეობას მოითხოვს.

სტატისტიკური შესწორების გამო თავდაპირველი შედეგი სიფრთხილით განიხილება.

კაფსულოტომია: ლეზიის მდებარეობა MRI-ზე

1. აქსიალური ხედი

მარცხნივ.

2. კორონარული ხედი

შუაში.

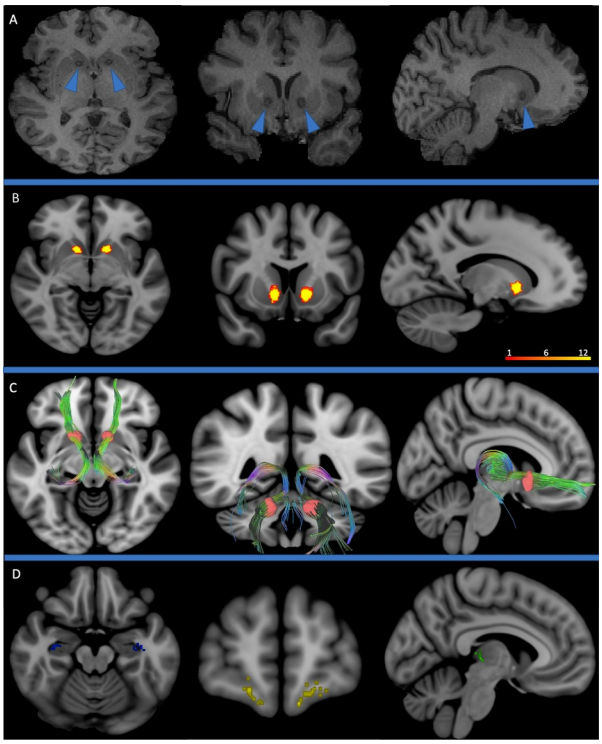
3. საგიტალური ხედი

მარჯვნივ.

ლურჯი ისრები მიუთითებს კვლევაში მიღებულ ლეზიებს.

Davidson et al. Molecular Psychiatry 2020. Fig. 1A. doi:10.1038/s41380-020-0737-1

Nota bene MRI გვიჩვენებს ლეზიას. სიმპტომური და ფუნქციური შედეგი ცალკე ფასდება.



სურათი 5.7 — კაფსულოტომია: ლეზიის მდებარეობა MRI-ზე.

OCD-ის ღრმა ტვინის სტიმულაცია

ნუტინმა და კოლეგებმა 1999 წელს აღწერეს შიგნითა კაფსულის სტიმულაცია. მოგვიანებით შეისწავლეს VC/VS, NAc და ანტერომედიალური STN. აშშ-ში კონკრეტულ სისტემას 2009 წელს მიენიჭა HDE მძიმე რეზისტენტული OCD-ისთვის. ეს ყველა სამიზნისა და ყველა ფსიქიატრიული დიაგნოზის ნებართვას არ ნიშნავს. სტიმულაცია ცვლის ქსელის მუშაობას. გაუმჯობესება შეიძლება კვირებსა და თვეებს მოითხოვდეს, პროგრამირება და ERP კი მკურნალობის ნაწილია. შესაძლებელია ჰიპომანია, შფოთვა, იმპულსურობა და ძილის ცვლილება. ბატარეის დაცლამ სიმპტომები გააუარესოს. საჭიროა უწყვეტი მეთვალყურეობის გეგმა.

Nota bene ოპერაცია იწყებს ხანგრძლივ მკურნალობას, პროგრამირებასა და მხარდაჭერას.

OCD-ის DBS: სხვადასხვა სამიზნის რეკონსტრუქცია

ALIC: შიგნითა კაფსულის წინა ფეხი.

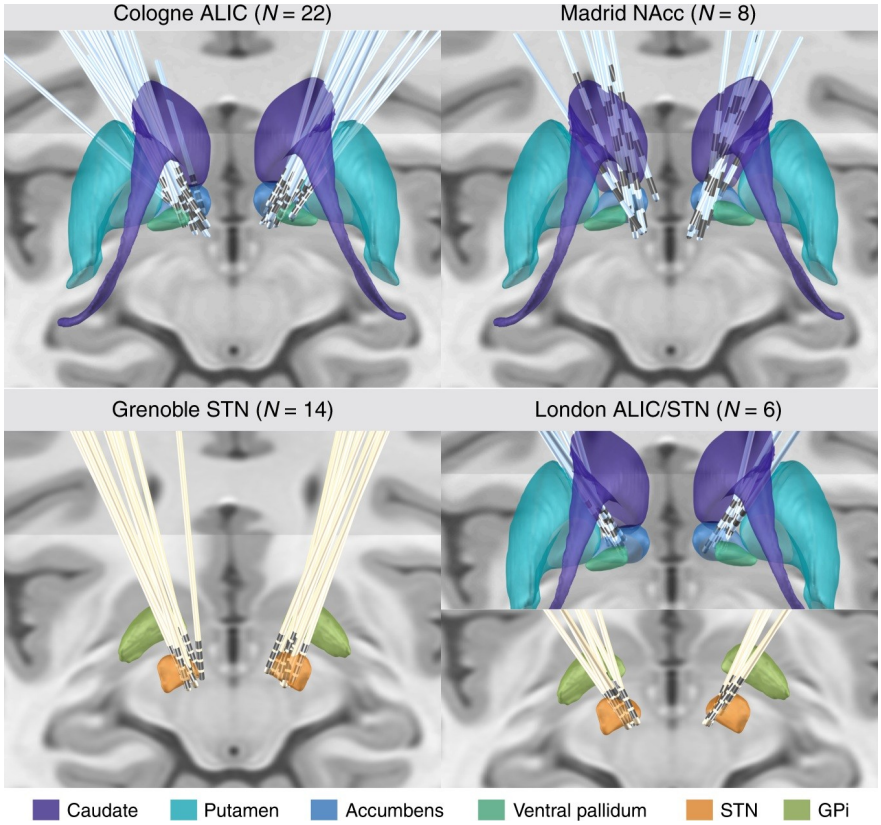
NAc: აკუმბენსის ბირთვი.

STN: სუბთალამური ბირთვი.

ფერადი ბირთვები და ელექტროდები სხვადასხვა კვლევით ჯგუფს აჩვენებს. ეს მრავალი პაციენტის გაერთიანებული რეკონსტრუქციაა.

Li et al. Nature Communications 2020, Fig. 1. doi:10.1038/s41467-020-16734-3

Nota bene სამიზნის სახელთან ერთად მნიშვნელოვანია, რომელ კავშირებს მოიცავს სტიმულაცია.



სურათი 5.8 — OCD-ის DBS: სხვადასხვა სამიზნის რეკონსტრუქცია.

კაფსულოტომია

კაფსულოტომია თუ DBS?

ლეზია შეუქცევადია.

არ მოითხოვს იმპლანტის მომსახურებას, თუმცა ფსიქიატრიული მეთვალყურეობა აუცილებელია. განიხილება შერჩეულ პაციენტში, რისკისა და ალტერნატივების შეფასებით.

DBS

სტიმულაცია რეგულირდება.

საჭიროა იმპლანტი, პროგრამირება და აპარატურის ხანგრძლივი მომსახურება. არსებობს ინფექციის, სისხლჩაქცევისა და სტიმულაციასთან დაკავშირებული მოვლენების რისკი.

Nota bene სხვადასხვა კვლევის შედეგებით ამ მეთოდების თანაბარი ეფექტურობა ვერ დგინდება.

ლეზია და სტიმულაცია: მოქმედების განსხვავება

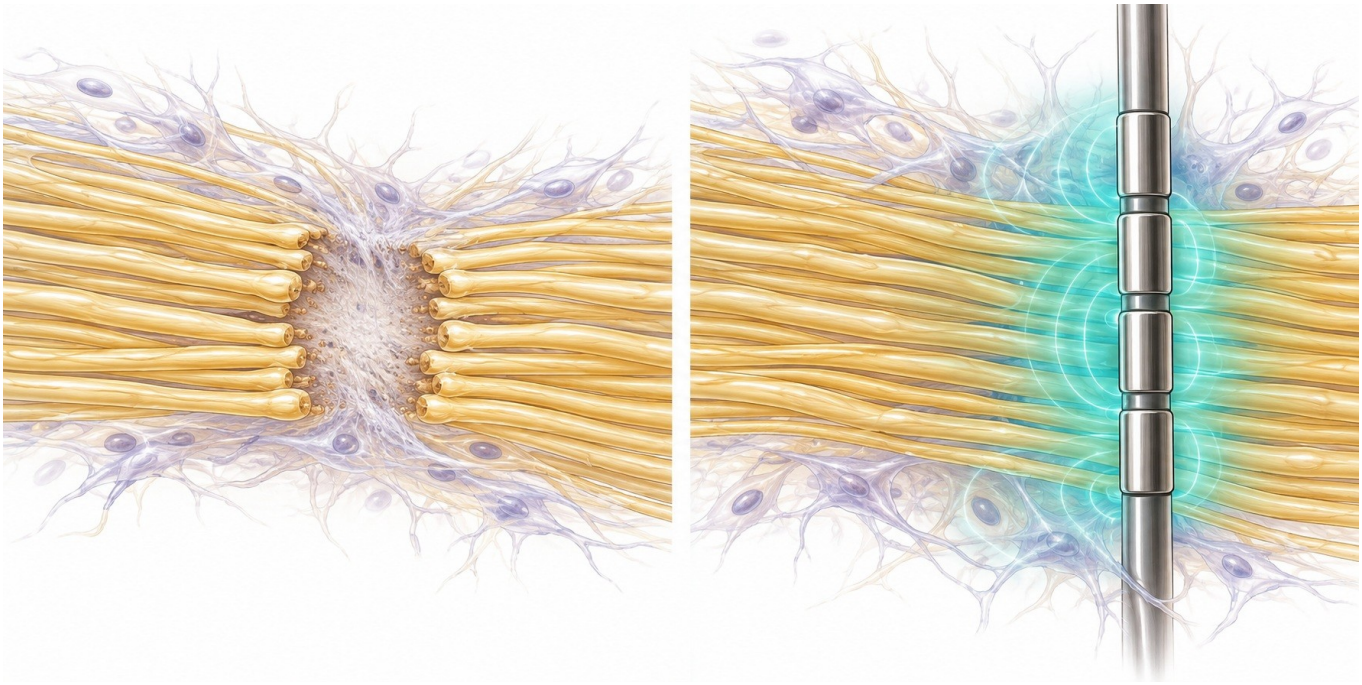
1. კაფსულოტომია

შერჩეული ბოჭკოების დაზიანება კავშირებს შეუქცევადად ცვლის.

2. DBS

ელექტრული ზემოქმედება რეგულირდება. იმპლანტაცია და მისი გართულებები სრულად შექცევადი არ არის.

Nota bene ორივე მეთოდი მოითხოვს მკაცრ შერჩევასა და შემდგომ ფსიქიატრიულ დახმარებას.



სურათი 5.9 — ლეზია და სტიმულაცია: მოქმედების განსხვავება.

NICE CG31 https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations ; NICE IPG693 https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693 ; FDA H050003 https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

დეპრესია: დამკვიდრებული მკურნალობა და კვლევითი DBS

დიდი დეპრესია განწყობის დროებითი დაქვეითებისგან განსხვავდება ხანგრძლივობით, სიმძიმითა და ფუნქციური გავლენით. ინტერესის დაკარგვა, ენერგიის შემცირება, ძილისა და აზროვნების ცვლილებები ურთიერთდაკავშირებულ ქსელებს მოიცავს. რეზისტენტობის შეფასება მოითხოვს დიაგნოზის, ადეკვატური მკურნალობისა და თანმხლები მდგომარეობების გადამოწმებას. ფსიქოთერაპიას, მედიკამენტებსა და შესაბამის ბიოლოგიურ მეთოდებს განსხვავებული ადგილი აქვს; ECT ფსიქოთერაპია არ არის. SCC-ის, VC/VS-ისა და სხვა სამიზნეების DBS კვლევით მიმართულებად რჩება. ღია კვლევის დადებითი შედეგი ბრმა კონტროლირებულ კვლევაში უპირატესობას ავტომატურად არ ნიშნავს. პაციენტის უსაფრთხოება, მათ შორის სუიციდური რისკის შეფასება, მკურნალობის ყველა ეტაპზე მნიშვნელოვანია.

ალეგორიული შედარება. პერსპექტიული გასაღები რამდენიმე საკეტს შეიძლება მოერგოს; სანამ მას სტანდარტად ვაქცევთ, კონტროლირებულად უნდა დავადგინოთ, როდის მუშაობს და რა ფასად.

Nota bene დეპრესიის DBS-ის კვლევითი სტატუსი და კონკრეტულ პაციენტში შესაძლო სარგებელი მკაფიოდ უნდა განვასხვაოთ.

Nota bene დეპრესიის DBS-ის კლინიკური ეფექტურობა ჯერ კვლევის საგანია.

რეზისტენტული დეპრესიის მკურნალობა

დეპრესია მოიცავს დაქვეითებულ განწყობას ან ინტერესის დაკარგვას, სხვა სიმპტომებსა და ფუნქციის გაუარესებას. რეზისტენტობა ხშირად ორი ადეკვატური ანტიდეპრესანტის უშედეგობას გულისხმობს. თავიდან მოწმდება დიაგნოზი, ბიპოლარული აშლილობის შესაძლებლობა, თანმხლები დაავადებები და მკურნალობის ადეკვატურობა. ფსიქოთერაპია მკურნალობის მნიშვნელოვან ნაწილად რჩება. სიმძიმისა და საჭიროების მიხედვით განიხილება ECT, rTMS ან შესაბამის გარემოში ესკეტამინი. სწრაფი დახმარების საჭიროებისას ECT შეიძლება ადრეც იყოს გამართლებული. VNS შერჩეულ ქრონიკულ შემთხვევებში განიხილება და ეფექტს დრო სჭირდება. დეპრესიის DBS კვლევითია. ყველა მეთოდის გავლა ერთ სავალდებულო რიგად არ არის დადგენილი.

Nota bene მკურნალობის არჩევანი ინდივიდუალურია და ერთ სავალდებულო რიგს არ მიჰყვება.

დეპრესია: გადაწყვეტილების ძირითადი მიმართულებები

1. შეფასება

დიაგნოზი, სიმძიმე და უშედეგო მკურნალობის მიზეზები.

2. მკურნალობა

ფსიქოთერაპია და მედიკამენტების ოპტიმიზაცია.

3. სხვა მეთოდები

ECT, rTMS და სხვა არჩევანი საჭიროების მიხედვით.

4. სპეციალიზებული შეფასება

VNS შერჩევით. DBS კვლევით პროგრამაში.

Nota bene ECT-ის დროული საჭიროება შეიძლება სხვა ეტაპების თანმიმდევრობას ცვლიდეს.



სურათი 5.10 — დეპრესია: გადაწყვეტილების ძირითადი მიმართულებები.

NICE NG222 https://www.nice.org.uk/guidance/ng222/chapter/Recommendations ; Holtzheimer et al.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988904/ ; Riva-Posse et al.

დეპრესიის DBS: იმედი და მტკიცებულების საზღვრები

SCC/Cg25-ის მიდამოში სტიმულაცია განწყობის ქსელის თეთრი ნივთიერების კავშირებზე მოქმედებს. მეიბერგის 2005 წლის მცირე კვლევამ შემდგომი მუშაობა წაახალისა. BROADEN-ის ბრმა ფაზაში აქტიურმა სტიმულაციამ საკონტროლო ჯგუფზე სარწმუნო უპირატესობა ვერ აჩვენა. ღია დაკვირვების გაუმჯობესება ამ შედეგს ვერ ანაცვლებს. კვლევები სწავლობს SCC-ის ინდივიდუალურ ტრაქტოგრაფიას, VC/VS-სა და slMFB-ს. სხვადასხვა სამიზნე სხვადასხვა კავშირებზე მოქმედებს. პერსონალიზებული დახურული მარყუჟის მიდგომაც შეისწავლება. ერთი პაციენტის წარმატებული შედეგი მეთოდის ზოგად ეფექტურობას ვერ ადასტურებს.

Nota bene ღია კვლევის გაუმჯობესება კონტროლირებულ მტკიცებულებას ვერ ცვლის.

SCC-DBS: რატომ გვაინტერესებს ბოჭკოვანი კავშირები?

SCC25: სუბკალოზური უბანი.

FM: მცირე მაშა.

UF: კაუჭისებრი კონა.

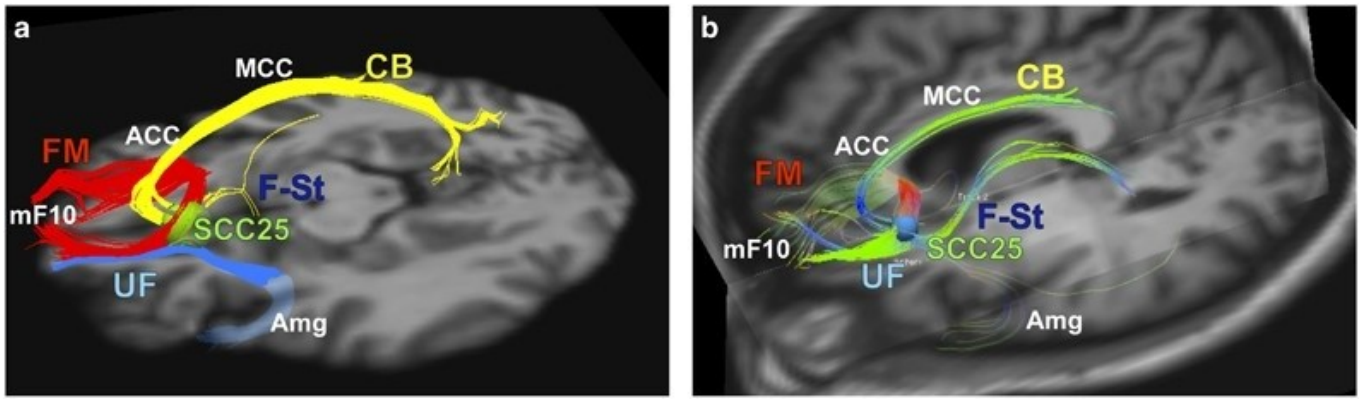
CB: ცინგულუმი.

F-St: შუბლ–სტრიატული ბოჭკოები.

ეს კავშირები კვლევაში დამიზნების დაგეგმვისთვის გამოიყენეს.

Riva-Posse et al. Molecular Psychiatry 2018, Fig. 2. doi:10.1038/mp.2017.59

Nota bene ტრაქტოგრაფია სამიზნეს აზუსტებს, მაგრამ ეფექტურობას თავისთავად არ ამტკიცებს.



სურათი 5.11 — SCC-DBS: რატომ გვაინტერესებს ბოჭკოვანი კავშირები?.

სხვა ფსიქიატრიული მიმართულებები

ანორექსიის, დამოკიდებულების, PTSD-ისა და მძიმე აგრესიული ქცევის ქირურგიული კვლევები მცირე და განსხვავებულ ჯგუფებს ეხება. დიაგნოზის საერთო სახელი ერთიან მექანიზმს ან ერთ სამიზნეს არ ნიშნავს. კვლევებში განიხილება ჯილდოს, საფრთხის, განწყობისა და ქცევის კონტროლის ქსელები. ინტერვენციის შედეგს შეიძლება თანმხლები მკურნალობა, გარემო და შერჩევის თავისებურებები ცვლიდეს. ამიტომ შემთხვევის წარმატებული აღწერა დამკვიდრებული კლინიკური ჩვენების ტოლი არ არის. განსაკუთრებული სიფრთხილეა საჭირო იქ, სადაც პაციენტის გადაწყვეტილების თავისუფლება შეზღუდულია ან მკურნალობის მიზანს გარემო აწესებს. მიზანი პაციენტის სარგებელია და არა მხოლოდ სხვებისთვის მოსახერხებელი ქცევა.

ალეგორიული შედარება. ლაბორატორიაში გაჩენილი შესაძლებლობა ჯერ გზის დასაწყისია; ყოველდღიურ პრაქტიკამდე უსაფრთხოებისა და ეფექტურობის რამდენიმე საფეხურია გასავლელი.

Nota bene ექსპერიმენტულმა ჩარევამ ეთიკური მოთხოვნები უნდა გააძლიეროს და არა შეამციროს.

Nota bene მცირე კვლევები მოითხოვს შედეგებისა და რისკების ფრთხილ შეფასებას.

სხვა ფსიქიატრიული მიმართულებები: კვლევითი სტატუსი

ნერვული ანორექსიისას შესწავლილია SCC/Cg25, NAc და VC/VS. მცირე კვლევებში მიღებული ცვლილებები სტანდარტულ მკურნალობას ვერ ცვლის. დამოკიდებულებისას NAc-ის სტიმულაციით ჯილდოსა და მოტივაციის ქსელზე ზემოქმედებას იკვლევენ. მკურნალობას სჭირდება ხანგრძლივი ფსიქოსოციალური მხარდაჭერაც. PTSD-ისას შესწავლილია ბაზოლატერალური ამიგდალა. შიზოფრენიის DBS-იც კვლევითია და ჩვეულებრივ კლინიკურ მეთოდად არ განიხილება. მძიმე თვითდაზიანებითი ქცევისას ჰიპოთალამური ჩარევების

მტკიცებულება შეზღუდულია. აუცილებელია მიზეზის მკურნალობა, უფლებების დაცვა და დამოუკიდებელი ზედამხედველობა.

Nota bene ამ მიმართულებებში ექსპერიმენტული შედეგი რუტინული ჩვენება არ არის.

ანორექსია

კვლევითი მიმართულებები და პაციენტის დაცვა

SCC, NAc ან VC/VS შეისწავლება. აუცილებელია კვებითი და ფსიქიატრიული დახმარება.

დამოკიდებულება

NAc კვლევითი სამიზნეა. მხარდაჭერა მკურნალობის ნაწილია.

PTSD

BLA-ის სტიმულაციაზე მონაცემები შეზღუდულია.

მძიმე თვითდაზიანება

ჰიპოთალამური ჩარევა განსაკუთრებულ ეთიკურ შეფასებას მოითხოვს.

Nota bene დიაგნოზისა და სამიზნის კავშირი დადასტურებულ ეფექტურობას არ ნიშნავს.



სურათი 5.12 — ანორექსია.

NICE NG222 https://www.nice.org.uk/guidance/ng222/chapter/Recommendations ; Holtzheimer et al.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988904/ ; Riva-Posse et al.

ცნობიერება და პასუხის გამოხატვის უნარი

თვალების გახსნა სიფხიზლეს აჩვენებს, მაგრამ გარემოს გაცნობიერებას თავისთავად ვერ ადასტურებს. მეორე მხრივ, მოძრაობის შეუძლებლობა ცნობიერების არარსებობას არ ნიშნავს. კომა, უპასუხო სიფხიზლის სინდრომი, მინიმალური ცნობიერება და ჩაკეტილობის სინდრომი ერთმანეთისგან უნდა გავმიჯნოთ. შეფასება განმეორებით ტარდება. სედაცია, სმენისა და მხედველობის პრობლემა, დაღლილობა და მოტორული შეზღუდვა პასუხს ცვლის. EEG-სა და ფუნქციურ MRI-ში ზოგჯერ ქცევით უხილავი ბრძანების შესრულება ვლინდება. მეზოცირკიტის მოდელი თალამუსის, სტრიატუმისა და ქერქის შემცირებულ ურთიერთაქტივობას აღწერს. ცენტრალური თალამუსის სტიმულაცია კვლევითია. ცნობიერების აღდგენის მცდელობა და უკვე ცნობიერ პაციენტში კოგნიციის გაუმჯობესება სხვადასხვა კითხვას პასუხობს.

ალეგორიული შედარება. გამორთული ეკრანი ყოველთვის გამორთულ კომპიუტერს არ ნიშნავს: ზოგჯერ მუშაობს სისტემა, მაგრამ პასუხის გამოყვანის გზა დაზიანებულია.

Nota bene გარეგანი უპასუხობა საფუძვლიან, განმეორებით შეფასებას მოითხოვს; ერთი დაკვირვება საბოლოო დასკვნისთვის საკმარისი არ არის.

Nota bene სიფხიზლის, გაცნობიერებისა და მოძრაობითი პასუხის შეფასება ერთმანეთისგან უნდა გავმიჯნოთ.

სიფხიზლე და ცნობიერება სხვადასხვა ცნებაა

კომისას პაციენტი არ იღვიძებს და თვალები დახუჭულია. არ ჩანს საკუთარი თავის ან გარემოს გაცნობიერების ქცევითი ნიშნები. UWS-ისას თვალების გახსნა და ძილ–სიფხიზლის ციკლი არსებობს, მაგრამ განმეორებით შეფასებაში გაცნობიერების სანდო ქცევითი ნიშნები ვერ დასტურდება. MCS-ისას არსებობს მინიმალური, ზოგჯერ მერყევი, მაგრამ სარწმუნო მიზანმიმართული პასუხები. MCS+ მოიცავს ენობრივად გაშუალებულ პასუხებს, მაგალითად ბრძანების შესრულებას. შეფასება მეორდება CRS-R-ით. fMRI ან EEG ზოგჯერ ავლენს ბრძანებაზე პასუხს გარეგანი მოძრაობის გარეშე. მოძრაობის შეუძლებლობა ცნობიერების არარსებობას არ უდრის.

Nota bene გარეგანი უპასუხობა ცნობიერების არარსებობის დასამტკიცებლად საკმარისი არ არის.

ცნობიერების შეფასება: ოთხი განსხვავებული მდგომარეობა

კომა

სიფხიზლე არ ჩანს. თვალები დახუჭულია.

UWS

სიფხიზლე არის. გაცნობიერება ქცევით ვერ დასტურდება.

MCS

არსებობს სანდო, თუმცა მერყევი მიზანმიმართული პასუხი.

ჩაკეტილობის სინდრომი

ცნობიერება შენარჩუნებულია. მოძრაობა მკვეთრად შეზღუდულია.

Nota bene დიაგნოზი ნახატით ან ერთი გასინჯვით არ ისმება. საჭიროა განმეორებითი შეფასება.



სურათი 5.13 — ცნობიერების შეფასება: ოთხი განსხვავებული მდგომარეობა.

Practice guideline 2018 doi:10.1212/WNL.0000000000005926.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30098791/ ; Schiff et al.

ცენტრალური თალამუსი და მეზოცირკიტის ჰიპოთეზა

ნორმაში ცენტრალური თალამუსი ქერქისა და სტრიატუმის აქტივობას უწყობს ხელს. ეს ურთიერთკავშირები ყურადღებისა და მიზანმიმართული პასუხის შენარჩუნებაში მონაწილეობს. მძიმე დაზიანების შემდეგ შესავალი აქტივობა მცირდება. მოდელის მიხედვით, სტრიატუმის შემცირებული აქტივობა GPi-ს ნაკლებად აკავებს და თალამუსზე შეკავება ძლიერდება. ამანტადინს მტკიცებულება აქვს ტრავმული UWS/MCS-ის გარკვეულ პაციენტებში, დაზიანებიდან 4–16 კვირის პერიოდში. ამ შედეგს სხვა მიზეზსა თუ ვადაზე ავტომატურად ვერ გადავიტანთ. ცენტრალური თალამუსის DBS ექსპერიმენტულია. 2007 წლის MCS-ის შემთხვევა და 2023 წლის ცნობიერ პაციენტებში კოგნიციის კვლევა განსხვავებულ ჯგუფებს ეხება.

Nota bene ცნობიერების აღდგენა და უკვე ცნობიერ პაციენტში კოგნიციის გაუმჯობესება განსხვავდება.

ცენტრალური თალამუსი: კვლევითი DBS-ის მაგალითი

1. სამიზნე

ცენტრალური ლატერალური თალამური უბანი და შესაბამისი კავშირები.

2. რეკონსტრუქცია

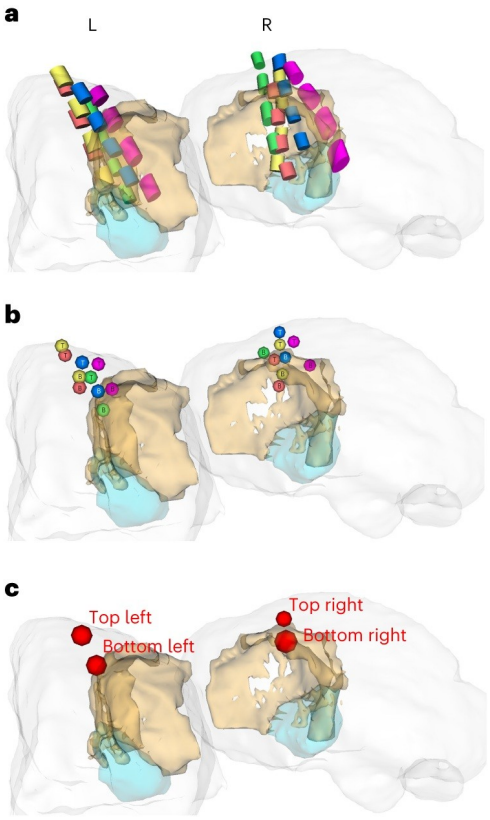
სხვადასხვა ფერი რამდენიმე მონაწილის კონტაქტებს აჩვენებს.

3. კლინიკური კითხვა

კვლევა ტრავმის შემდეგ კოგნიტურ ფუნქციას აფასებდა.

Schiff et al. Nature Medicine 2023, Fig. 4a. doi:10.1038/s41591-023-02638-4

Nota bene ეს 2023 წლის კოგნიციის კვლევაა და არა კომიდან გამოღვიძების დადასტურებული მეთოდი.



სურათი 5.14 — ცენტრალური თალამუსი: კვლევითი DBS-ის მაგალითი.

დაკარგული კავშირის ფუნქციური ჩანაცვლება

ტვინი–კომპიუტერის ინტერფეისი ნერვულ აქტივობას იწერს და სწავლით აკავშირებს კურსორის, სიტყვის ან მოძრაობის ბრძანებასთან. ის ყველა აზრს არ კითხულობს: დეკოდერი კონკრეტული ამოცანის სიგნალზე იწვრთნება. მოძრაობის აღსადგენად ჩანაწერი შეიძლება კუნთის ან ზურგის ტვინის სტიმულაციას დაუკავშირდეს. ციფრული კავშირი დაზიანებულ გზას გვერდს უვლის, თუმცა შედეგი ნარჩენ ქსელებს, ვარჯიშსა და მოწყობილობის შესაძლებლობებსაც ეყრდნობა. სმენის, სუნთქვისა და სხვა ფუნქციების იმპლანტებს

განსხვავებული სიმწიფის მტკიცებულება აქვს. ერთი მონაწილის შთამბეჭდავი კვლევითი შედეგი ყველა პაციენტზე ვერ განზოგადდება. აღდგენის რეალური საზომი ყოველდღიურ ცხოვრებაში მიღებული დამოუკიდებლობაა.

ალეგორიული შედარება. თუ ხიდი დაზიანებულია, სიგნალს შემოვლითი გზა შეიძლება შევუქმნათ; ეს ძველი ხიდის სრულ აღდგენას არ ნიშნავს.

Nota bene ნეიროპროთეზი დაკარგულ კავშირს ფუნქციურად ანაცვლებს, ხოლო რეაბილიტაცია მის გამოყენებას ასწავლის.

Nota bene მიზანია კომუნიკაციის, მოძრაობისა და ყოველდღიური ფუნქციის გაუმჯობესება.

BCI: კურსორიდან მეტყველებამდე

ტვინი–კომპიუტერის ინტერფეისის განვითარება თანდათან გადავიდა მარტივი გამოსავლიდან უფრო რთულ ფუნქციებზე. 2006 წელს BrainGate-ის მუშაობამ, ჰოხბერგისა და თანაავტორების მონაწილეობით, ნერვული აქტივობით კურსორის მართვის კლინიკური შესაძლებლობა აჩვენა. 2012 წელს კვლევით სისტემაში რობოტული ხელით სასმელის აღება გახდა შესაძლებელი, 2017 წელს კი BCI ფუნქციურ ელექტროსტიმულაციას დაუკავშირდა და საკუთარი ხელის მოძრაობის მხარდაჭერა შეისწავლეს. 2021 წლის „ხელწერის“ დეკოდირების კვლევაში დაახლოებით 90 სიმბოლო წუთში იქნა მიღწეული. 2023 წელს მეტყველების დეკოდირების რამდენიმე კვლევამ მაღალი სიჩქარე აჩვენა; 2024 წლის ALS-ის ერთ მონაწილეში აღწერილი იყო დაახლოებით 97.5% სიზუსტე და 32 სიტყვა წუთში. ეს კონკრეტული ექსპერიმენტული პირობების შედეგებია და ყველა პაციენტისთვის მოსალოდნელ შესაძლებლობას არ აღნიშნავს.

Nota bene კვლევის სიჩქარე და სიზუსტე კონკრეტულ მონაწილესა და პირობებს ეხება.

მეტყველების BCI: სიგნალიდან კომუნიკაციამდე

1. მცდელობა

პაციენტი ცდილობს სიტყვის წარმოთქმას. ქერქიდან იწერება შესაბამისი აქტივობა.

2. დეკოდირება

გაწვრთნილი ალგორითმი სიგნალის კანონზომიერებას სიტყვასთან აკავშირებს.

3. გამოხატვა

ეკრანი ან სინთეზირებული ხმა პაციენტის განზრახულ შეტყობინებას გადასცემს.

Nota bene BCI კონკრეტულ სიგნალზე იწვრთნება და ნებისმიერი აზრის წაკითხვას არ ნიშნავს.



სურათი 5.15 — მეტყველების BCI: სიგნალიდან კომუნიკაციამდე.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39141853/ ; Lorach et al.

მოძრაობის აღდგენა ზურგის ტვინის დაზიანების შემდეგ

ეპიდურული სტიმულაცია ააქტიურებს ზურგის ტვინის სენსორულ შესასვლელებსა და ნარჩენ ქსელებს. შერჩეულ პაციენტებში ვარჯიშთან ერთად მოძრაობას უწყობს ხელს. ტვინი–ზურგის ტვინის ინტერფეისი მოძრაობის განზრახვას კითხულობს და ქვემოთ მდებარე სტიმულატორს გადასცემს. ელექტრონული კავშირი დაზიანებულ გზას ფუნქციურად გვერდს უვლის. BCI შეიძლება კუნთის ფუნქციურ ელექტროსტიმულაციასაც დაუკავშირდეს. ხელის ფუნქციისთვის იკვლევენ ზურგის ტვინის კისრის ნაწილის სტიმულაციას. სხვა არჩევანია ნერვის ტრანსფერი. მოტორულად სრული დაზიანება ყოველთვის ანატომიურ სრულ გადაკვეთას არ ნიშნავს. კვლევითი შედეგი ყველა პაციენტისთვის დამოუკიდებელ სიარულს არ უზრუნველყოფს.

Nota bene ტექნოლოგიის ეფექტი ნარჩენ ქსელებსა და რეაბილიტაციაზეც არის დამოკიდებული.

ტვინი-ზურგის ტვინის ინტერფეისი: ციფრული ხიდი

1. ჩანაწერი

ქერქის ზედაპირიდან იკითხება მოძრაობის განზრახვასთან დაკავშირებული აქტივობა.

2. გარდაქმნა

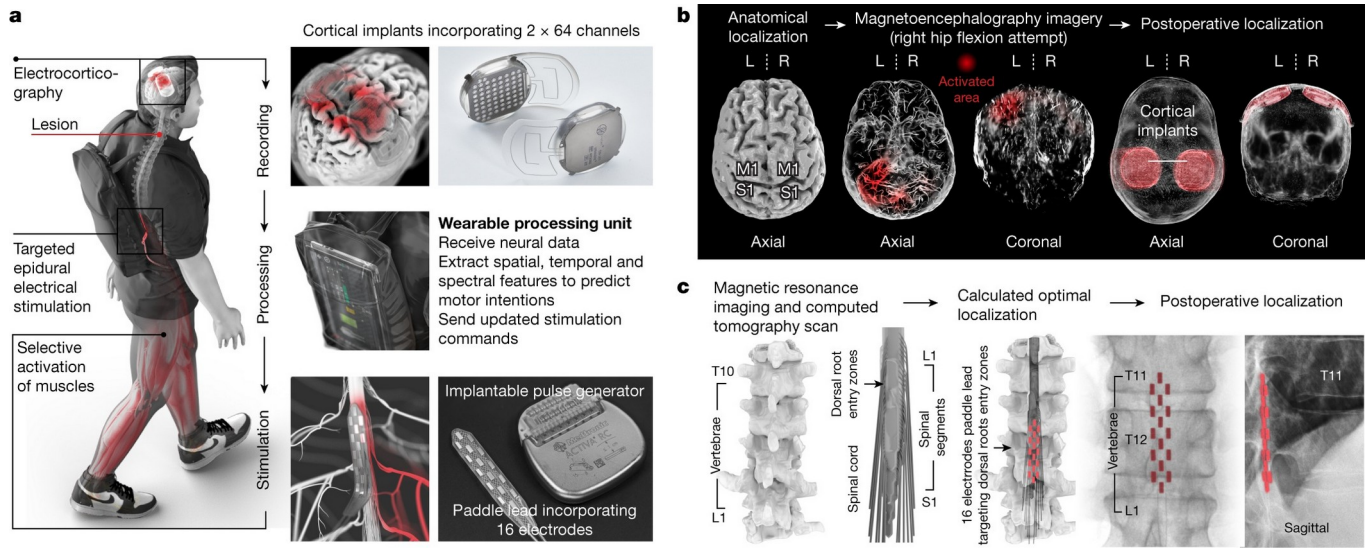
პროცესორი სიგნალს სტიმულაციის ბრძანებად აქცევს.

3. სტიმულაცია

ზურგის ტვინის ეპიდურული ელექტროდი შესაბამის ქსელს ააქტიურებს.

Lorach et al. Nature 2023, Fig. 1a. doi:10.1038/s41586-023-06094-5

Nota bene 2023 წლის კვლევა ერთ მონაწილეს ეხებოდა. შედეგი ყველა დაზიანებაზე არ ვრცელდება.



სურათი 5.16 — ტვინი–ზურგის ტვინის ინტერფეისი: ციფრული ხიდი.

აღდგენითი იმპლანტები: მოკლე მიმოხილვა

სენსორული და ორგანოთა პროთეზები

Nota bene ეფექტი დამოკიდებულია შესაბამისი ნერვებისა და ორგანოს დარჩენილ ფუნქციაზე.

ცხრილი 5.2 — აღდგენითი იმპლანტები: მოკლე მიმოხილვა

იმპლანტი	რას აღადგენს	ძირითადი ჩვენება	სტატუსი
კოხლეარული იმპლანტი	სმენა	სენსორინევრული სიყრუე	დამკვიდრებული, შერჩევით
ტვინის ღეროს სმენის იმპლანტი (ABI)	სმენა	NF2, სმენის ნერვის არარსებობა	სპეციალიზებული ცენტრები
მხედველობის პროთეზი	ფოსფენური მხედველობა	რეტინიტი პიგმენტოზა, სიბრმავე	კვლევები (ბადურის და ქერქის)
საკრალური ნეირომოდულაცია	შარდვა, დეფეკაცია	შარდის/განავლის შეუკავებლობა, არაობსტრუქციული შეკავება	დამკვიდრებული, შერჩევით
დიაფრაგმის / დიაფრაგმული ნერვის პეისინგი	სუნთქვა	მაღალი სპინალური დაზიანება, ჰიპოვენტილაცია	სპეციალიზებული
ენისქვეშა ნერვის სტიმულაცია	სასუნთქი გზის გამტარობა	ობსტრუქციული ძილის აპნოე	შერჩეული OSA, CPAP-ის აუტანლობა

უჯრედული და გენური მიდგომები

უჯრედული თერაპია დაკარგული ფუნქციის ახალი უჯრედებით შევსებას ცდილობს. პარკინსონის დაავადებისას ერთ-ერთი მიზანია პუტამენში დოფამინერგული მიწოდების გაუმჯობესება. მაგრამ დოფამინის შევსება დაავადების ყველა ქსელსა და არამოტორულ გამოვლინებას ვერ აგვარებს. გენური თერაპია უჯრედს საჭირო ცილის წარმოქმნის ინსტრუქციას აწვდის. AADC-ის დეფიციტის მკურნალობა კონკრეტული დაავადების მაგალითია; მისი შედეგი პარკინსონის დაავადებაზე ავტომატურად არ ვრცელდება. ზუსტი სტერეოტაქსიული მიწოდება ბიოლოგიურ უსაფრთხოებასთან ერთად ფასდება. ჰემატოენცეფალური ბარიერის დროებითი გახსნა ნივთიერების მიწოდებას შეიძლება დაეხმაროს. სამიზნემდე მიღწევა, PET-ის ან სხვა ბიომარკერის ცვლილება და პაციენტის რეალური კლინიკური გაუმჯობესება განსხვავებული შედეგებია.

ალეგორიული შედარება. ქალაქში ახალი ქარხნის აშენება ან ინსტრუქციის მიწოდება მხოლოდ დასაწყისია: უნდა ვნახოთ, მუშაობს თუ არა სისტემა უსაფრთხოდ და აუმჯობესებს თუ არა მოსახლეობის ცხოვრებას.

Nota bene ბიოლოგიური აქტივობის ჩვენება ეფექტური და ხანგრძლივად უსაფრთხო მკურნალობის დამტკიცებას არ უდრის.

Nota bene უჯრედისა და გენის ზუსტი მიწოდება ხანგრძლივ უსაფრთხოების კონტროლს მოითხოვს.

უჯრედული თერაპია პარკინსონის დაავადებისას

მიზანია პუტამენში დოფამინის მიწოდების აღდგენა ახალი დოფამინერგული უჯრედებით. ადრეულმა ნაყოფის ქსოვილის ტრანსპლანტაციამ აჩვენა როგორც ხანგრძლივი სარგებელი, ისე დისკინეზიის რისკი. ზოგ ძველ ტრანსპლანტატში წლების შემდეგ ლევის პათოლოგიაც გამოვლინდა. ეს მიუთითებს, რომ უჯრედის ჩანაცვლება დაავადების მთელ პროცესს არ აჩერებს. 2025 წლის hES- და iPSC-წარმოშობის უჯრედების ადრეული კვლევები აფასებდა უსაფრთხოებასა და გრაფტის ფუნქციონირებას. PET-ის ცვლილება სრული კლინიკური განკურნების ტოლი არ არის. სტერეოტაქსიული მიწოდება, უჯრედების განაწილება და იმუნოსუპრესიის მეთვალყურეობა გუნდურ მუშაობას მოითხოვს. გრძელვადიანი სარგებელი და რისკი კვლავ შესაფასებელია.

Nota bene უჯრედის ჩანაცვლება პარკინსონის დაავადების ყველა გამოვლინებას ვერ აგვარებს.

უჯრედული თერაპიის იდეა

1. უჯრედის მომზადება

ლაბორატორიაში მიიღება დოფამინერგული ნეირონების წინამორბედები.

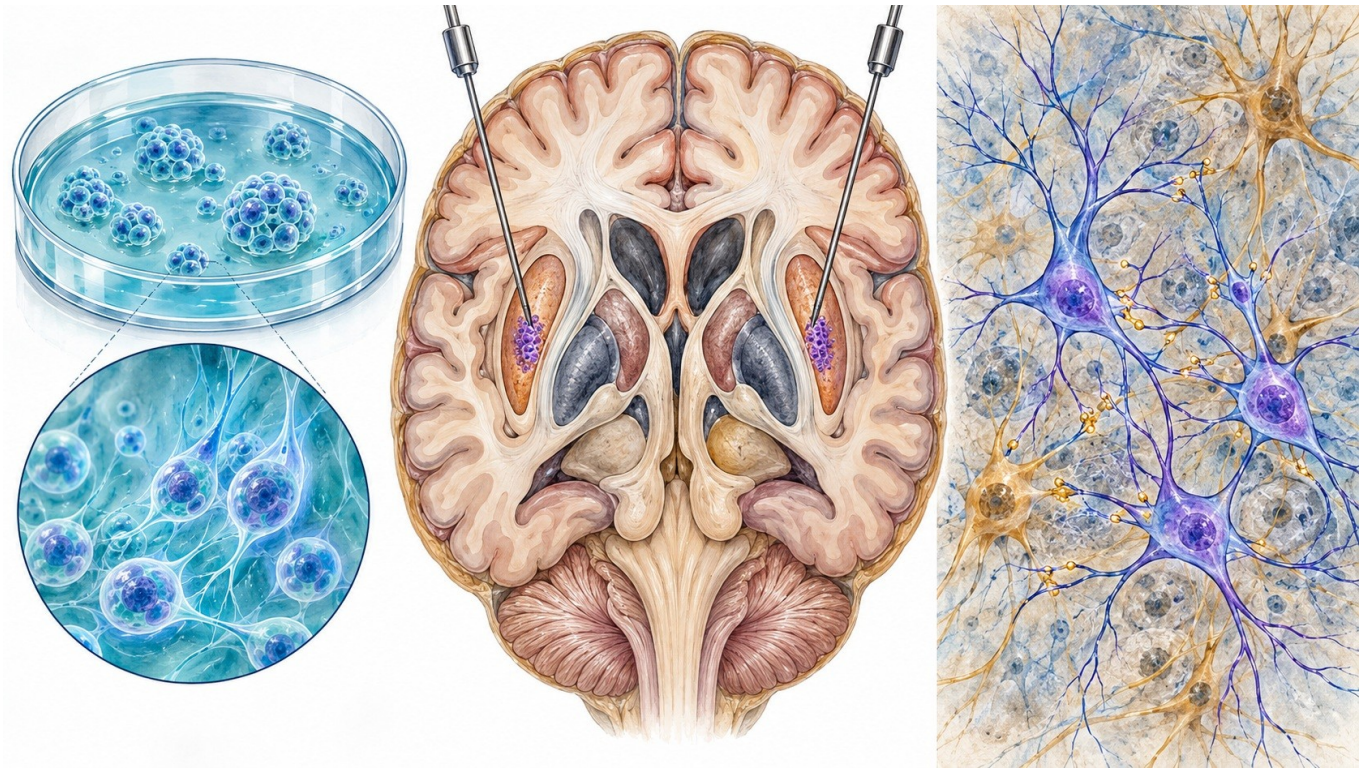
2. ზუსტი მიწოდება

უჯრედები პუტამენში სტერეოტაქსიულად თავსდება.

3. ხანგრძლივი დაკვირვება

ფასდება გადარჩენა, ფუნქცია, დისკინეზია და სხვა რისკები.

Nota bene გრაფტის აქტივობა კლინიკურ სარგებელთან და უსაფრთხოებასთან ერთად უნდა შეფასდეს.



სურათი 5.17 — უჯრედული თერაპიის იდეა.

Nature 2025 doi:10.1038/s41586-025-08845-y ; Sawamoto et al.

გენური თერაპია და ჰემატოენცეფალური ბარიერი

AADC-ის დეფიციტისას ნერვული უჯრედი შესაბამის ფერმენტს საკმარისად ვერ წარმოქმნის. გენური თერაპია უჯრედს ფერმენტის წარმოქმნის ინსტრუქციას აწვდის. ელადოკაგენ ექსუპარვოვეკი პუტამენში მიეწოდება. ევროკავშირის ნებართვა მიღებულია 2022 წელს, FDA-ის დაჩქარებული ნებართვა 2024 წელს. ეს კონკრეტულ დაავადებას ეხება. CED ქსოვილში ინფუზიის განაწილებას წნევითი ნაკადით უწყობს ხელს. MRI ზოგ პროტოკოლში განაწილების მონიტორინგისთვის გამოიყენება. პარკინსონის გენური მიდგომები კვლევითია. ფოკუსირებული ულტრაბგერითა და მიკრობუშტებით BBB დროებით იხსნება. ამილოიდის შემცირების მცირე კვლევა კოგნიტური სარგებლის დამტკიცება არ არის.

Nota bene მიწოდების წარმატება და კლინიკური ეფექტურობა ცალ-ცალკე უნდა შეფასდეს.

ბიოლოგიური მკურნალობის მიწოდების ორი გზა

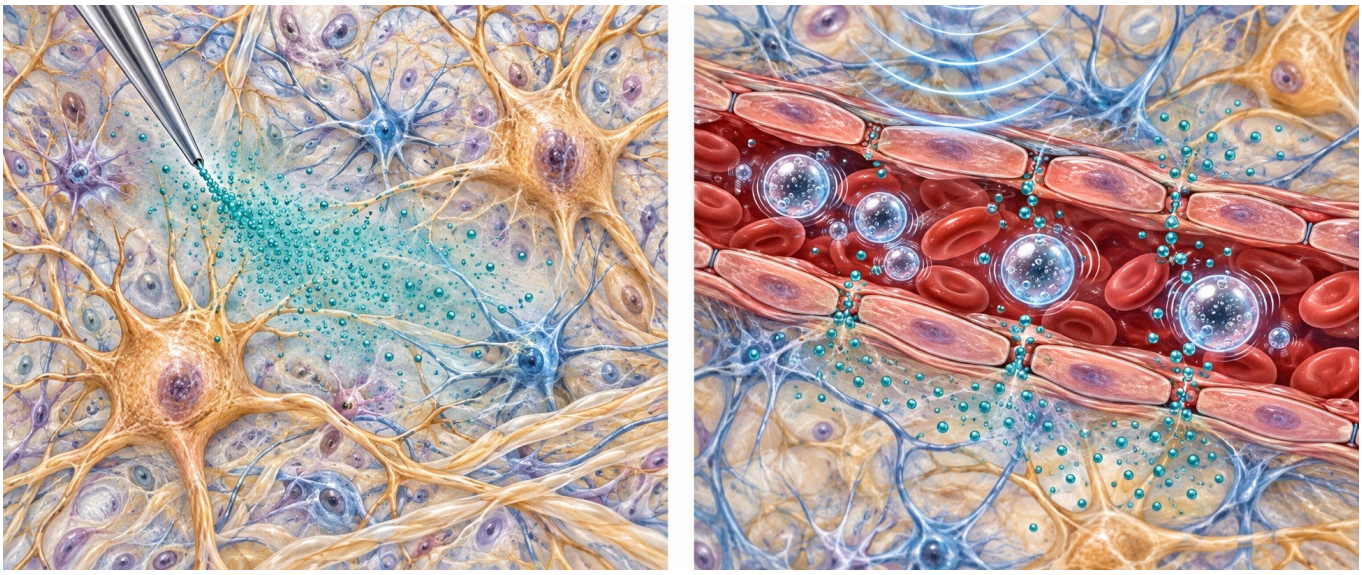
1. პირდაპირ ქსოვილში

კანულა პრეპარატს სამიზნეში აწვდის. CED ხელს უწყობს ქსოვილში განაწილებას.

2. სისხლიდან ქსოვილში

ულტრაბგერა და მიკრობუშტები BBB-ის გამტარობას დროებით ზრდის. ეს კვლევითი მიდგომაა.

Nota bene BBB-ის გახსნა განსხვავდება მაღალი ინტენსივობით ქსოვილის აბლაციისგან.



სურათი 5.18 — ბიოლოგიური მკურნალობის მიწოდების ორი გზა.

FDA Kebilidi https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/kebilidi ; Rezai et al.

კურსის მთავარი კითხვა: რას ვაუმჯობესებთ?

ხუთივე თავის საერთო პრინციპი ფუნქციისა და ქსელის კავშირია. ჯერ განვსაზღვრავთ პრობლემას, შემდეგ ვხსნით ნორმალურ მუშაობას, ვადგენთ დარღვევას და მხოლოდ ამის შემდეგ ვირჩევთ ჩარევას. ზუსტი კოორდინატი სწორი კლინიკური მიზნის გარეშე საკმარისი არ არის. განვითარებას ახალი პასუხისმგებლობაც ახლავს: ვის ეკუთვნის ნერვული ჩანაწერი, ვინ უზრუნველყოფს იმპლანტის ხანგრძლივ მომსახურებას, როგორ იცვლება თანხმობა პაციენტის მდგომარეობასთან ერთად? ეს კითხვები მკურნალობის ნაწილია. მიზეზობრივი კავშირი აერთიანებს დიაგნოზს, სამიზნესა და შედეგს: რას შეიძლება შეცვლიდეს ჩარევა, რა რჩება მისი მოქმედების ფარგლებს გარეთ და როგორ იზომება პაციენტისთვის მიღებული სარგებელი.

ალეგორიული შედარება. კარგი რუკა, გამართული ინსტრუმენტი და გამოცდილი მეგზური მხოლოდ მაშინ გვარგებს, როცა ვიცით, სად სურს მისვლა თავად მგზავრს.

Nota bene მიზანია პაციენტის ფუნქციისა და ცხოვრების გაუმჯობესება — სამიზნის, მეთოდის და შედეგის ერთიანი შეფასებით.

Nota bene ტექნოლოგიის განვითარებას პაციენტის უფლებების დაცვა უნდა ახლდეს.

ნეიროეთიკა: რა უნდა დავიცვათ?

პიროვნება და ავტონომია. განწყობისა და ქცევის ცვლილება პაციენტთან ერთად უნდა შეფასდეს. წარმატება მხოლოდ სკალის ქულის შემცირება არ არის. თანხმობა. გადაწყვეტილების უნარი ინდივიდუალურად ფასდება. ბავშვებსა და ცნობიერების დარღვევისას საჭიროა განსაკუთრებული სამართლებრივი და ეთიკური გარანტიები. ნეირომონაცემები. ჩანაწერსა და დეკოდირებულ ინფორმაციაზე წვდომა უნდა იყოს დაცული. კვლევაში მონაწილეობა შეუზღუდავ მონაცემთა გამოყენებაზე თანხმობას არ ნიშნავს. ხანგრძლივი პასუხისმგებლობა. წინასწარ უნდა არსებობდეს მოწყობილობის მომსახურების, გაუმართაობის, ხარჯისა და კვლევის დასრულების შემდეგ დახმარების გეგმა.

Nota bene პაციენტის უფლებები იმპლანტაციის შემდეგაც დაცული უნდა დარჩეს.

ხუთი ლექცია, ერთი ლოგიკა

კურსის შეჯამება

Nota bene ერთიანი ლოგიკა: ფუნქცია, დარღვევა, სამიზნე, მტკიცებულება და პაციენტის მიზანი.

ცხრილი 5.3 — ხუთი ლექცია, ერთი ლოგიკა

ლექცია	ქსელი / გზა	ძირითადი სამიზნეები	მთავარი გზავნილი
1. ისტორია და პრინციპები	ლოკალიზაცია → ქსელი	ჩარჩო, AC–PC, ატლასი	ლეზია → სტიმულაცია → დახურული მარყუჟი
2. მოძრაობის დარღვევები	ბაზალური განგლიები, ნათხემი, CST	STN, GPi, Vim; SDR, ITB	სამიზნე მექანიზმიდან გამომდინარეობს
3. ტკივილი	ნოციცეპტიური გზა, დაღმავალი მოდულაცია	MVD, SCS, DRG, DREZ, კორდოტომია	მექანიზმი და კლინიკა მეთოდის არჩევას წარმართავს
4. ეპილეფსია	ეპილეპტოგენური ქსელი	რეზექცია, LITT, დისკონექცია, RNS/DBS	ქსელის ლოკალიზაცია და უსაფრთხო ჩარევა
5. ფსიქიატრია და აღდგენა	CSTC, ლიმბური ქსელი, ცნობიერება	VC/VS, Cg25, ცენტრალური თალამუსი; BCI	ეთიკა ტექნოლოგიასთან ერთად ვითარდება

კლინიკური დისკუსია: არჩევანის დასაბუთება

მძიმე OCD, მრავალი უშედეგო მკურნალობა. ჯერ ვამოწმებთ დიაგნოზს, დოზებს, ხანგრძლივობასა და ERP-ს. შემდეგ გუნდი განიხილავს ჩარევის შესაძლო სარგებელსა და რისკს. დეპრესია ECT-ის შემდეგ რეციდივით. საჭიროა შემანარჩუნებელი მკურნალობისა და სხვა არჩევანის შეფასება. VNS შერჩევით განიხილება, DBS კი კვლევის ფარგლებში. ტრავმის შემდეგ ერთი წლის განმავლობაში MCS. საჭიროა განმეორებითი CRS-R, შექცევადი მიზეზების ძიება და რეაბილიტაცია. ამანტადინის ადრეული კვლევის შედეგი ამ ვადაზე პირდაპირ არ ვრცელდება. ALS და მძიმე მეტყველების დარღვევა. ჯერ ფასდება ხელმისაწვდომი

საკომუნიკაციო საშუალებები, მათ შორის თვალით მართვა. იმპლანტირებადი მეტყველების BCI კვლევითი შესაძლებლობაა.

Nota bene ჯერ ვამოწმებთ პრობლემასა და ალტერნატივებს, შემდეგ ვარჩევთ ჩარევას.

ძირითადი დასკვნები

Nota bene პასუხის გამოხატვა შეიძლება მოტორულმა, სენსორულმა ან სხვა შეზღუდვამ დაბლოკოს.

Nota bene ბიოლოგიური ცვლილება ჯერ კიდევ უნდა დაუკავშირდეს პაციენტის ფუნქციას, ცხოვრების ხარისხსა და ხანგრძლივ უსაფრთხოებას.



სურათი 5.19 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია.

ტერმინები და აბრევიატურები

ცხრილი 0.1 — ძირითადი ცნებები

ტერმინი	განმარტება
DBS	ტვინის ღრმა სტიმულაცია
STN	სუბთალამური ბირთვი
GPi / GPe	ფერმკრთალი ბირთვის შიგნითა / გარეთა სეგმენტი
SNc / SNr	შავი ნივთიერების კომპაქტური / ბადისებრი ნაწილი
Vim	თალამუსის ვენტრალური შუალედური ბირთვი
M1 / SMA	პირველადი მოტორული ქერქი / დამატებითი მოტორული უბანი
AC / PC / MCP	წინა კომისურა / უკანა კომისურა / მათ შორის შუა წერტილი
MER	მიკროელექტროდული ჩანაწერი
DRTT	დაკბილულ–წითელბირთვოვან–თალამური გზა
SDR	სელექციური დორსალური რიზოტომია; სხვა კონტექსტში — თავის ქალას სიმკვრივის თანაფარდობა
ITB	ინტრათეკალური ბაკლოფენი
DREZ	უკანა ფესვის შესვლის ზონა
SCS / DRG	ზურგის ტვინის სტიმულაცია / ზურგის ფესვის განგლიონი
MVD	მიკროვასკულური დეკომპრესია
MRgFUS	MRI-ით მართული ფოკუსირებული ულტრაბგერა
LITT	ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია
SEEG	სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია
VNS / RNS	ცდომილი ნერვის სტიმულაცია / საპასუხო ნეიროსტიმულაცია
ANT / CM	თალამუსის წინა / ცენტრომედიანური ბირთვი
OCD / ERP	ობსესიურ-კომპულსიური აშლილობა / ექსპოზიცია და რეაქციის პრევენცია
BCI	ტვინი–კომპიუტერის ინტერფეისი

ტერმინი	განმარტება
UWS / MCS	უპასუხო სიფხიზლის სინდრომი / მინიმალური ცნობიერების მდგომარეობა

DRG — უკანა ფესვის განგლიონი

ტერმინები და აბრევიატურები

DREZ — უკანა ფესვის შესვლის ზონა

SCS — ზურგის ტვინის სტიმულაცია

PNS — პერიფერიული ნერვის სტიმულაცია

MVD — მიკროვასკულური დეკომპრესია

DBS — ღრმა ტვინის სტიმულაცია

MCS — მოტორული ქერქის სტიმულაცია

IT — ინტრათეკალური

PAG — წყალსადენის გარშემო რუხი ნივთიერება

ACC — წინა სარტყლისებრი ქერქი

OCD — ობსესიურ-კომპულსიური აშლილობა

ძირითადი აბრევიატურები

ERP — ექსპოზიცია და რეაქციის პრევენცია

CSTC — ქერქი–სტრიატუმი–თალამუსი–ქერქი

ALIC — შიგნითა კაფსულის წინა ფეხი

VC/VS — ვენტრალური კაფსულა / სტრიატუმი

NAc — აკუმბენსის ბირთვი

SCC — სუბკალოზური სარტყლისებრი უბანი

DBS — ღრმა ტვინის სტიმულაცია

VNS — ცდომილი ნერვის სტიმულაცია

BCI — ტვინი–კომპიუტერის ინტერფეისი

FES — ფუნქციური ელექტროსტიმულაცია

CED — კონვექციით გაძლიერებული მიწოდება

BBB — ჰემატოენცეფალური ბარიერი

HDE — ჰუმანიტარული გამონაკლისის მექანიზმით მოწყობილობის ნებართვა

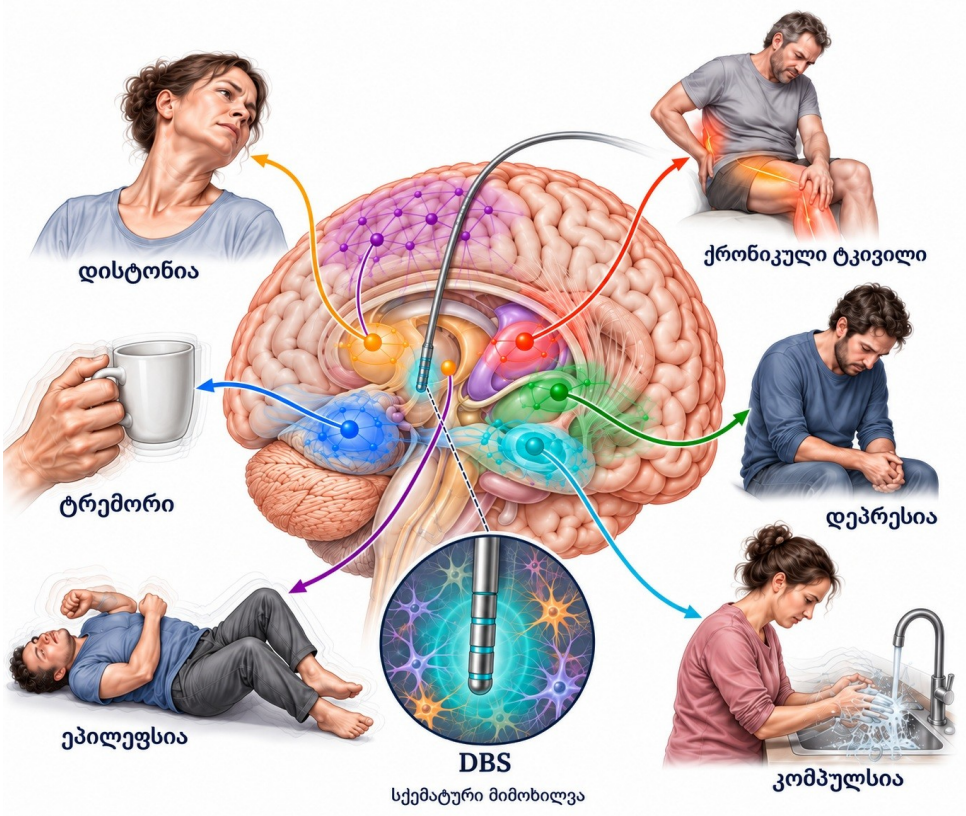
ვრცელი ილუსტრირებული ქრონოლოგია

ქვემოთ ქრონოლოგიურად არის წარმოდგენილი ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგიის განვითარების მნიშვნელოვანი მოვლენები, პიროვნებები, მოწყობილობები და კლინიკური კვლევები.

ფუნქცია და ზუსტი სამიზნე

რა არის ფუნქციური ნეიროქირურგია?

ფუნქციური ნეიროქირურგია არის ნეიროქირურგიის სუბსპეციალობა, რომელიც ნერვული სისტემის შერჩეულ სტრუქტურებსა და ქსელებზე მიზნობრივი ზემოქმედებით ამცირებს სიმპტომებს, აუმჯობესებს დარღვეულ ფუნქციასა და პაციენტის ცხოვრების ხარისხს. ალეგორიულად — ნერვული ორკესტრის აწყობა: მიზნობრივი ჩარევა ცვლის დარღვეულ რიტმსა და შეუთანხმებელ აქტივობას.



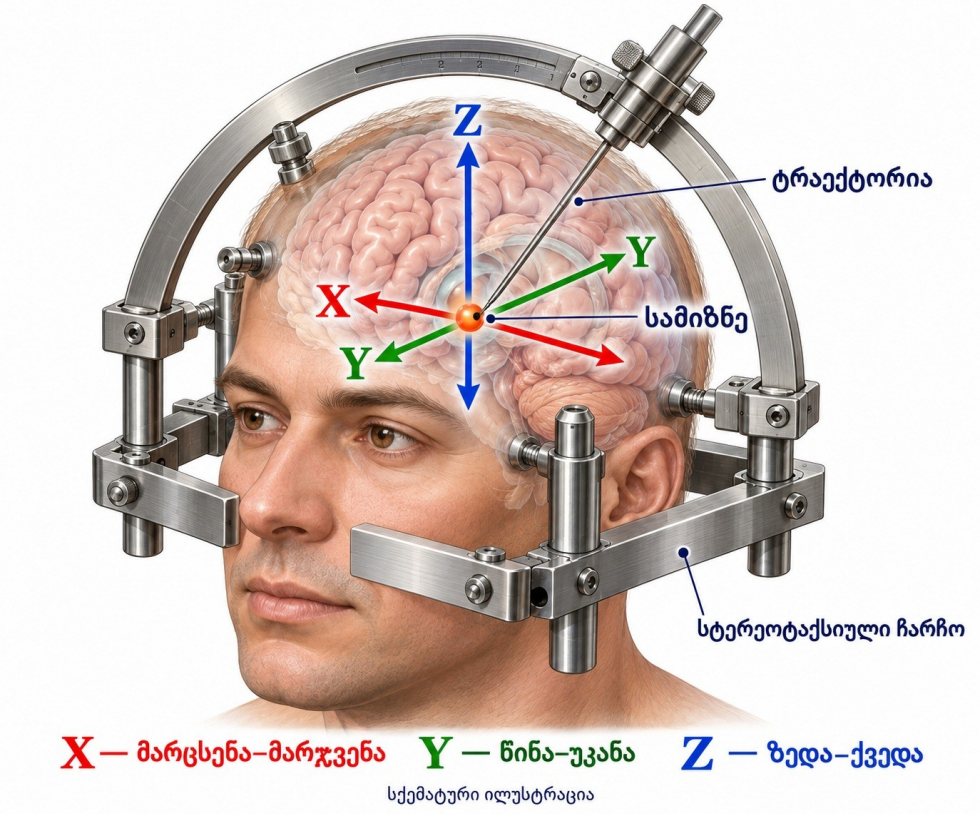
სურათი 1.2 — რა არის ფუნქციური ნეიროქირურგია?.

ორი ცნება ერთმანეთს ავსებს: სტერეოტაქსია ინსტრუმენტია (როგორ მივიდეთ), ფუნქციური ქირურგია მიზანია (რა შევცვალოთ). სტერეოტაქსია დღეს ბიოფსიასა და რადიოქირურგიაშიც გამოიყენება, ფუნქციური ქირურგიის ნაწილი კი (მაგ.

რა არის სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია?

სტერეოტაქსია: ტვინის სამიზნესთან ზუსტი მისვლა სამგანზომილებიანი კოორდინატებით. ანალოგია: განსაზღვრავს სამიზნის „მისამართს“ და ინსტრუმენტის უსაფრთხო

ტრაექტორიას. ფუნქციური ნეიროქირურგიის მიზანია დარღვეული ფუნქციის გაუმჯობესება, ხოლო სტერეოტაქსია ამ მიზნის მიღწევის ერთ-ერთი საშუალებაა — სამგანზომილებიანი კოორდინატებით განსაზღვრულ სამიზნეზე ზუსტი ზემოქმედების მეთოდი.



სურათი 1.3 — რა არის სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია?.

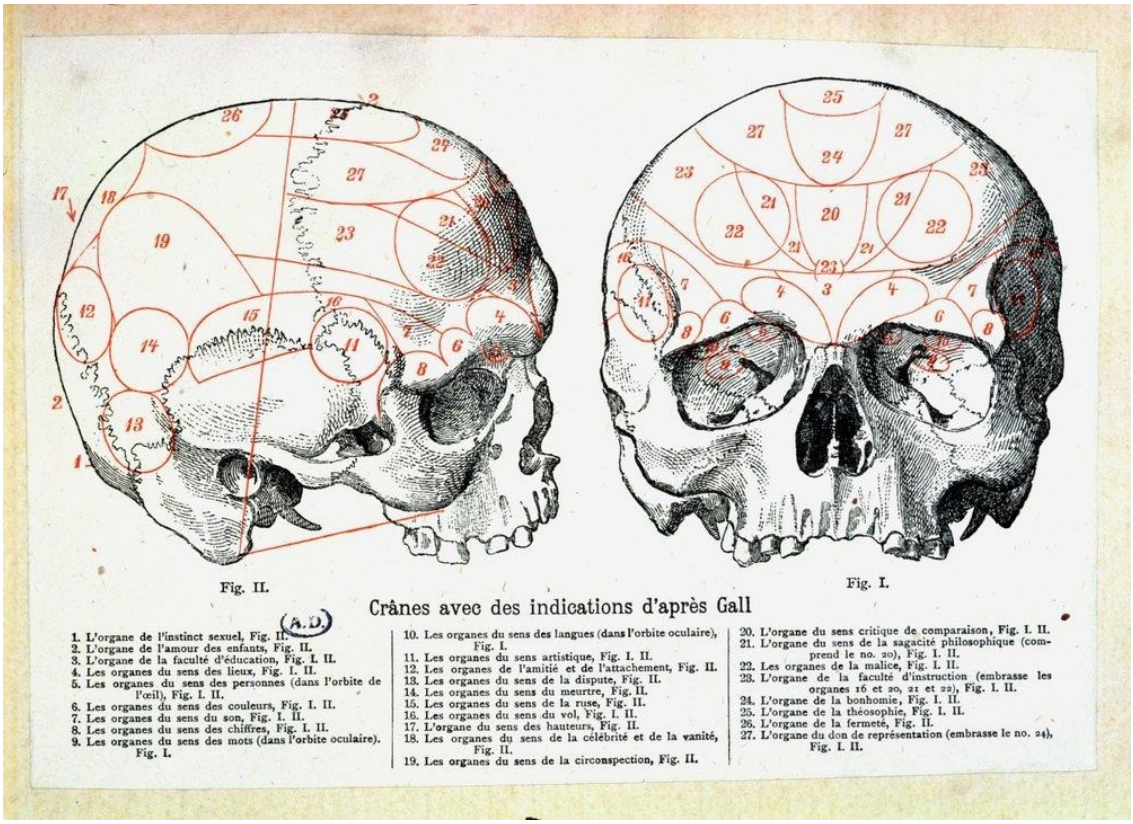
ლოკალიზაციიდან ფუნქციის შემოწმებამდე

ფრანც იოზეფ გალი - ფრენოლოგია

ფრენოლოგიური თავის რუკა (გალი) — ფუნქციათა ლოკალიზაციის ერთ-ერთი პიონერი. ქალას ფორმით ფსიქიკური თვისებების შეფასების მისი ფრენოლოგიური მეთოდი მცდარი აღმოჩნდა.



სურათი 1.4 — ფრანც იოზეფ გალი - ფრენოლოგია.



სურათი 1.5 — ფრანც იოზეფ გალი - ფრენოლოგია.

პიერ ფლურანსი: ჰოლიზმი — შეხედულება, რომლის მიხედვითაც ტვინის ფუნქციები მისი უბნების ერთობლივი მოქმედებითა და ურთიერთქმედებით აიხსნება. პიერ ფლურანსის

პორტრეტი — François Joseph Heim, ლუვრის კოლექცია. მელოდიას მთელი ორკესტრი ქმნის, თუმცა თითოეულ ინსტრუმენტს თავისი როლი აქვს.



სურათი 1.6 — XIX საუკუნის დასაწყისი.



სურათი 1.7 — XIX საუკუნის დასაწყისი.

ჰოლიზმი თუ ლოკალიზაცია?

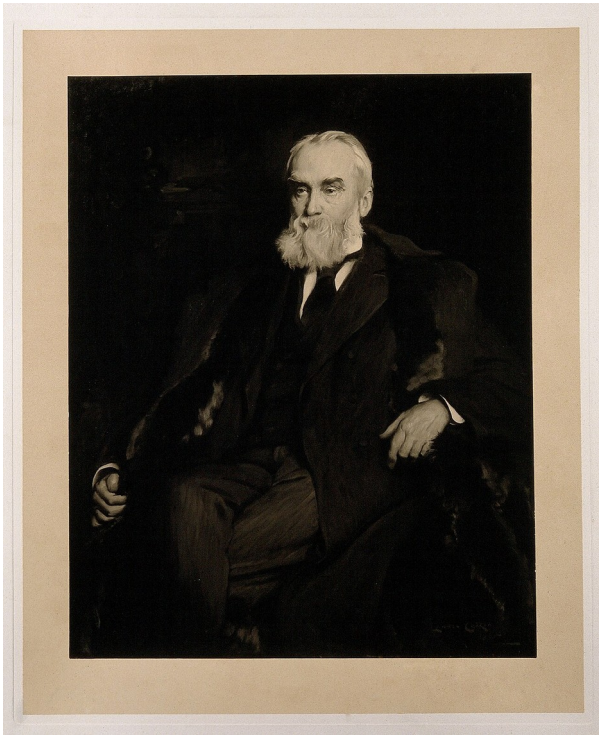
ჯონ ჰიულინგს ჯექსონის პორტრეტი

ჰოლიზმი: აქცენტი ტვინის მთლიანობასა და მისი ნაწილების ერთობლივ მოქმედებაზე. ლოკალიზაცია: სხვადასხვა ფუნქციის დაკავშირება ტვინის განსაზღვრულ უბნებთან.

ჯონ ჰიულინგს ჯექსონი

მოძრაობათა წარმოდგენა ტვინში ორგანიზებულია როგორც რეგიონულად, ისე იერარქიულად — ნერვული სისტემის სხვადასხვა დონე ურთიერთდაკავშირებულად მოქმედებს.

Nota bene უბნების სპეციალიზაცია და მათი ერთობლივი მუშაობა ერთმანეთს არ გამორიცხავს.



სურათი 1.8 — ჰოლიზმი თუ ლოკალიზაცია?.

ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია

კარლ ვერნიკესა და პოლ ბროკას პორტრეტები

1874, კარლ ვერნიკე: სენსორული აფაზია: მეტყველების გაგების დარღვევა საფეთქლის ზემო ხვეულის უკანა ნაწილის დაზიანებისას. 1861, პოლ ბროკა: პაციენტი ლებორნი („ტან“) მეტყველების უნარს მოკლებული იყო. აუტოფსიამ მარცხენა შუბლის ქვედა ხვეულის უკანა ნაწილის დაზიანება აჩვენა.

ლებორნის ტვინი (მუზეუმის პრეპარატი)

დასკვნა: რთული ფუნქცია ქერქის კონკრეტულ უბანს უკავშირდება; არსებობს დომინანტური ნახევარსფერო.



სურათი 1.9 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია.



სურათი 1.10 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია.

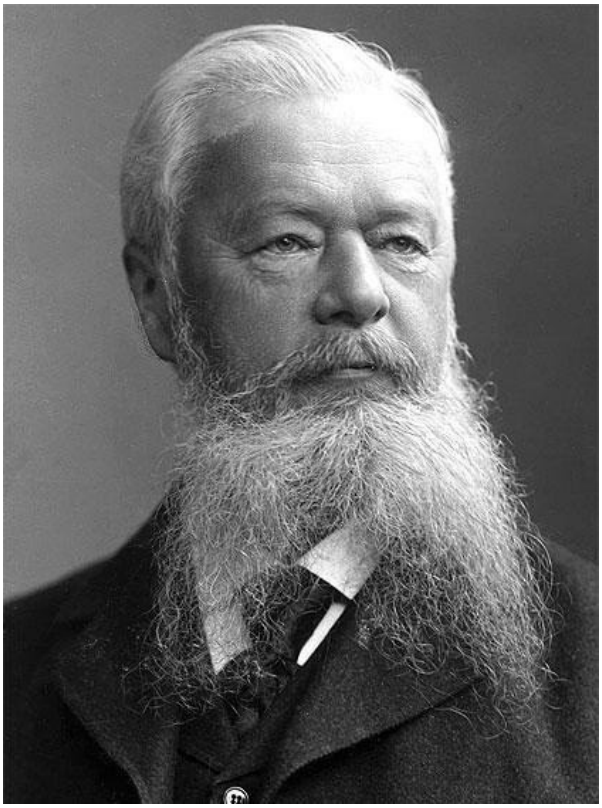


სურათი 1.11 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია.

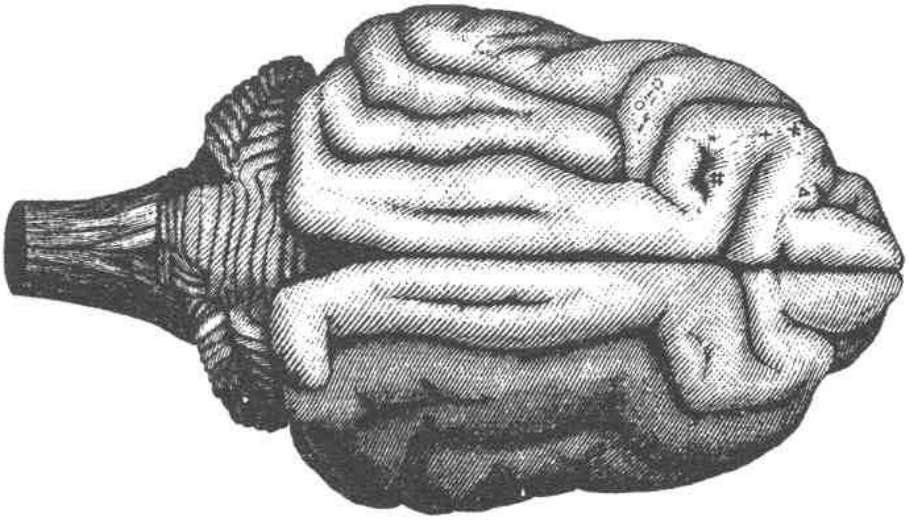
1870, ფრიჩი და ჰიციგი: ძაღლის ქერქის გალვანური სტიმულაციით კონტრალატერალური კიდურების მოძრაობა გამოიწვიეს. ასე აღმოაჩინეს მოტორული ქერქი.

ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“

ფრიჩისა და ჰიციგის მიერ ძაღლის ქერქზე მონიშნული სტიმულაციის უბნები



სურათი 1.12 — 1861 · 1874.



სურათი 1.13 — 1861 · 1874.



სურათი 1.14 — 1861 · 1874.

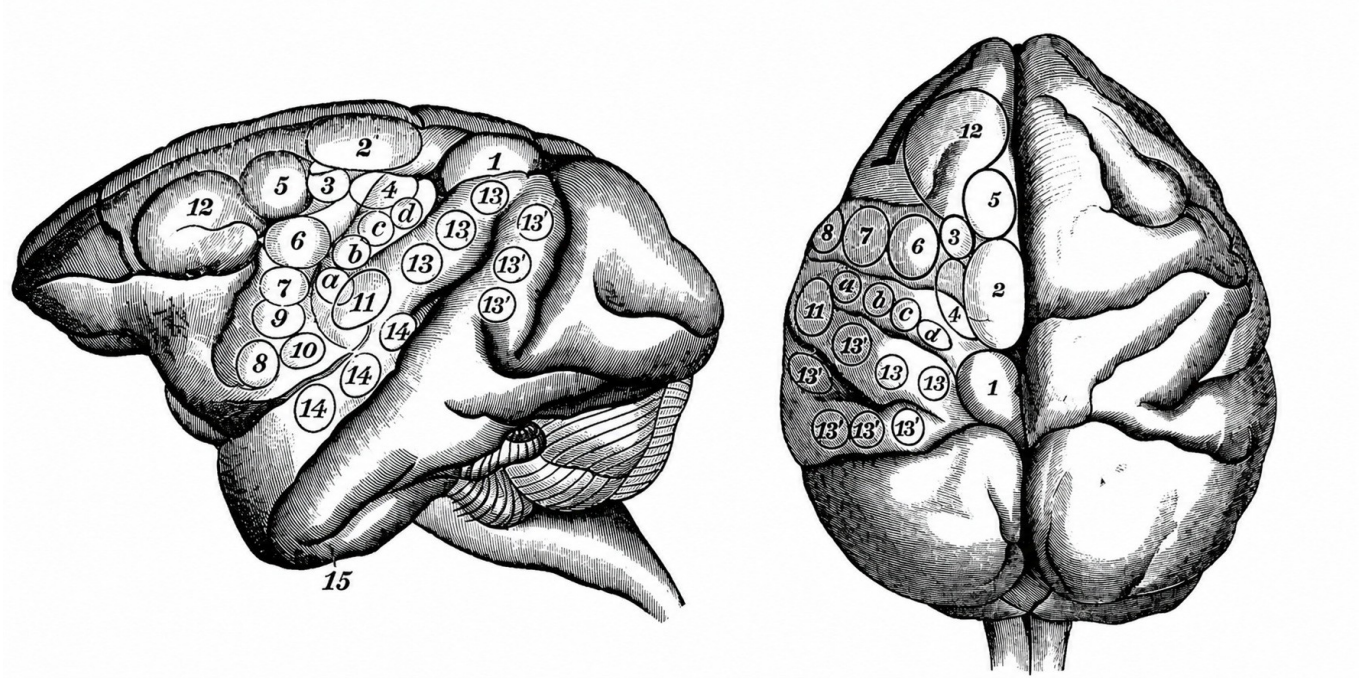
ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“

1870–1876

1873–1876, დევიდ ფერიერი: მაიმუნის ქერქის დეტალური ფუნქციური რუკა; წიგნი „The Functions of the Brain“. ფერიერის მოტორული რუკა მაიმუნის ტვინზე — გამოცემა „Cerebral Localization“, 1890.



სურათი 1.15 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“.



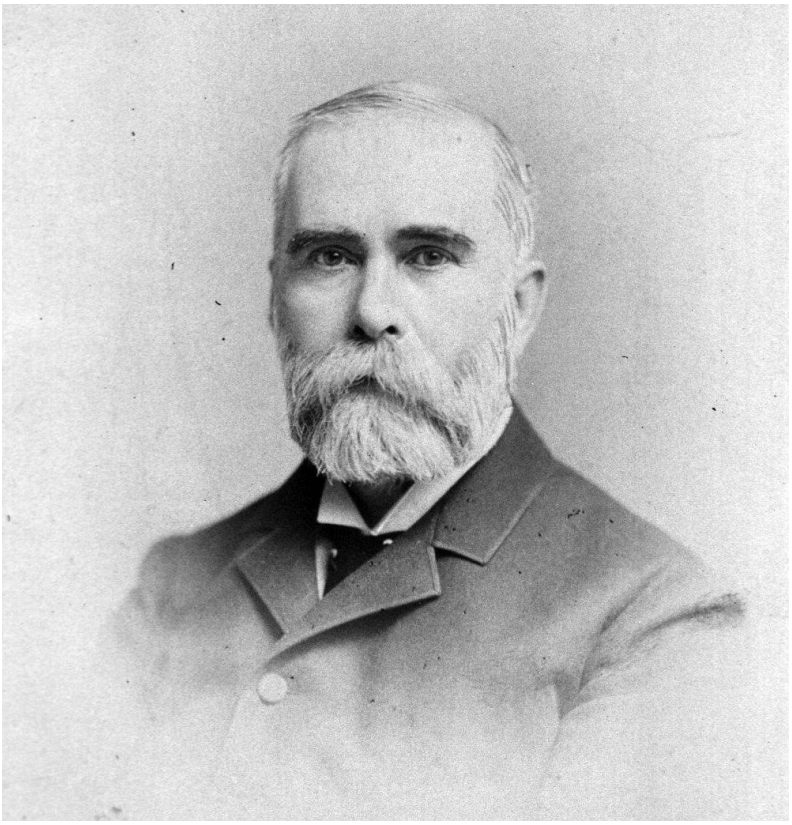
სურათი 1.16 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“.

ბართოლოუს შემთხვევა (პაციენტი მერი რაფერტი) სამედიცინო ეთიკის ისტორიაში ადრეული მაგალითია ექსპერიმენტისა, რომელსაც თანხმობა და თერაპიული მიზანი აკლდა.

ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“

1874, რობერტს ბართოლოუ: (ცინცინატი) ადამიანის ქერქის პირველი სტიმულაცია თავის ქალის დეფექტის მქონე პაციენტზე. ეთიკურად მძიმე, კრიტიკული შემთხვევა. სტიმულაციამ

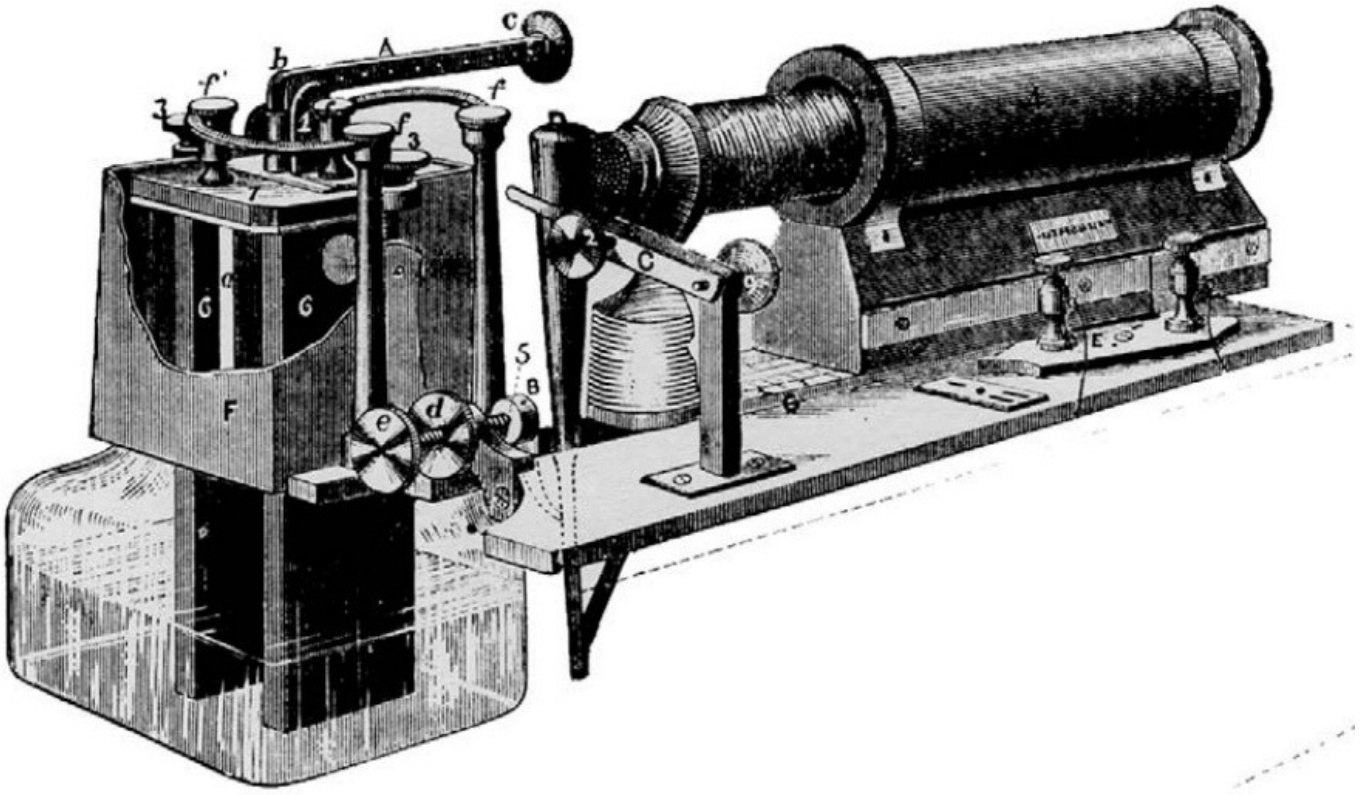
ფუნქციის პირდაპირი შემოწმება შესაძლებელი გახადა. ეს არის ინტრაოპერაციული კარტირებისა და DBS-ის წინაპირობა. ადრეული ელექტროსტიმულატორი: ბატარეისა და ინდუქციური კოჭების საშუალებით წარმოქმნიდა განმეორებად ელექტრულ იმპულსებს და ელექტროდებით აწვდიდა ქსოვილს — ნერვების ან კუნთების გასააქტიურებლად.



სურათი 1.17 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“.



სურათი 1.18 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“.

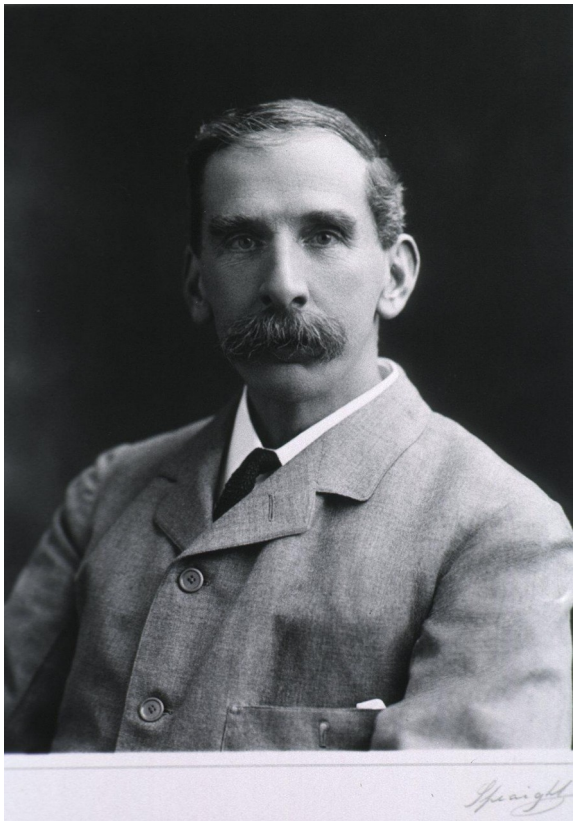


სურათი 1.19 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“.

ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი

სერ ვიქტორ ჰორსლის პორტრეტი

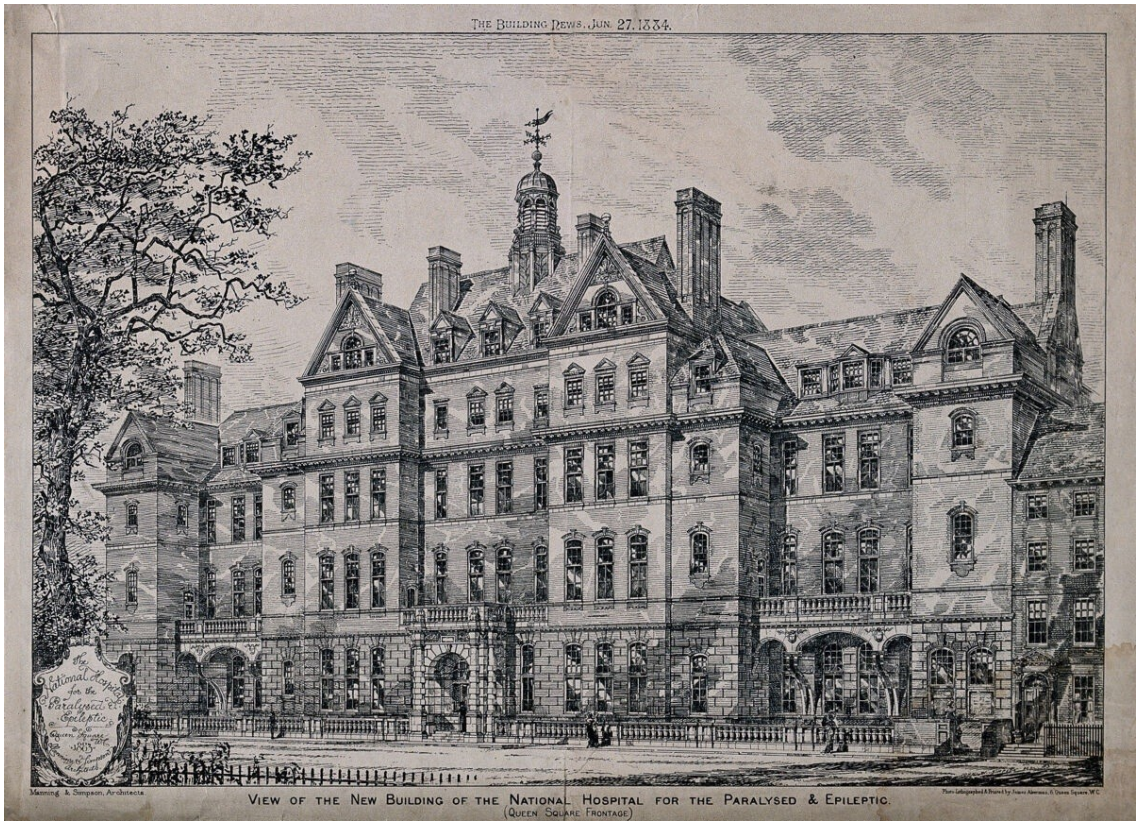
25 მაისი, 1886: National Hospital, Queen Square: პოსტტრავმული ეპილეფსიის კერის რეზექცია. პაციენტი ჯექსონმა და ფერიერმა შეარჩიეს. ლოკალიზაცია: გულყრის კლინიკური სურათით, ვიზუალიზაციის გარეშე. 1886 წელს ჰორსლიმ სამი ასეთი ოპერაცია ჩაატარა. 1909: მოტორული ქერქის ექსციზია ათეტოზის სამკურნალოდ, მოძრაობის დარღვევის ერთ-ერთი პირველი „ფუნქციური“ ოპერაცია. სიმბოლური კავშირი: იგივე ჰორსლი სტერეოტაქსიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი გახდა (1908).



სურათი 1.20 — ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი.

ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი

National Hospital, Queen Square — ისტორიული ფოტოლითოგრაფია. ვიქტორ ჰორსლიმ 1886 წელს ეპილეფსიის ქირურგიული მკურნალობა დაიწყო.

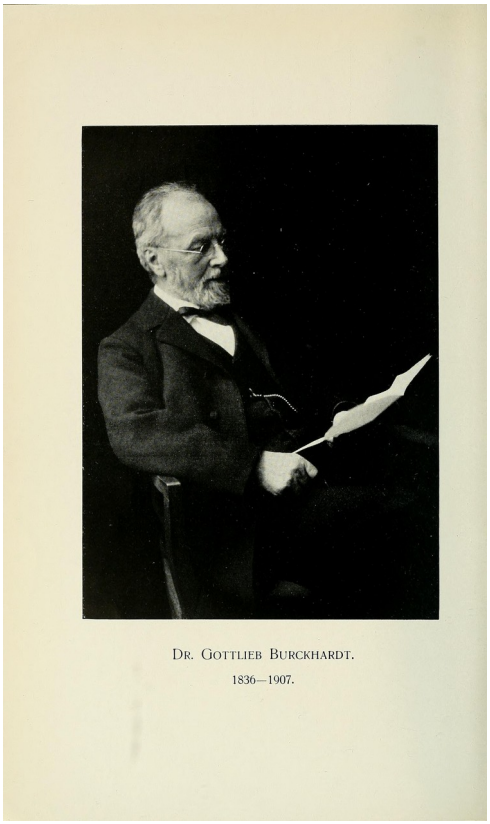


სურათი 1.21 — ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი.

გოტლიბ ბურკჰარდტი: ფსიქოქირურგიის პირველი ცდა

გოტლიბ ბურკჰარდტის პორტრეტი, (1836–1907) — ფსიქოქირურგიის პიონერი“. პორტრეტი გამოქვეყნებულია Neurosurgical Focus-ის ისტორიულ მიმოხილვაში

ტოპექტომია: პრეფარჟიეს ფსიქიატრიულ საავადმყოფოში 6 პაციენტს ქერქის უბნები ამოუკვეთა აგზნების, ჰალუცინაციების და აგრესიის შესამცირებლად. შედეგი: არაერთგვაროვანი: ზოგი პაციენტი დამშვიდდა, ერთი გარდაიცვალა, ზოგს გულყრები განუვითარდა. რეაქცია: 1891 წლის პუბლიკაცია კოლეგებმა მკაცრად გააკრიტიკეს და მეთოდი მიტოვებულ იქნა. გაკვეთილი: ფსიქიკური ფუნქციის ქირურგიას იმ დროს არ ჰქონდა ანატომიური და ფიზიოლოგიური საფუძველი. ეთიკური საკითხი თავიდანვე გამოჩნდა.

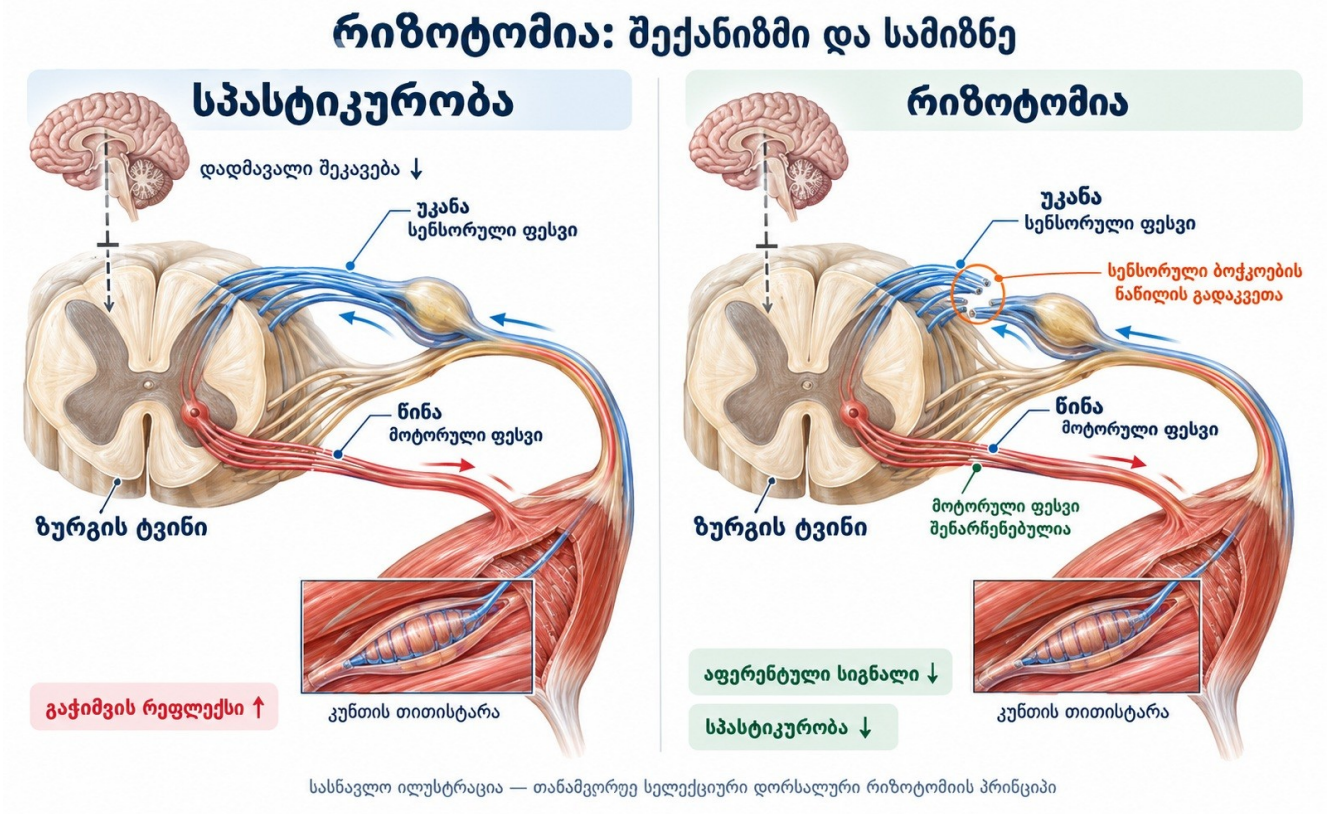


სურათი 1.22 — გოტლიბ ბურკჰარდტი: ფსიქოქირურგიის პირველი ცდა.

ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია

1889–1913

1908–1913, ოტფრიდ ფოერსტერი: უკანა (სენსორული) ფესვების რიზოტომია სპასტიურობისთვის: სტრეჩ/გაჭიმვის -რეფლექსის რკალის გაწყვეტა. ასევე დერმატომების რუკა და ქერქის სტიმულაცია ადამიანზე. 1911–1912, სპილერი და მარტინი: ანტეროლატერალური ქორდოტომია: სპინოთალამური ტრაქტის გადაკვეთა ქვედა კიდურების ტკივილისთვის. სკოლა: ფოერსტერთან (ბრესლაუ) სწავლობდა უაილდერ პენფილდი, ასე გადავიდა ტრადიცია მონრეალში.



სურათი 1.23 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.

ამ ოპერაციებში ფუნქციური ქირურგიის ძირითადი პრინციპი ჩანს: გზის გადაკვეთა სიმპტომის მოსახსნელად. ფოერსტერის რიზოტომიას 1970–80-იან წლებში ფაზანო და პიკოკი სელექციურ ფორმაში დაუბრუნდნენ (იხ.

ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია

სქემა: ზურგის ტვინის განივი ჭრილი, სპინოთალამური ტრაქტი და კორდოტომიის ხაზი

სპასტიურობის რეფლექსური რკალის სქემატური დიაგრამა.

1. კუნთების დაჭიმვა ასტიმულირებს დორსალურ (აფერენტულ) სენსორულ ნერვულ ფესვებს,
2. რაც თავის მხრივ ახდენს ზურგის ტვინის ალფა-მოტორულ ნეირონებზე წმინდა აგზნებად ეფექტს.

3. სპასტიურობის რკალი სრულდება ჰიპერსტიმულირებული ეფერენტული ვენტრალური მამოძრავებელი ფესვების მეშვეობით. 4. SDR-სელექციური დორსალური (უკანა) რიზოტომიის დროს, ცალკეული დორსალური ფესვები იზოლირებულია და 5. სტიმულირდება Peacock-ის ზონდით. ისინი, რომლებიც არასათანადო აქტივაციას იწვევენ, 6. იკვეთება.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.23.

ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია

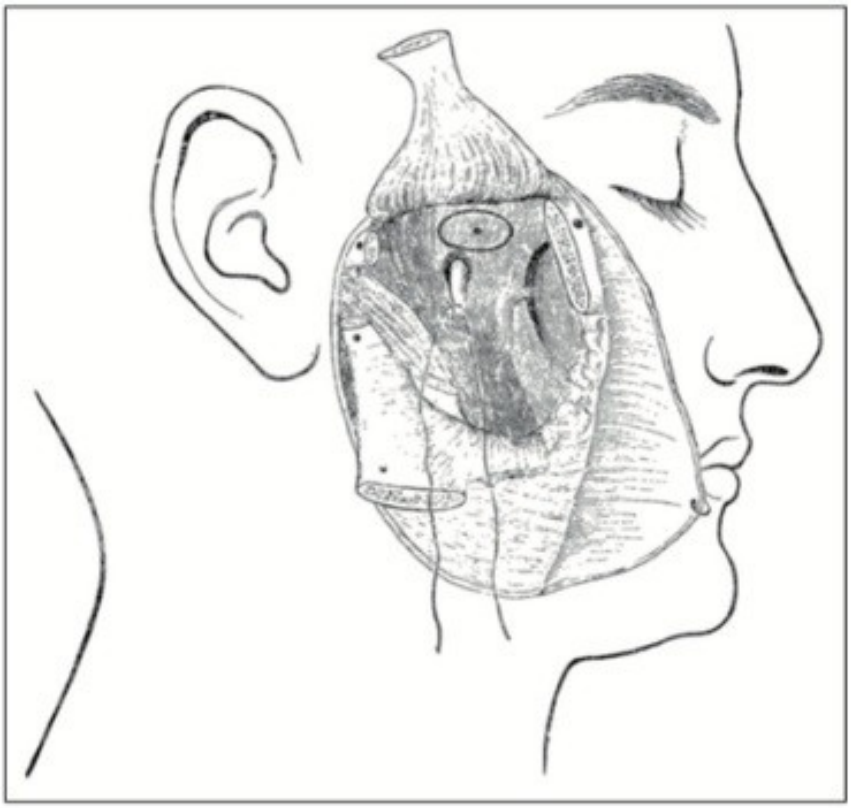
1889–1913

1901, უილიამ სპილერი და ჩარლზ ფრეიზერი: რეტროგასერული ნევროტომია სამწვერა ნერვის ნევრალგიისთვის.

სპილერმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთა სამწვერა ნერვის სენსორული ფესვის გადაკვეთის იდეა; ფრეიზერმა იგი 1901 წელს ქირურგიულად განახორციელა და შემდგომ დახვეწა



სურათი 1.24 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.



სურათი 1.25 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.

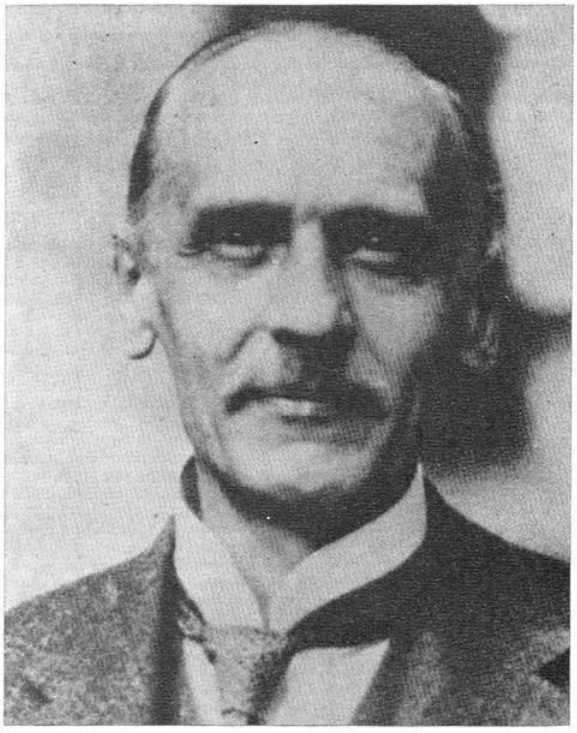


სურათი 1.26 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.

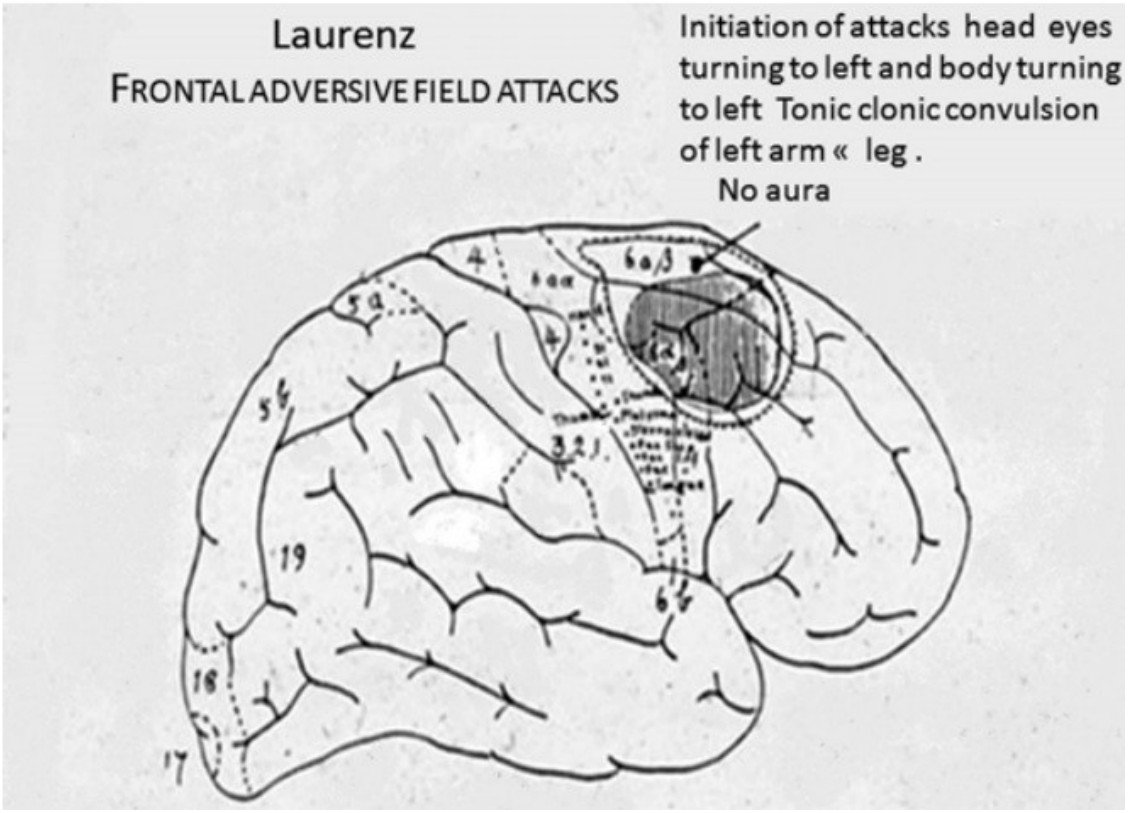
ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია

ოტფრიდ ფოერსტერის პორტრეტი

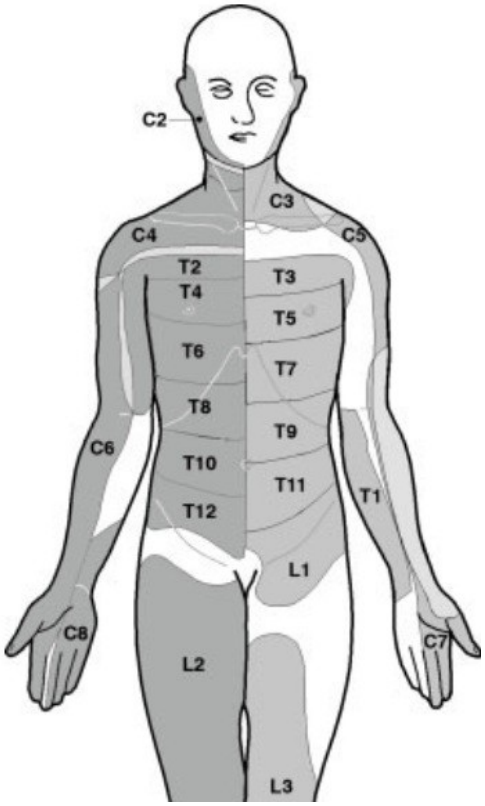
1908–1913, ოტფრიდ ფოერსტერი: უკანა (სენსორული) ფესვების რიზოტომია სპასტიურობისთვის: გაჭიმვის რეფლექსის რკალის გაწყვეტა. ასევე დერმატომების რუკა და ქერქის სტიმულაცია ადამიანზე. თავის ტვინის საოპერაციო რუკა ფიორსტერის მიხედვით, დაზიანების კერის დეტალური კარტირებით, რეზექციის (ამოკვეთის) მოცულობითა და ქერქის ელექტროსტიმულაციის შედეგებით.



სურათი 1.27 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.



სურათი 1.28 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.



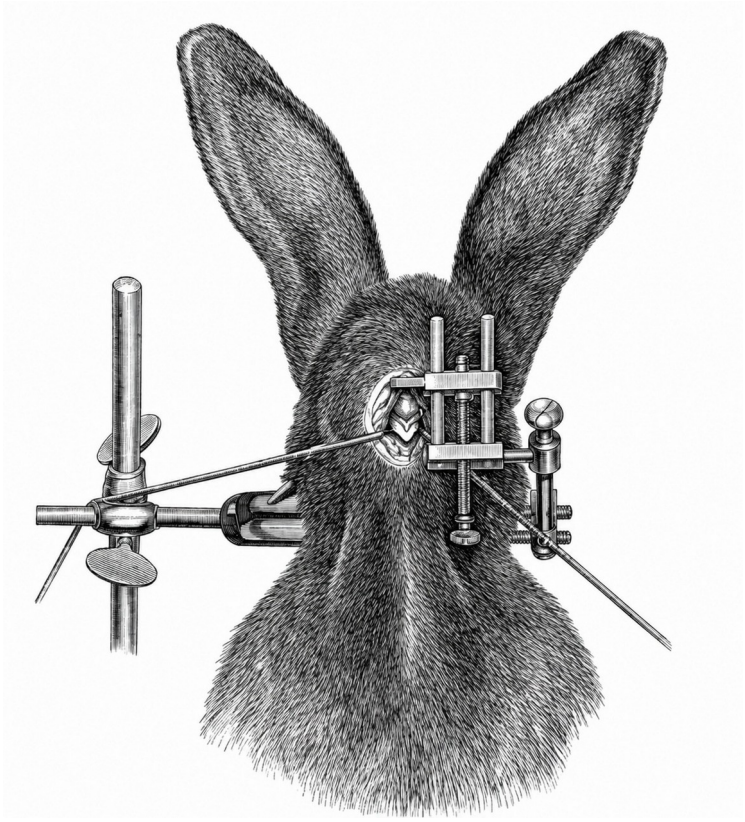
სურათი 1.29 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია.

როგორ გაჩნდა სამგანზომილებიანი დამიზნება

პირველი მიმმართველი აპარატები

1873 · 1889

1873, კარლ დიტმარი: (ლაიფციგი, კარლ ლუდვიგის ლაბორატორია) მოწყობილობა, რომლითაც ნემსი კურდღლის მოგრძო ტვინში ზუსტად შეჰყავდა.

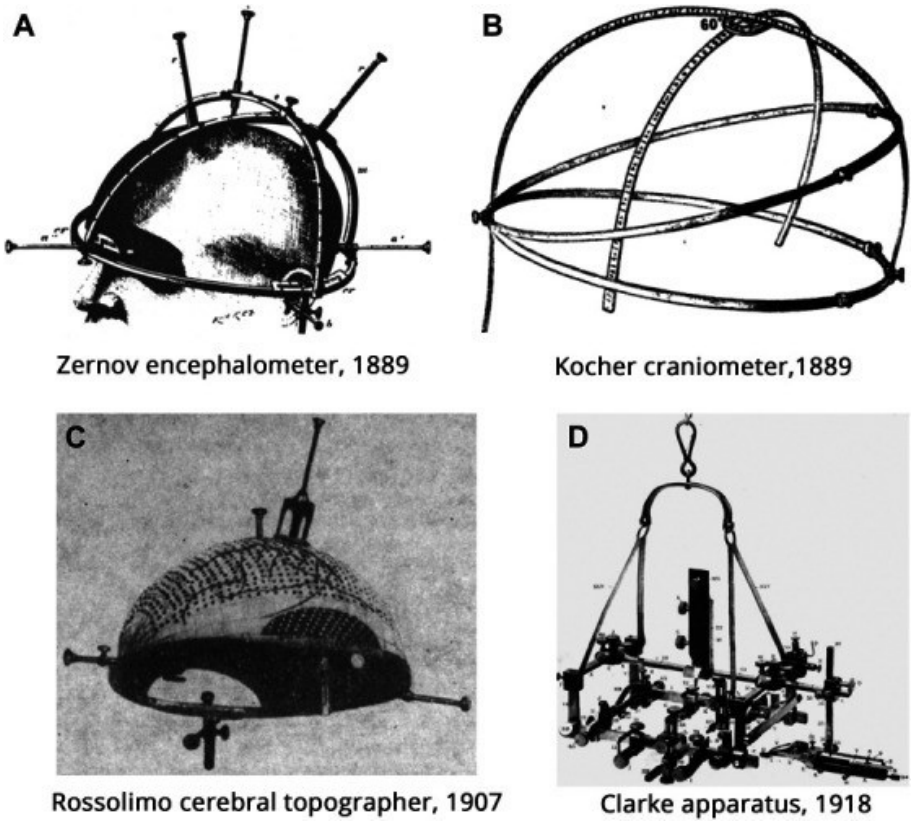


სურათი 1.30 — პირველი მიმმართველი აპარატები.

ზერნოვის აპარატი პოლარული კოორდინატების სისტემით მუშაობდა. ეს რკალის პრინციპის ადრეული ფორმაა, რომელსაც ლექსელი 60 წლის შემდეგ დაუბრუნდა.

პირველი მიმმართველი აპარატები

ზერნოვის ენცეფალომეტრი (1889) და ადრეული სამიზნე აპარატები. 1889, დმიტრი ზერნოვი: (მოსკოვი) „ენცეფალომეტრი“: რკალისებური აპარატი ქალის ზედაპირზე ღარებისა და ხვეულების პროექციისთვის. 1891: ალთუხოვმა ენცეფალომეტრი ადამიანზე, ოპერაციის დაგეგმვისას გამოიყენა. შეზღუდვა: ორივე სისტემა ქერქის ზედაპირზე ან ცხოველზე მუშაობდა; ადამიანის ღრმა სტრუქტურები მიუწვდომელი რჩებოდა.



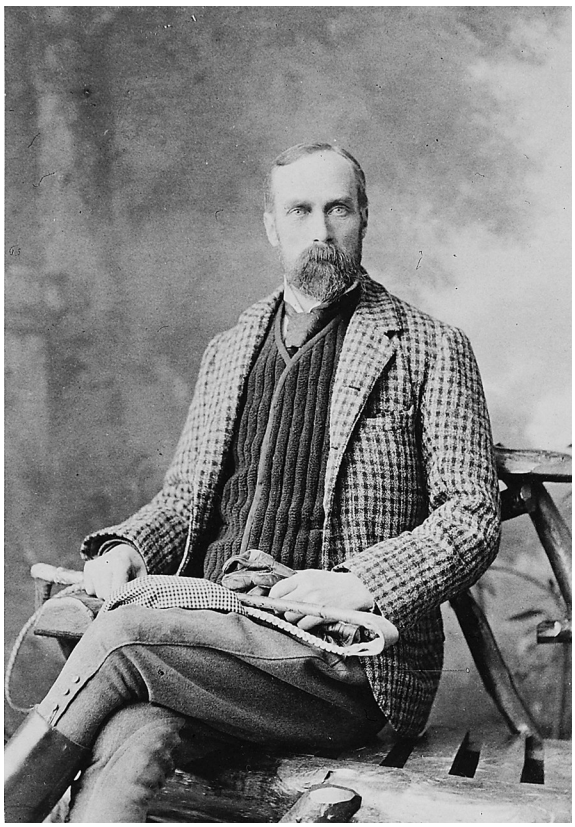
სურათი 1.31 — პირველი მიმმართველი აპარატები.

ჰორსლი-კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება

ჰორსლი–კლარკის სტერეოტაქსიული აპარატი (1908)

ავტორები: ვიქტორ ჰორსლი და რობერტ ჰენრი კლარკი. მიზანი იყო მაიმუნის ნათხემის ბირთვების ფუნქციის შესწავლა. დეკარტის კოორდინატები: პირველად: სამი ურთიერთპერპენდიკულარული სიბრტყე (ჰორიზონტალური, ფრონტალური, საგიტალური) და მათში X, Y, Z მანძილები. ორიენტირები: გარე სასმენი ხვრელები და თვალბუდის ქვედა კიდეები. ატლასი ტვინის სერიულ ანათლებზე აიგო. ჩარევა: ელექტროდით ელექტროლიზური ლეზია ან სტიმულაცია. პრინციპი (ჩარჩო + ატლასი + ელექტროდი) დღემდე უცვლელია.

ტერმინი: „stereotaxic“ ჰორსლისა და კლარკის 1908 წლის ნაშრომიდან (Brain) მოდის



სურათი 1.32 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება.

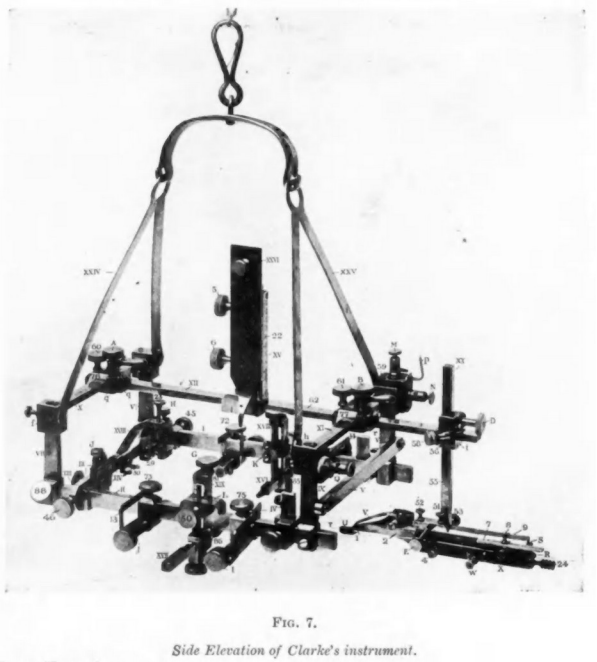
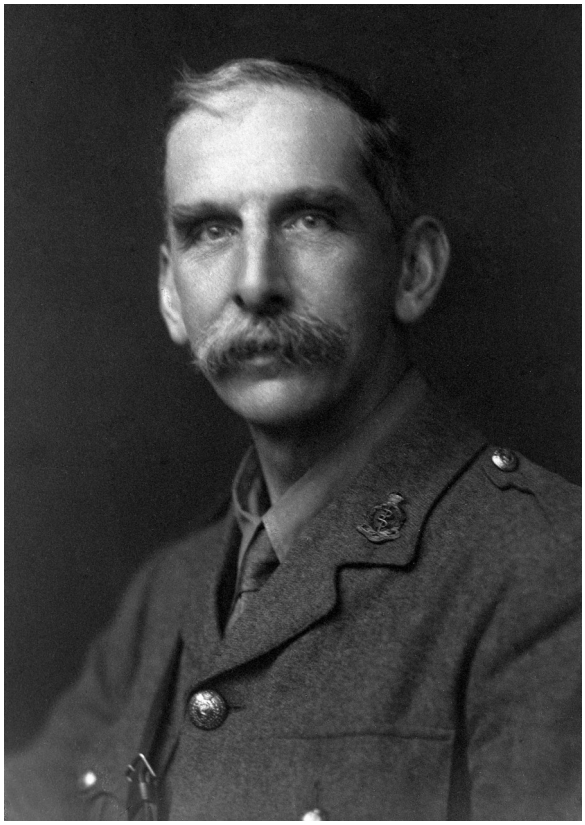


Fig. 7.

Side Elevation of Clarke's instrument.

სურათი 1.33 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება.

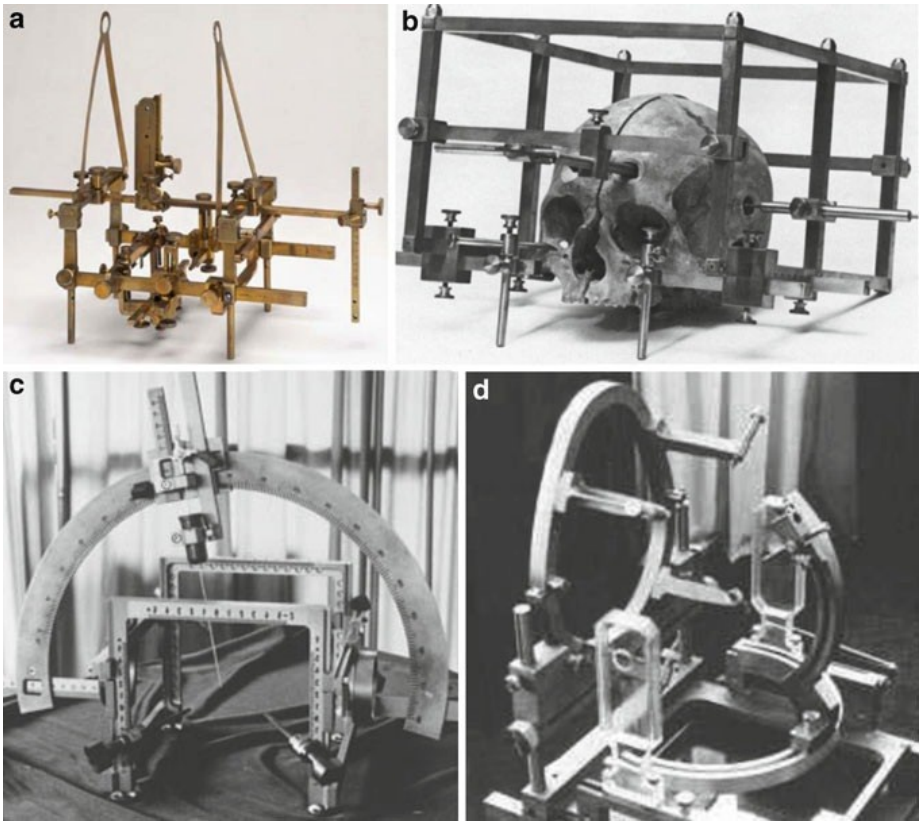


სურათი 1.34 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება.

ობრი მასენი: ადამიანის პირველი ჩარჩო

მასენის ადამიანის სტერეოტაქსიული ჩარჩო (1918)

იდეა: კანადელმა ნეიროანატომმა, კლარკის თანამშრომელმა, ჰორსლი–კლარკის პრინციპი ადამიანზე გადაიტანა: ჩარჩო და ადამიანის ტვინის ატლასი. ბედი: ნეიროქირურგებს არ დააინტერესა. აპარატი ათწლეულობით ინახებოდა და მხოლოდ 1960-იან წლებში აღმოაჩინეს. პრობლემა: ორიენტირები კვლავ ქალას გარეგანი იყო. ადამიანში მათი კორელაცია ღრმა ბირთვებთან არასაიმედოა. მნიშვნელობა: კონცეფცია დროს უსწრებდა. ტექნიკურად ადამიანის სტერეოტაქსია 1918 წლისთვის უკვე შესაძლებელი იყო.



სურათი 1.35 — ობრი მასენი: ადამიანის პირველი ჩარჩო.

ორიენტირები: რატომ დაიგვიანა ადამიანის სტერეოტაქსიამ 40 წელი?

საკვანძო პრობლემა

გარეგანი ორიენტირები (1908–1918)

ქალის ძვლოვანი ნიშნულები: სასმენი ხვრელები, თვალბუდის კიდეები

ცხოველში საკმარისი, ადამიანში ცდომილება 1 სმ-ს აღემატება

ღრმა ბირთვების (თალამუსი, ფერმკრთალი ბირთვი) მიზანში ამოღება შეუძლებელი

შიდა ორიენტირები (1947-დან)

ტვინის შიდა სტრუქტურები: III პარკუჭი, წინა და უკანა კომისურები (AC, PC)

ხილული გახდა პნევმოენცეფალოგრაფიით და ვენტრიკულოგრაფიით (დენდი, 1918–1919)

ცდომილება მილიმეტრებამდე მცირდება

ირონიულია, რომ დენდის ვენტრიკულოგრაფია (1918) იმავე წელს გამოჩნდა, როცა მასენმა ჩარჩო ააგო. ორი იდეის (ჩარჩოს და შიდა ორიენტირის) შეერთებას კიდევ 29 წელი დასჭირდა.

ორიენტირები: რატომ დაიგვიანა ადამიანის სტერეოტაქსიამ 40 წელი?

ისტორიული პნევმოენცეფალოგრამა

1908–1947: მთავარი დაბრკოლება იყო ადამიანის ტვინში სამიზნის საიმედო ლოკალიზაცია.

გარეგანი ძვლოვანი ნიშნულებიდან რენტგენზე ხილულ შიდა ორიენტირებზე გადასვლამ ზუსტი კლინიკური სტერეოტაქსია შესაძლებელი გახადა



სურათი 1.36 — ორიენტირები: რატომ დაიგვიანა ადამიანის სტერეოტაქსიამ 40 წელი?.

ფსიქოქირურგიის ისტორიული გაკვეთილი

ეგაშ მონიში და პრეფრონტალური ლეიკოტომია

ეგაშ მონიშის პორტრეტი და ლეიკოტომი

იმპულსი: 1935, II საერთაშორისო ნევროლოგიური კონგრესი (ლონდონი): ფულტონისა და იაკობსენის მონაცემები შიმპანზეების შუბლის წილის დაზიანების შემდეგ „დამშვიდებაზე“. ოპერაცია: 1935 წლის ნოემბერი: ნეიროქირურგ ალმეიდა ლიმასთან ერთად ჯერ ალკოჰოლის ინექცია შუბლის წილის თეთრ ნივთიერებაში, შემდეგ ბოჭკოების გადაკვეთა „ლეიკოტომით“. 1949: ნობელის პრემია ფიზიოლოგიასა და მედიცინაში. დღესაც ერთ-ერთი ყველაზე საკამათო პრემიაა. კონტექსტი: მონიში ცერებრული ანგიოგრაფიის (1927) ავტორიც არის, რაც ნეიროქირურგიის უდიდესი მიღწევაა.



სურათი 1.37 — ეგაშ მონიში და პრეფრონტალური ლეიკოტომია.



სურათი 1.38 — ეგაშ მონიში და პრეფრონტალური ლეიკოტომია.

ფრიმენი, უოტსი და ლობოტომიის კრიზისი

ფრიმენი ტრანსორბიტალური ლობოტომიის დროს (ისტორიული ფოტო)

1936: ნევროლოგმა უოლტერ ფრიმენმა და ნეიროქირურგმა ჯეიმს უოტსმა აშშ-ში პირველი ლობოტომია ჩაატარეს („სტანდარტული პრეფრონტალური ლობოტომია“). 1946: ფრიმენის

ტრანსორბიტალური ლობოტომია: ოპერაციულის და ხშირად ნეიროქირურგის გარეშე. უოტსი მას ამის გამო დაშორდა. მასშტაბი: მხოლოდ აშშ-ში ათიათასობით ოპერაცია. ხშირი შედეგი იყო აპათია, პიროვნების ცვლილება, გულყრები, სიკვდილი. დასასრული: 1950-იანი: ქლორპრომაზინი (1952–1954) და საზოგადოებრივი კრიტიკა. გაკვეთილი: არაზუსტი ჩარევა და სუსტი ეთიკური კონტროლი. სწორედ ამან დაიწყო ზუსტი, სტერეოტაქსიული მეთოდის ძიება.



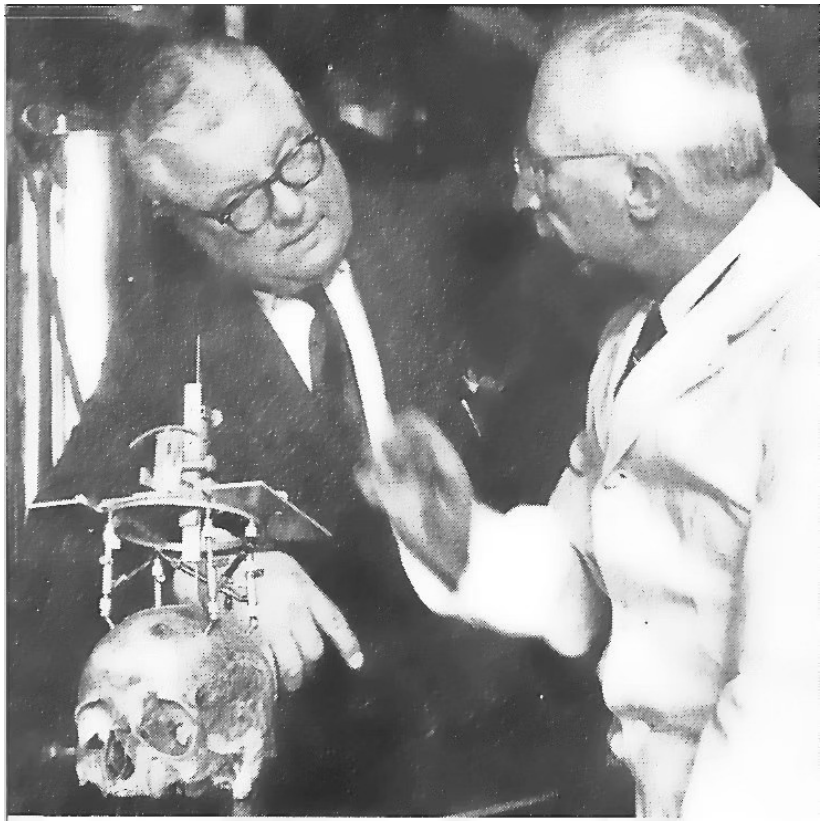
სურათი 1.39 — ფრიმენი, უოტსი და ლობოტომიის კრიზისი.

ადამიანის სტერეოტაქსია და ფუნქციური რუკები

შპიგელი და უაიკისი: ადამიანის პირველი სტერეოტაქსიული ოპერაცია

შპიგელი და უაიკისი აპარატთან ერთად

ავტორები: ერნსტ შპიგელი (ნევროლოგი, ვენიდან ემიგრირებული) და ჰენრი უაიკისი (ნეიროქირურგი), ტემპლის უნივერსიტეტი. 1947, Science: „სტერეოტაქსიური აპარატი ადამიანის ტვინზე ოპერაციებისთვის“: „სტერეოენცეფალოტომი“, თაბაშირის ჩაფხუტზე დამაგრებული. მიზანი: ლობოტომიის ნაცვლად მცირე, ზუსტი ლეზია. პირველი ოპერაციები: დორსომედიალური თალამოტომია ფსიქიატრიულ პაციენტებში, შემდეგ ტკივილი, ჰანტინგტონის ქორეა, ეპილეფსია. შიდა ორიენტირები: ეპიფიზის კალციფიკატი, შემდეგ წინა და უკანა კომისურები, პნევმოენცეფალოგრაფიით. 1952: ადამიანის პირველი სტერეოტაქსიული ატლასი „Stereoencephalotomy“.

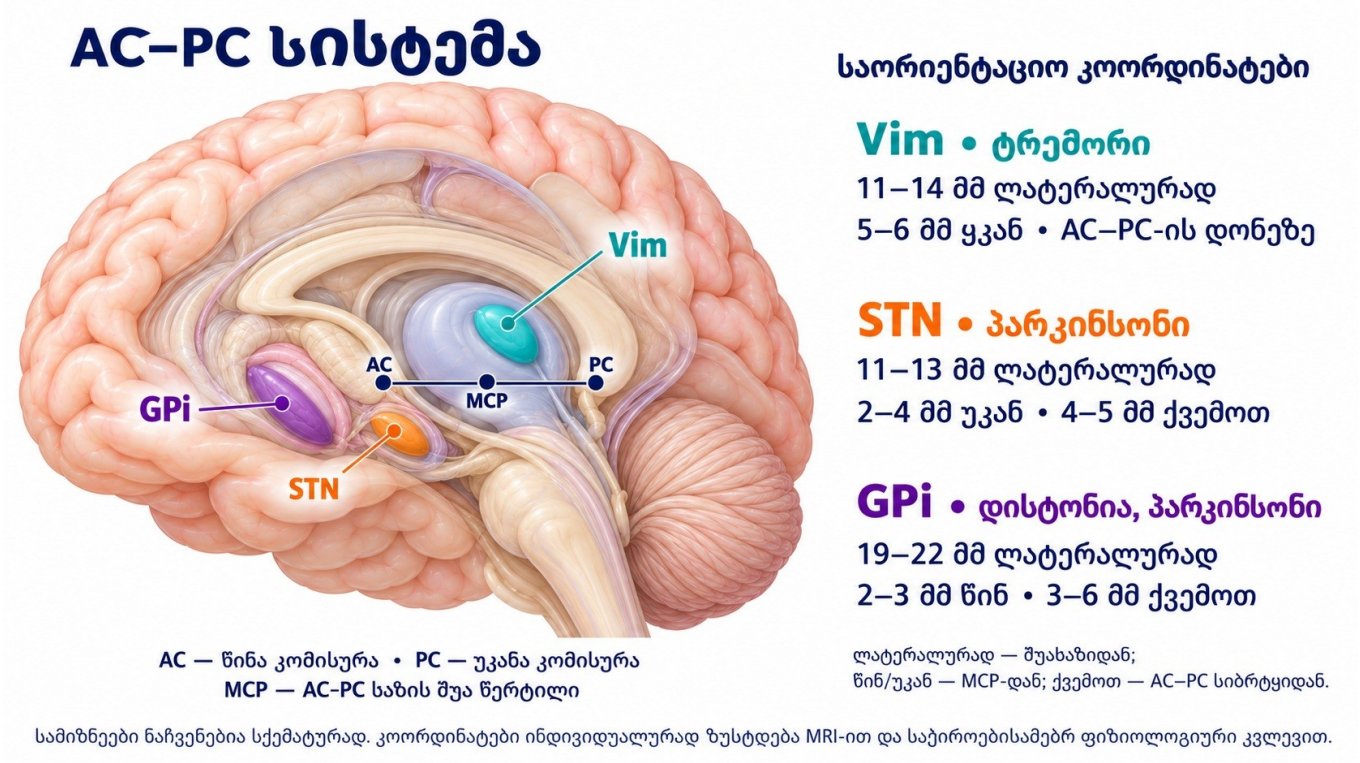


სურათი 1.40 — ერნსტ შპიგელი — ისტორიული პორტრეტი.

AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე

პრინციპი

ორიენტირი: წინა (AC) და უკანა (PC) კომისურები ყველა ადამიანში სტაბილურად მდებარეობს. მათი შემაერთებელი ხაზი (AC–PC) საშუალოდ 23–28 მმ-ია. ათვლის წერტილი: მიდკომისურული წერტილი (MCP), AC–PC ხაზის შუაში. Vim (ტრემორი): ≈ 11–14 მმ ლატერალურად, 5–6 მმ MCP-დან უკან, AC–PC-ის დონეზე. STN (პარკინსონი): ≈ 11–13 მმ ლატერალურად, 2–4 მმ უკან, 4–5 მმ ქვემოთ. GPi (დისტონია, პარკინსონი): ≈ 19–22 მმ ლატერალურად, 2–3 მმ წინ, 3–6 მმ ქვემოთ. შეზღუდვა: ინდივიდუალური ვარიაცია დიდია, ამიტომ ატლასს სჭირდება ფიზიოლოგიური დადასტურება (სტიმულაცია, მიკროელექტროდი), დღეს კი პირდაპირი MRT-ვიზუალიზაცია.

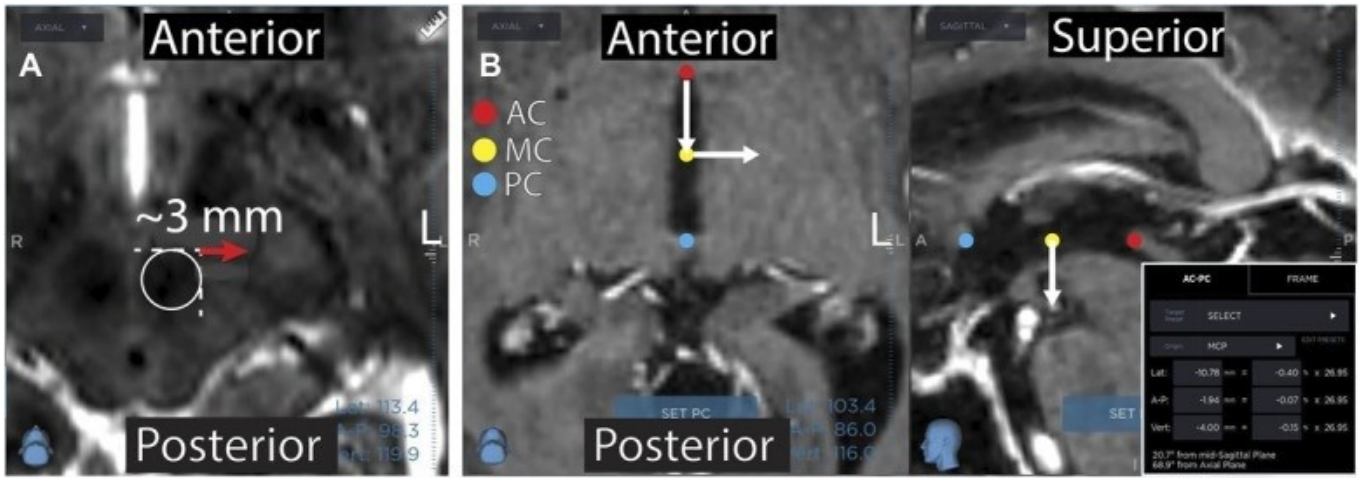


სურათი 1.41 — AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე.

კოორდინატები მიახლოებითი, სახელმძღვანელოებში გავრცელებული საშუალო მნიშვნელობებია; ლექციაზე წარმოადგინეთ როგორც „არაპირდაპირი“ (ატლასური) დამიზნება და დაუპირისპირეთ „პირდაპირს“ (MRT-ზე ხილვით).

AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე

AC–PC ხაზი, შუა კომისურული წერტილი და STN-ის სამიზნე.

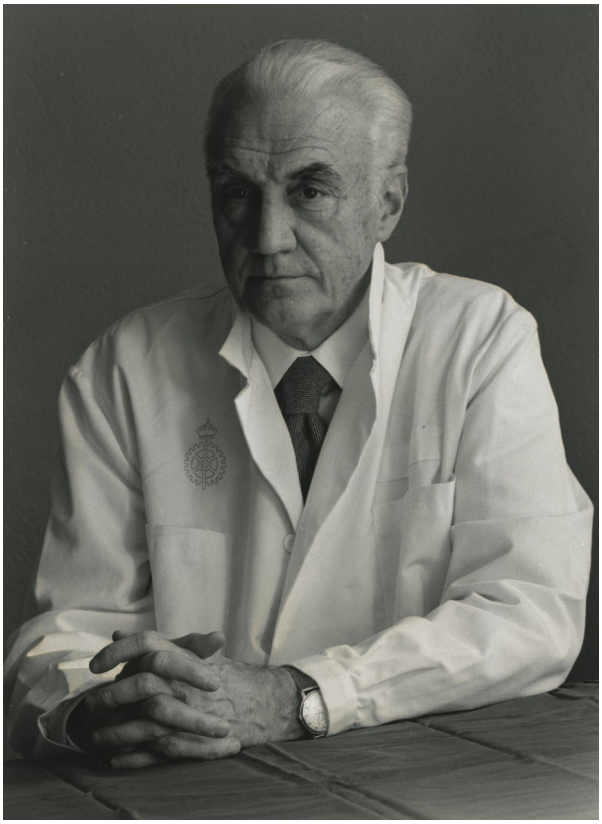


სურათი 1.42 — AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე.

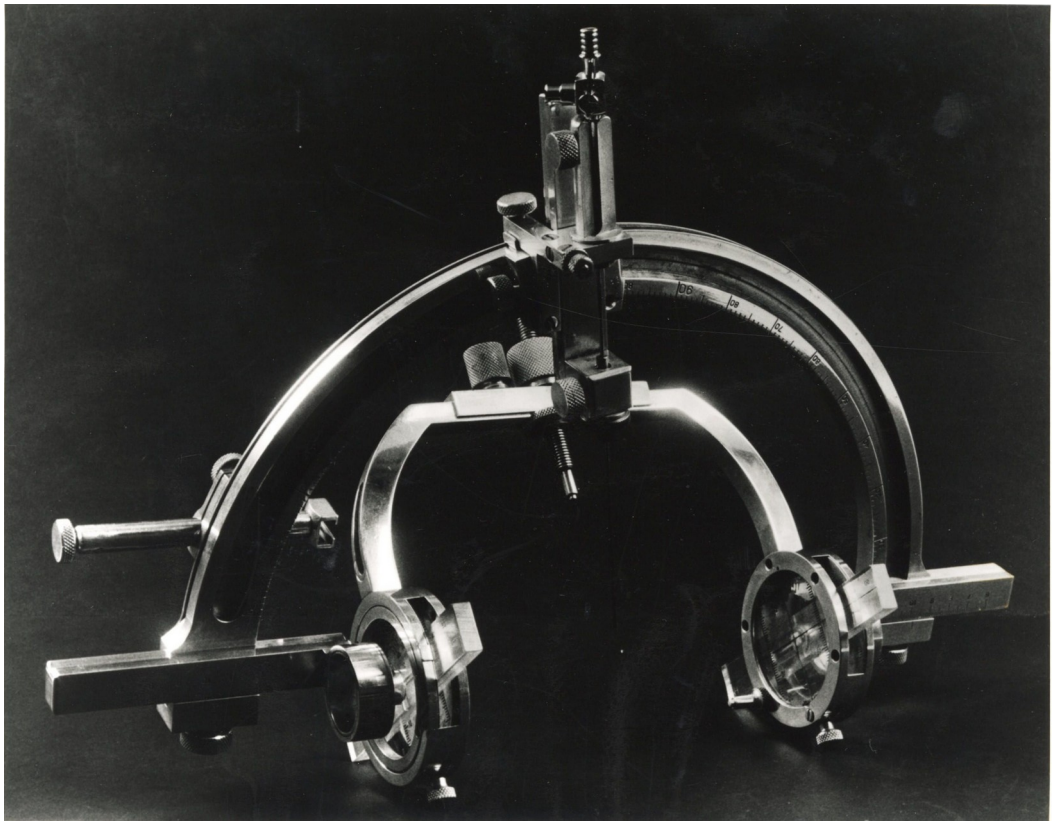
ლარს ლექსელი: რკალის პრინციპი

ლარს ლექსელის პორტრეტი და ლექსელის რკალზე ცენტრირებული ჩარჩო

რკალზე ცენტრირებული ჩარჩო: ელექტროდი რკალის რადიუსზე მოძრაობს, ამიტომ მისი წვერი ყოველთვის რკალის ცენტრში, ანუ სამიზნეში რჩება, შესვლის კუთხის მიუხედავად. უპირატესობა: ქირურგი თავისუფლად ირჩევს ტრაექტორიას ფუნქციური ზონების, პარკუჭების და სისხლძარღვების ასარიდებლად. მემკვიდრეობა: ლექსელის ჩარჩო (G მოდელი, 1980-იანი) დღესაც ყველაზე გავრცელებული სტერეოტაქსიული ჩარჩოა. სხვა წვლილი: პოსტეროვენტრალური პალიდოტომია, ანტერიორული კაპსულოტომია, ტრიგემინალური თერმოკოაგულაცია, რადიოქირურგია და გამა-დანა.



სურათი 1.43 — ლარს ლექსელი — ისტორიული პორტრეტი.



სურათი 1.44 — ლარს ლექსელი: რკალის პრინციპი.

ფრანგული სკოლა: ტალერაში და ბანკო

ჟან ტალერაში — პორტრეტი და ისტორიული SEEG საოპერაციო. ჟან ტალერაში: (სენტ-ანის საავადმყოფო) 1949 წლიდან ორთოგონალური ჩარჩო ბადისებრი ხვრელებით და ტელერენტგენოგრაფია ~5 მ მანძილიდან, გადიდების გარეშე. ატლასები: AC–PC სისტემის სისტემური დანერგვა. ტალერაში–ტურნუს ატლასი (1988) ფუნქციურ MRT-შიც გამოიყენება („Talairach space“). SEEG: ჟან ბანკოსთან ერთად სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (1950–60-იანი): ეპილეფსიური ქსელის სამგანზომილებიანი ჩაწერა სიღრმული ელექტროდებით. 1949: ტალერაში წინა კაფსულოტომიის ერთ-ერთი პირველი ავტორია.

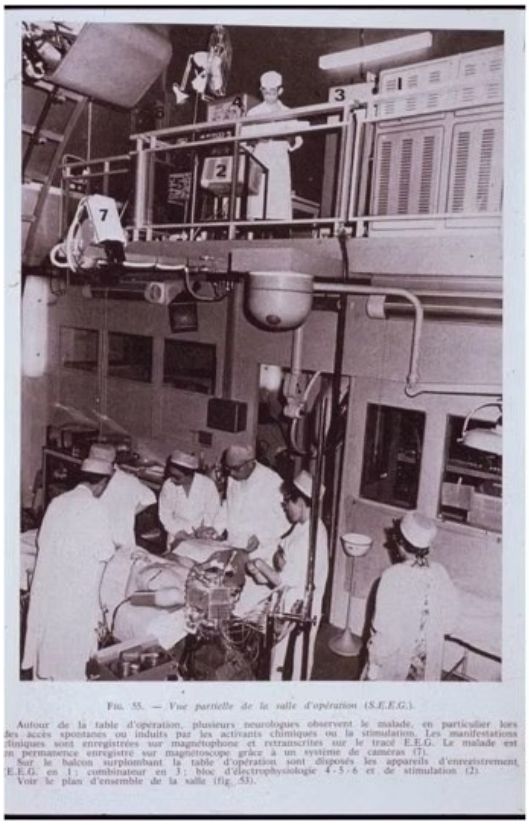


FIG. 55. — *Vue partielle de la salle d'opération (S.E.E.G.).*

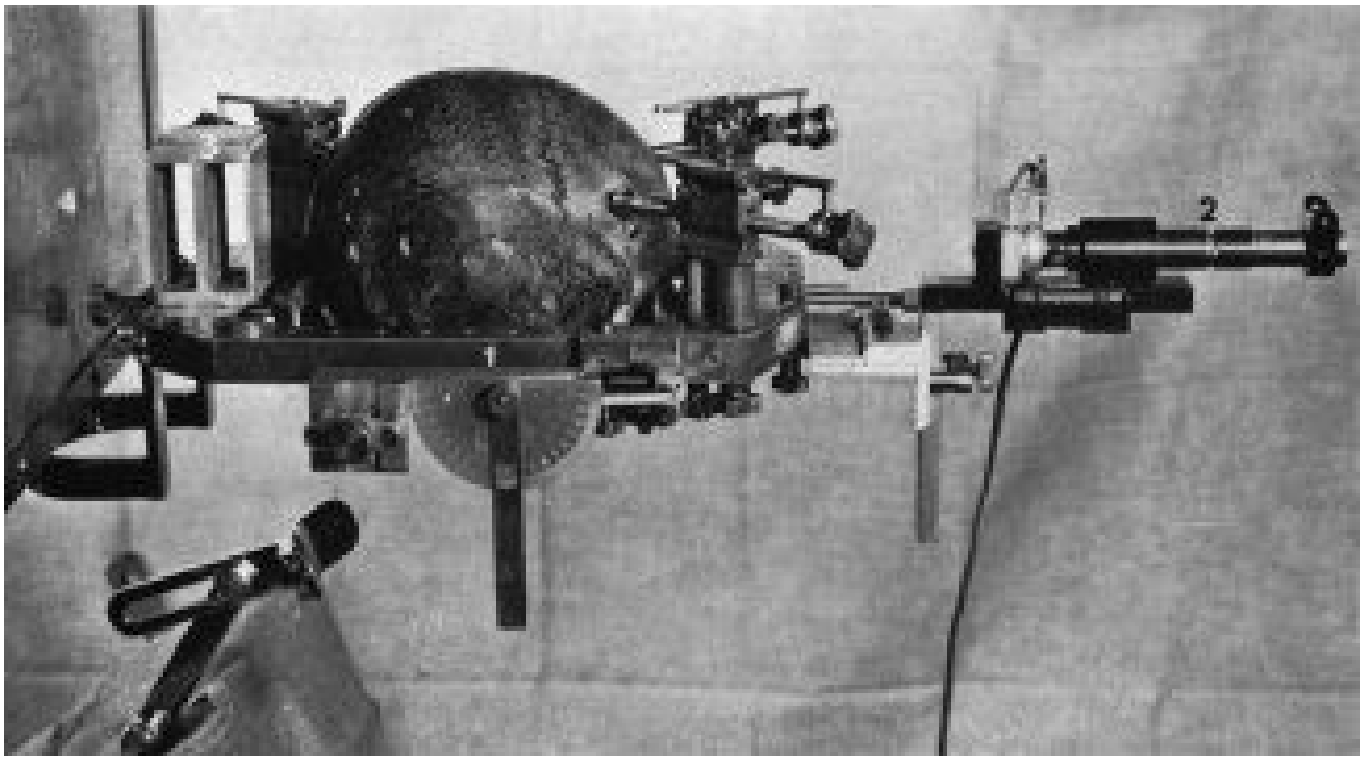
Autour de la table d'opération, plusieurs neurologues observent le malade, en particulier lors des accès spontanés ou induits par les activants chimiques ou la stimulation. Les manifestations cliniques sont enregistrées sur magnétophone et retranscrites sur le tracé E.E.G. Le malade est en permanence enregistré sur magnétoscope grâce à un système de caméras (7).
Sur le balcon surplombant la table d'opération sont disposés les appareils d'enregistrement E.E.G. en 1 ; combinateur en 3 ; bloc d'électrophysiologie 4 - 5 - 6 et de stimulation (2).
Voir le plan d'ensemble de la salle (fig. 53).



სურათი 1.45 — ჟან ტალერაში — ისტორიული პორტრეტი.

ფრანგული სკოლა: ტალერაში და ბანკო

ტალერაშის აპარატი ანატომიური და სტერეოტაქსიული კვლევებისთვის.



სურათი 1.46 — ფრანგული სკოლა: ტალერაში და ბანკო.

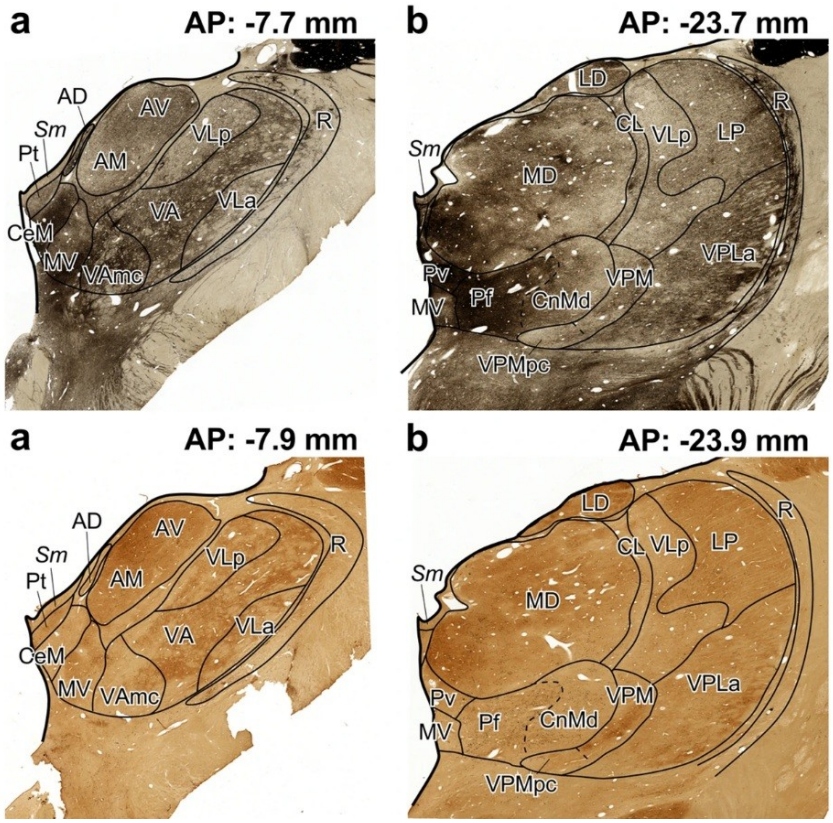
ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები

1951–1977

როლფ ჰასლერი: თალამუსის ბირთვების ციტოარქიტექტონიკა და ნომენკლატურა (Voa, Vop, Vim, Vc), დღესაც ფუნქციური ქირურგიის „ენაა“.



სურათი 1.47 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.



სურათი 1.48 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.

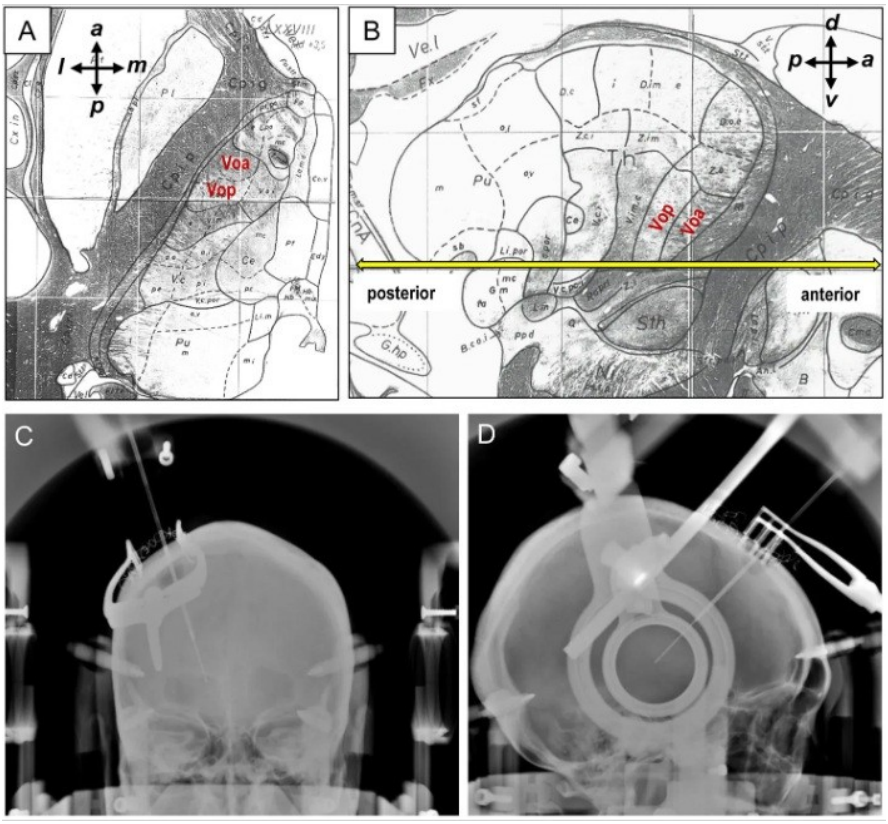
ჰასლერის ნომენკლატურა ანგლო-ამერიკულ ტერმინოლოგიას (VL, VA) ემთხვევა: მაგ. Vim დაახლოებით VL-ის უკანა ნაწილს შეესაბამება. ეს ტერმინოლოგიური „ორენოვნება“ ლიტერატურის კითხვისას მნიშვნელოვანია.

ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები

1951–1977

შალტენბრანდის ატლასები: ბეილისთან (1959) და ვარენთან (1977). შალტენბრანდ–ვარენის ატლასი დღემდე ჩაშენებულია დაგეგმვის პროგრამებში.

თალამუსის Vo ბირთვის სტერეოტაქტიკური სამიზნე და დაზიანება. (A,B) შალტენბრანდ-ვაჰრენის ატლასის აქსიალური (A) და საგიტალური (B) სიბრტყეები



სურათი 1.49 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.

ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები

1951–1977

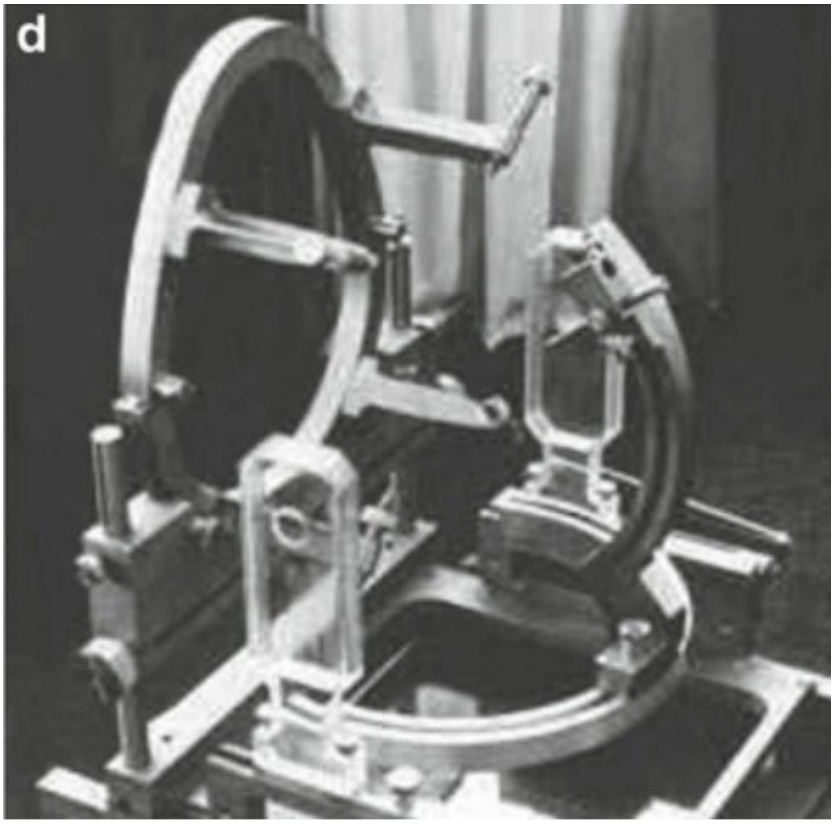
სხვა სისტემები:

ტრენტ ჰ. უელსი უმცროსი — ბიოსამედიცინო ინჟინერი იყო

თოდ–უელსის ჩარჩო: სამიზნეს რკალის ცენტრს უთავსებდნენ ფიქსირებული თავის პოზიციის რეგულირებით; ეს ინსტრუმენტის სხვადასხვა ტრაექტორიით ერთსა და იმავე სამიზნემდე მიყვანას უზრუნველყოფდა.



სურათი 1.50 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.



სურათი 1.51 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.

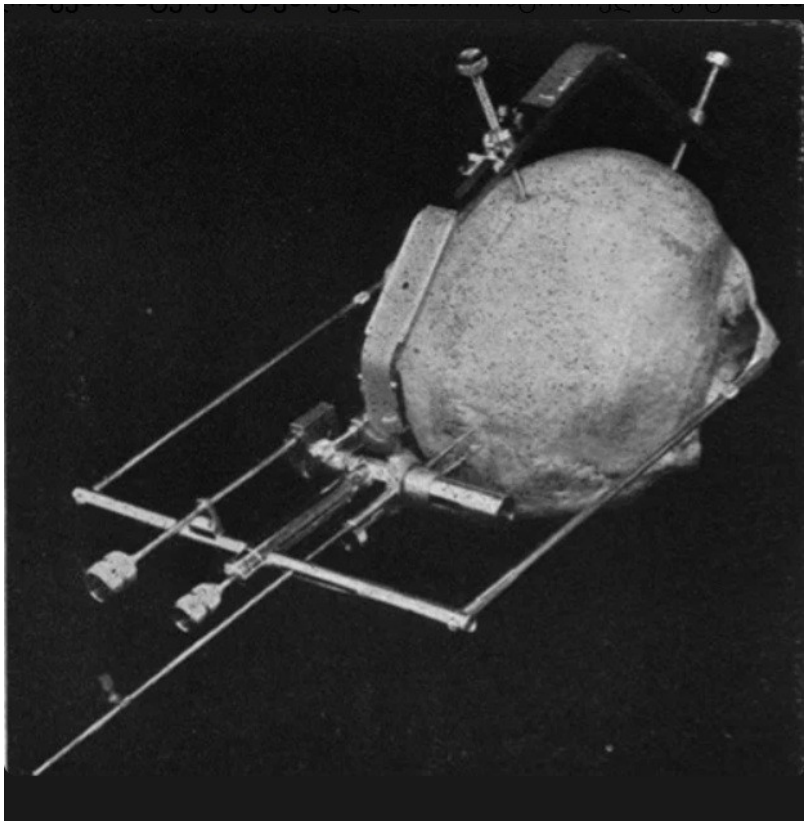
ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები

1951–1977

ჟერარ გიიომ გილინგემთნ ერთად შეიმუშავა ჩარჩო, რომლის გამოყენების მნიშვნელოვანი თავისებურება იყო თალამუსთან უკნიდან, კეფის მიდამოდან მისვლა და სამიზნის ელექტროფიზიოლოგიური დაზუსტება.



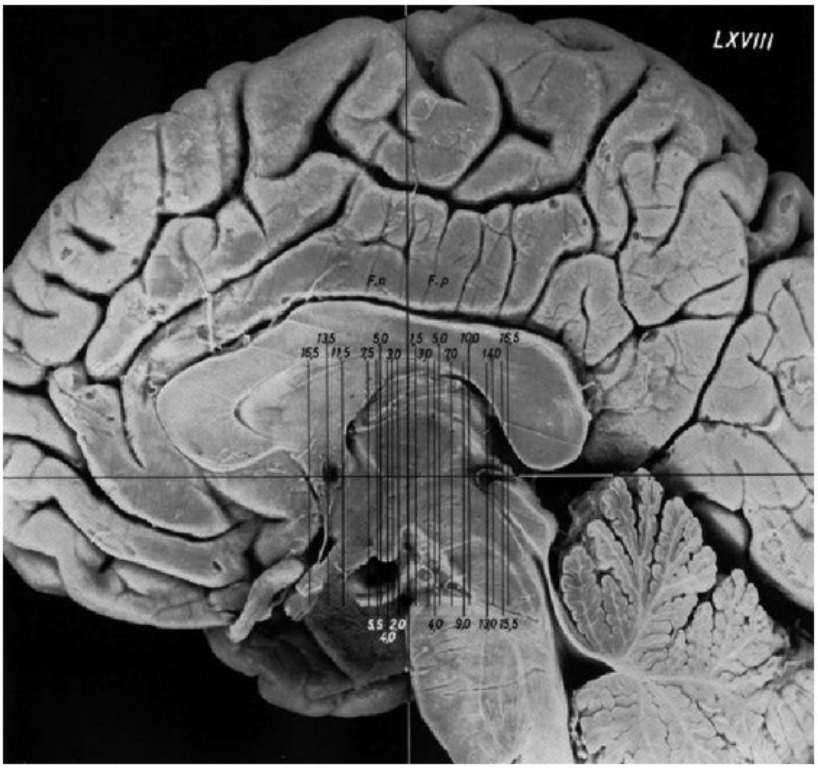
სურათი 1.52 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.



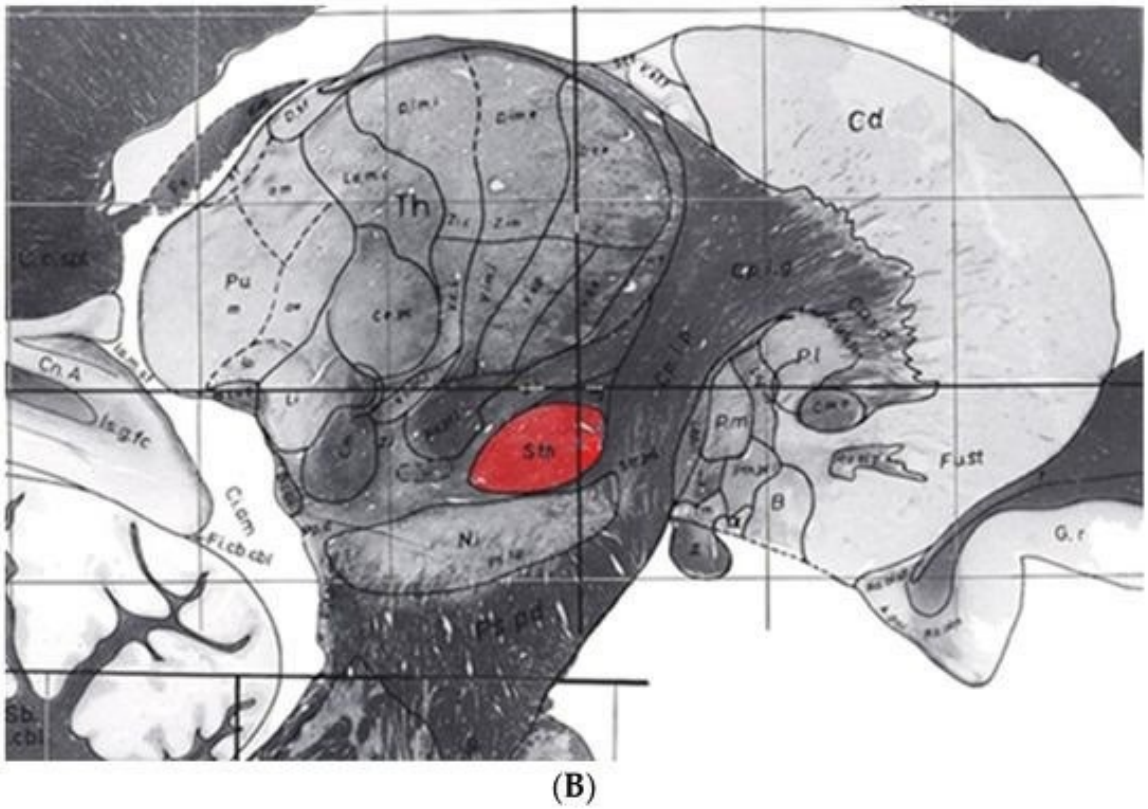
სურათი 1.53 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები.

გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები

შალტენბრანდ–ბეილის ატლასი — სტერეოტაქსიული კოორდინატები ტვინის საგიტალურ ჭრილზე.



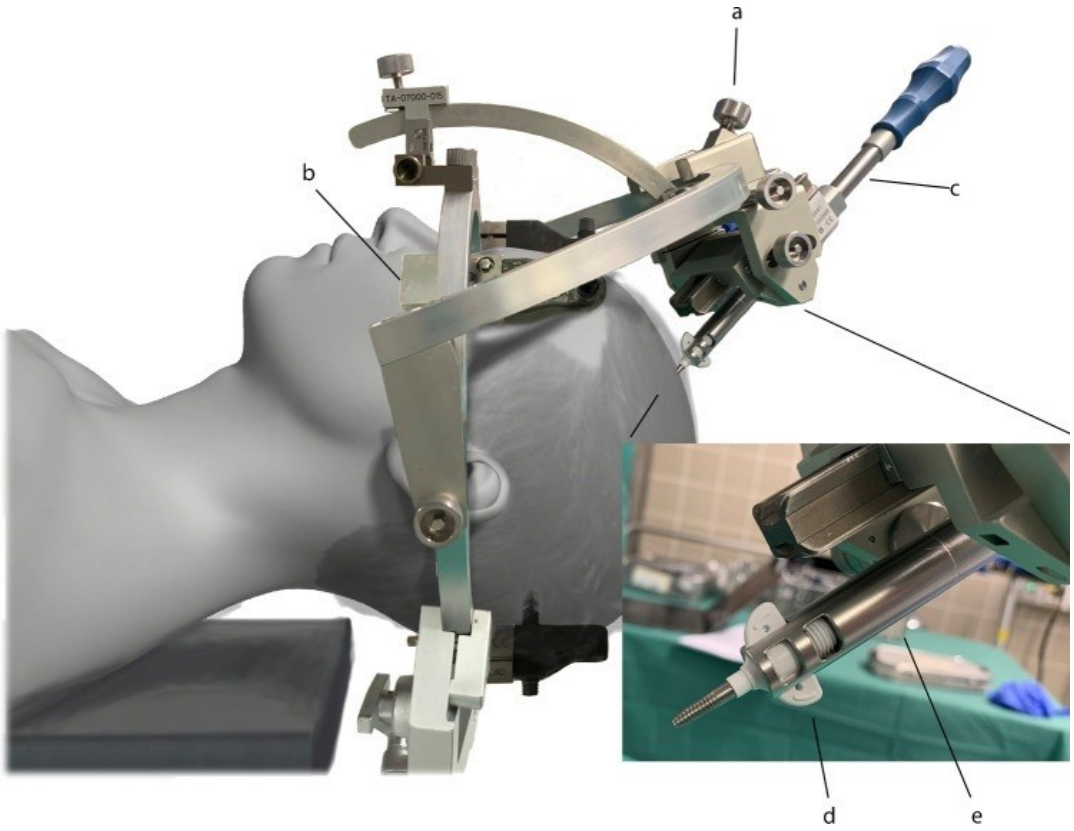
სურათი 1.54 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები.



სურათი 1.55 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები.

გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები

რიხერტ–მუნდინგერის ჩარჩო — თანამედროვე გამოყენების სქემა. რიხერტი და ვოლფი: (ფრაიბურგი, 1951) რკალზე დაფუძნებული ჩარჩო; შემდეგ რიხერტ–მუნდინგერის სისტემა სამიზნის ფანტომით.



სურათი 1.56 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები.



სურათი 1.57 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები.

პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება

1934–1960-იანი · მონრეალი

მონრეალის ნევროლოგიური ინსტიტუტი: (1934) უაილდერ პენფილდი და ელექტროფიზიოლოგი ჰერბერტ ჯასპერი. „მონრეალის პროცედურა“: ფხიზელ პაციენტზე, ადგილობრივი ანესთეზიით, ქერქის სტიმულაცია და მეტყველების, მოძრაობის, შეგრძნების ზონების რუკა. ჰომუნკულუსი: მოტორული და სენსორული ჰომუნკულუსი (1937; 1950, „The Cerebral Cortex of Man“, რასმუსენთან ერთად). ეპილეფსიის ქირურგია: ელექტროკორტიკოგრაფია (ECoG) და საფეთქლის წილის რეზექცია; ბრენდა მილნერის ნეიროფსიქოლოგია (მეხსიერება, ლატერალიზაცია). პენფილდის მეთოდი თანამედროვე ფხიზელი კრანიოტომიის და ინტრაოპერაციული კარტირების პირდაპირი წინაპარია. ფუნქციური ქირურგიისთვის მთავარი იდეაა: ფუნქციის დადასტურება ჩარევამდე.

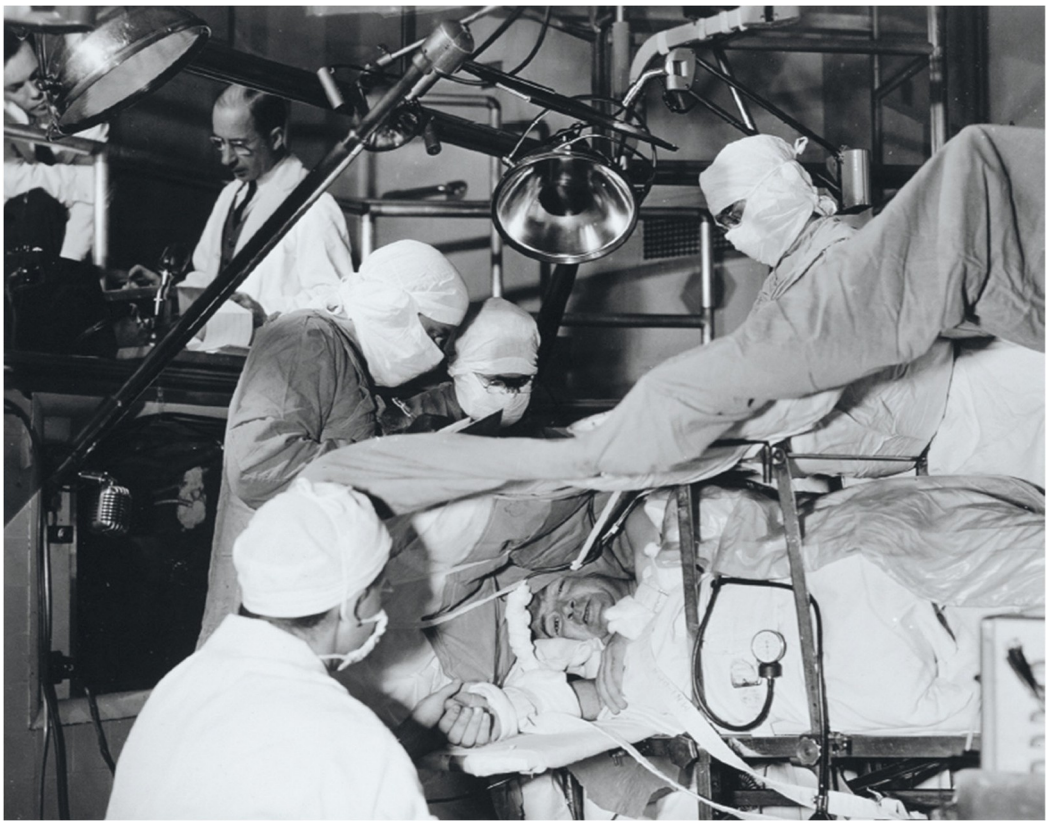
პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება

უაილდერ პენფილდისა და ჯასპერის პორტრეტი

„მონრეალის პროცედურა“: ფხიზელ პაციენტზე, ადგილობრივი ანესთეზიით, ქერქის სტიმულაცია და მეტყველების, მოძრაობის, შეგრძნების ზონების რუკა.



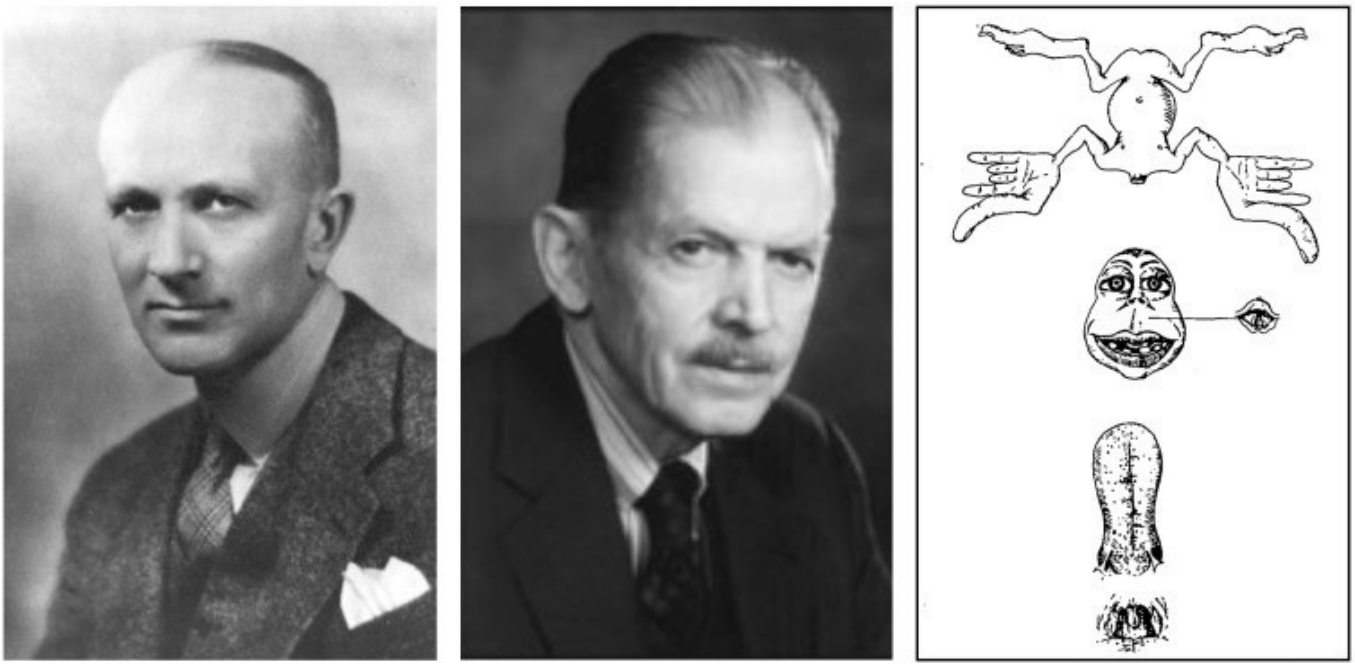
სურათი 1.58 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება.



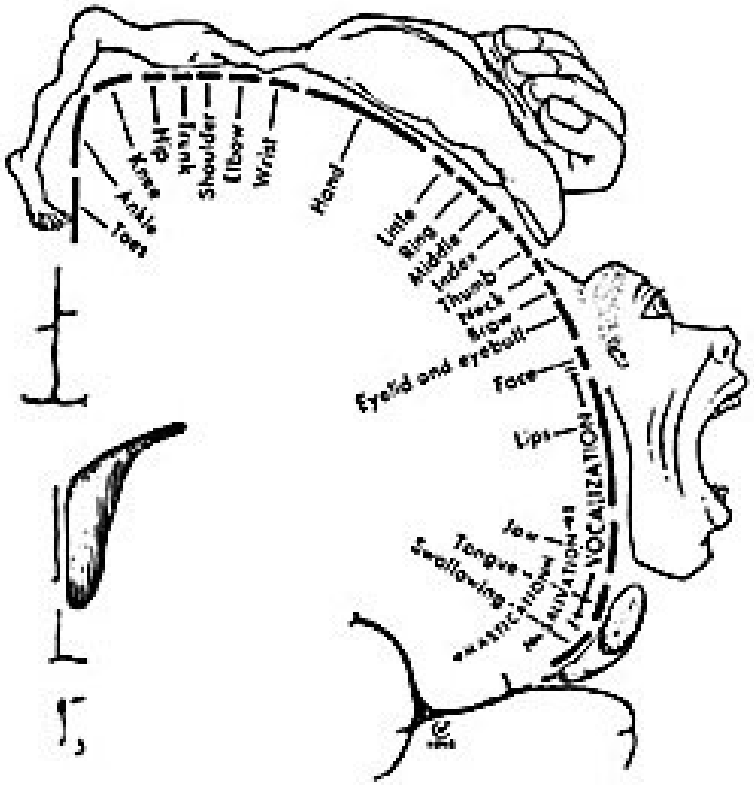
სურათი 1.59 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება.

პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება

პენფილდი, ბოლდრი და თავდაპირველი და საბოლოო ჰომუნკულუსი (1937).



სურათი 1.60 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება.



სურათი 1.61 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება.

პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე

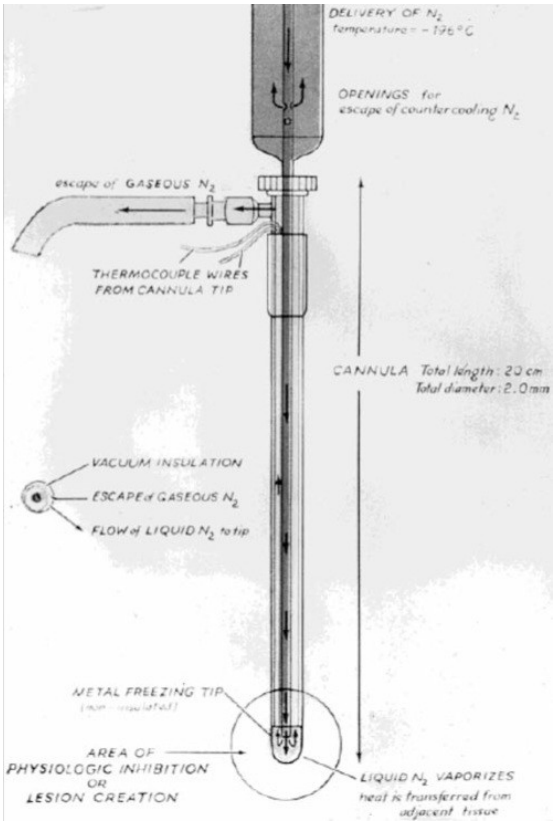
1939–1961

1930–40-იანი: ღია ოპერაციები: ბუსი (მოტორული ქერქის რეზექცია), მეიერსი (1939, კაუდატუმის და ansa lenticularis-ის გადაკვეთა). ტრემორი მცირდებოდა, სიკვდილობა ~15% იყო. 1952, ირვინგ კუპერი: პედუნკულოტომიისას წინა ქოროიდული არტერია დაზიანდა და ლიგირება დასჭირდა. გამოღვიძების შემდეგ რიგიდობა და ტრემორი გამქრალი იყო. შედეგი: ქიმიოპალიდექტომია (ალკოჰოლის ინექცია ბალონიანი კანულით) → ქიმიოთალამექტომია → 1961 წლიდან კრიოთალამოტომია (თხევადი აზოტით გაცივებული ზონდი). მნიშვნელობა: ემპირიულმა მიგნებამ და მარტივმა ტექნიკამ პარკინსონიზმის ქირურგიის მასობრივი გავრცელება გამოიწვია. წინა ქოროიდული არტერიის ლიგირება ქირურგიულ მეთოდად არ დამკვიდრდა, რადგან არტერიის აუზი ვარიაბელურია და ინსულტის რისკი მაღალი იყო. სწორედ ამიტომ გადავიდა კუპერი ლოკალურ, დოზირებულ ლეზიაზე.

პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე

კუპერის კრიოზონდი / კრიოქირურგიის აპარატი

1930–40-იანი: ღია ოპერაციები: ბუსი (მოტორული ქერქის რეზექცია), მეიერსი (1939, კაუდატუმის და ansa lenticularis-ის გადაკვეთა). ტრემორი მცირდებოდა, სიკვდილობა ~15% იყო. 1952, ირვინგ კუპერი: პედუნკულოტომიისას წინა ქოროიდული არტერია დაზიანდა და ლიგირება დასჭირდა. გამოღვიძების შემდეგ რიგიდობა და ტრემორი გამქრალი იყო. შედეგი: ქიმიოპალიდექტომია (ალკოჰოლის ინექცია ბალონიანი კანულით) → ქიმიოთალამექტომია → 1961 წლიდან კრიოთალამოტომია (თხევადი აზოტით გაცივებული ზონდი). მნიშვნელობა: ემპირიულმა მიგნებამ და მარტივმა ტექნიკამ პარკინსონიზმის ქირურგიის მასობრივი გავრცელება გამოიწვია.



სურათი 1.62 — პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე.



სურათი 1.63 — პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე.

მოძრაობითი დარღვევები, 1950–1960-იანი წლები

ადრეული სტერეოტაქსიული ქირურგია

ნარაბაიაშის აპარატი

ორიგინალური პუბლიკაცია, 1953

პალიდოტომია

შპიგელი–უაიკისი, ნარაბაიაში, რიხერტი. 1952: ნარაბაიაშის

პროკაინ-ზეთოვანი ბლოკადა. ადრეული სამიზნეები: GP-ის

წინა, წინა-მედიალური ან დორსალური უბნები.

ლექსელი: პოსტეროვენტრალური პალიდოტომია

1956–1957; სვენილსონის პუბლიკაცია, 1960. GPi-ის უკანა-ქვედა

უბანი სერიაში საუკეთესო შედეგებს უკავშირდებოდა, თუმცა

მეთოდი მაშინ ფართოდ არ გავრცელდა.

თალამოტომია

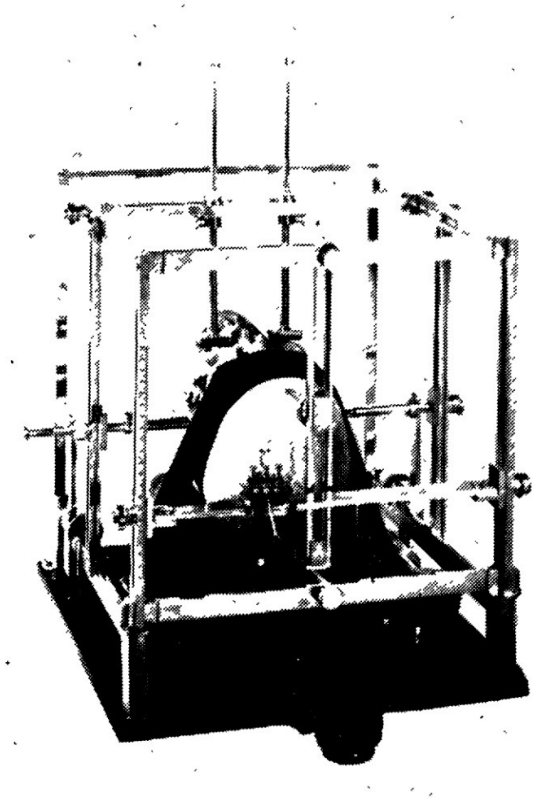
ჰასლერი–რიხერტი: VL ჯგუფის ბირთვები (Voa/Vop/Vim). ტრემორისთვის განსაკუთრებით ეფექტური აღმოჩნდა Vim. 1960-იან წლებში თალამოტომია წამყვან მეთოდად იქცა.

კამპოტომია

შპიგელი–უაიკისი: ფორელის ველში პალიდოთალამური

ბოჭკოების ლეზია (H; H1/H2 რეგიონი).

მასშტაბი: 1965 წლისთვის მსოფლიოში დაახლოებით 25 000 ოპერაცია



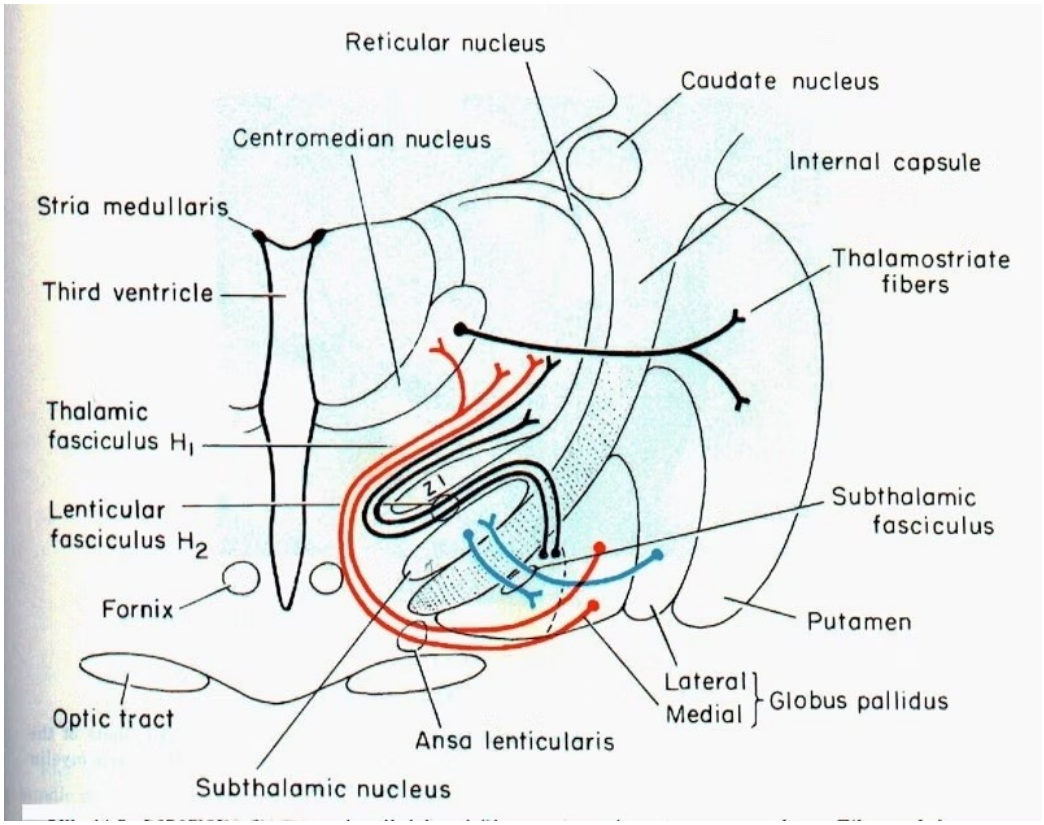
სურათი 1.64 — მოძრაობითი დარღვევები, 1950–1960-იანი წლები.

პალიდოტომიის ადრეული ფორმები მოიცავდა პროკაინ-ზეთოვან ინექციასა და სტერეოტაქსიულ თერმულ ლეზიას. ლექსელის პოსტეროვენტრალური მიდგომა 1956–1957 წლებში ჩამოყალიბდა და 1992 წელს ლაიტინენის ნაშრომმა კვლავ გააცოცხლა. ისტორიულ სერიებში სამიზნეები განსხვავდებოდა: გამოიყენებოდა წინა, წინა-მედიალური და დორსალური უბნებიც. სვენილსონის სერიაში აღწერილი უკეთესი შედეგი ყველა სხვა მეთოდზე უპირატესობის მტკიცებულებად არ უნდა ჩაითვალოს. შპიგელისა და თანაავტორების კამპოტომია ფორელის H ველს ეხებოდა; ყველა ისტორიული ჩარევა ერთნაირ H1/H2 ლეზიას არ წარმოადგენდა. ჰასლერის ნომენკლატურის Voa, Vop და Vim ასევე განსხვავებული ბირთვებია და ტრემორის სამკურნალო ურთიერთჩანაცვლებად სამიზნეებად არ განიხილება. 1965 წლისთვის დაახლოებით 25 000 ოპერაციის მაჩვენებელი ისტორიული შეფასებაა.

წყაროები: Treatment of parkinsonism by stereotactic thermolesions in the pallidal region (1960), doi:10.1111/j.1600-0447.1960.tb07606.x; Campotomy in Various Extrapyramidal Disorders (Spiegel და სხვ., 1963); Hariz და Blomstedt (2022). დამატებითი ისტორიული მიმოხილვები: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2494572/ ; https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6191836/ ; https://jnnp.bmj.com/content/89/7/727.

სამიზნის ევოლუცია: ფერმკრთალი ბირთვიდან თალამუსამდე

ბაზალური განგლიები, თალამუსი და პალიდოფუგალური გზები. პალიდოტომია: შპიგელი–უაიკისი, ნარაბაიაში (1952, პროკაინ-ზეთოვანი ინექცია), რიხერტი. ადრეული სამიზნე იყო GP-ის წინა-დორსალური ნაწილი. ლექსელი: (1956–1960; სვენილსონის პუბლიკაცია) პოსტეროვენტრალური პალიდოტომია. შედეგი საუკეთესო იყო, მაგრამ მაშინ არ გავრცელდა. თალამოტომია: ჰასლერი და რიხერტი: VL (Voa/Vop/Vim) თალამუსის ლეზია ტრემორს უფრო საიმედოდ ხსნიდა. 1960-იან წლებში ის „ოქროს სტანდარტი“ გახდა. კამპოტომია: შპიგელი და უაიკისი: ფორელის ველის (H1/H2) ლეზია. მასშტაბი: 1960-იანი წლების შუა ხანებამდე მსოფლიოში ათიათასობით სტერეოტაქსიული ოპერაცია ჩატარდა.

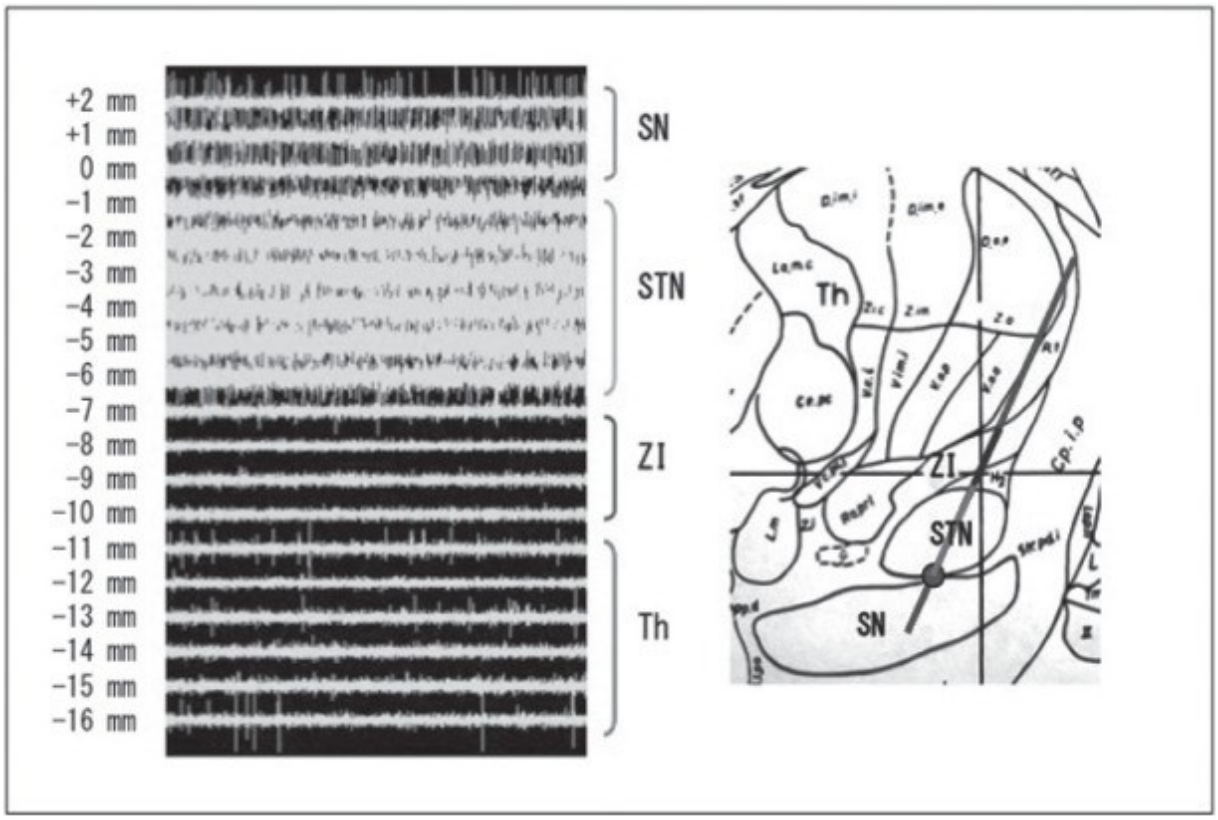


სურათი 1.65 — სამიზნის ევოლუცია: ფერმკრთალი ბირთვიდან თალამუსამდე.

ფიზიოლოგიური დადასტურება: მიკროელექტროდები

მიკროელექტროდული ჩაწერის ტრასა (ტრემორ-უჯრედები / STN-ის აქტივობა)

პრობლემა: ატლასის კოორდინატები მიახლოებითია. სამიზნის „მოსმენა“ იყო საჭირო. 1961: დენიზ ალბ-ფესარი და ჟერარ გიიო: ადამიანის თალამუსში მიკროელექტროდული ჩაწერა ოპერაციის დროს. ფუნქციური საზღვრები: „ტრემორ-უჯრედები“ Vim-ში (ტრემორის სიხშირით განმუხტვა) და Vc-ის სენსორული რეცეპტიული ველები. მაკროსტიმულაცია: ტესტ-სტიმულაცია ოპერაციის დროს; რონალდ ტასკერის (ტორონტო) სისტემური ფიზიოლოგიური რუკები. დღეს: იგივე ტექნიკა (MER) STN- და GPi-DBS-ის დროს გამოიყენება.



სურათი 1.66 — ფიზიოლოგიური დადასტურება: მიკროელექტროდები.

საბჭოთა სკოლა

1960–1980-იანი

ნატალია ბეხტერევა: (ლენინგრადი) 1962 წლიდან მრავლობითი ქრონიკული სიღრმული ელექტროდები დიაგნოსტიკური ჩაწერისა და თერაპიული სტიმულაციისთვის. DBS-ის ერთ-ერთი წინამორბედია. ედუარდ კანდელი: (მოსკოვი) სტერეოტაქსიული კრიოქირურგია; მონოგრაფია „Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия“ (1981). მიმართულებები: პარკინსონიზმი, ჰიპერკინეზები, ეპილეფსია, ტკივილი, ფსიქიატრიული დარღვევები. მნიშვნელობა: ქრონიკული ელექტროდების კონცეფცია გრენობლის DBS-მდე ორი ათწლეულით ადრე ჩამოყალიბდა.

საბჭოთა სკოლა

ნატალია ბეხტერევას და ედუარდ კანდელის პორტრეტები

ნატალია ბეხტერევა: (ლენინგრადი) 1962 წლიდან მრავლობითი ქრონიკული სიღრმული ელექტროდები დიაგნოსტიკური ჩაწერისა და თერაპიული სტიმულაციისთვის. DBS-ის ერთ-ერთი წინამორბედია. ედუარდ კანდელი: (მოსკოვი) სტერეოტაქსიული კრიოქირურგია; მონოგრაფია „Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия“ (1981). მიმართულებები: პარკინსონიზმი, ჰიპერკინეზები, ეპილეფსია, ტკივილი, ფსიქიატრიული დარღვევები. მნიშვნელობა: ქრონიკული ელექტროდების კონცეფცია გრენობლის DBS-მდე ორი ათწლეულით ადრე ჩამოყალიბდა.



სურათი 1.67 — ნატალია ბეხტერევა — ისტორიული პორტრეტი.



სურათი 1.68 — საბჭოთა სკოლა.

საზოგადოებები და ჟურნალი

ინსტიტუციური ჩამოყალიბება

1938

ჟურნალი Confinia Neurologica (შპიგელი)

1961

სტერეოენცეფალოტომიის კვლევის საერთაშორისო საზოგადოება

1968

ამერიკის საზოგადოება (ASSFN)

1970

ევროპული საზოგადოება (ESSFN)

1973

მსოფლიო საზოგადოება (WSSFN)

1989

ჟურნალი Stereotactic and Functional Neurosurgery

ჟურნალმა გზაზე სახელი Applied Neurophysiology (1976–1988) ატარა.

საზოგადოებები და ჟურნალი

World Society for Stereotactic and Functional Neurosurgery — WSSFN.



სურათი 1.69 — საზოგადოებები და ჟურნალი.

რადიოქირურგია და ნეირომოდულაციის დასაწყისი

რადიოქირურგია და გამა-დანა

ლარს ლექსელი პირველ Gamma Knife-თან, Sophiahemmet-ის საავადმყოფოში. 1951, ლექსელი: „სტერეოტაქსიური რადიოქირურგია“: მრავალი ვიწრო სხივი სტერეოტაქსიულად ერთ წერტილში, ქალის გახსნის გარეშე. პირველი ცდები რენტგენით, შემდეგ პროტონებით (უფსალა). 1967–1968: ლექსელმა და ბორჯ ლარსონმა შექმნეს პირველი გამა-დანა (179 კობალტ-60 წყარო). თავდაპირველი მიზანი ფუნქციური იყო: თალამოტომია, კაპსულოტომია, ტკივილი. შემდეგ: AVM, აკუსტიკური შვანომა, მეტასტაზები. დღევანდელი ფუნქციური ჩვენებები: სამწვერა ნერვის ნევრალგია, ტრემორი, OCD. 1980-იანი: LINAC-ზე დაფუძნებული რადიოქირურგია (ბეტი, კოლომბო და სხვ.).



სურათი 1.70 — რადიოქირურგია და გამა-დანა.

რადიოქირურგია და გამა-დანა

Gamma Knife-ის შემქმნელი გუნდი: ბაკლუნდი, ლექსელი, ლარსონი და იერნბერგი.



სურათი 1.71 — რადიოქირურგია და გამა-დანა.

L-DOPA და „ქირურგიის დაცემა“

კრისტიან პიფლი და ოლეჰ ჰორნიკევიჩი (მარჯვნივ) და ჯორჯ კოციასის პორტრეტაბი

1960: ერინგერი და ჰორნიკევიჩი (ვენა): პარკინსონის დაავადებისას სტრიატუმში დოფამინის დეფიციტი. 1961: ბირკმაიერი და ჰორნიკევიჩი: ინტრავენური L-DOPA-ს ეფექტი. 1967: ჯორჯ კოციასი: მაღალი დოზის პერორალური L-DOPA (NEJM). 1970: FDA-ს ნებართვა. შედეგი: სტერეოტაქსიული ოპერაციების რაოდენობა მკვეთრად დაეცა. თალამოტომია ძირითადად მედიკამენტრეზისტენტული ტრემორისთვის დარჩა. ცოდნის შენარჩუნება: ცენტრების უმეტესობა დაიხურა, თუმცა სკოლები (ლექსელი, ტასკერი, ნარაბაიაში, ჰასლერი) ტკივილის, ეპილეფსიის და ტრემორის ქირურგიაში გაგრძელდა.



სურათი 1.72 — L-DOPA და „ქირურგიის დაცემა“.

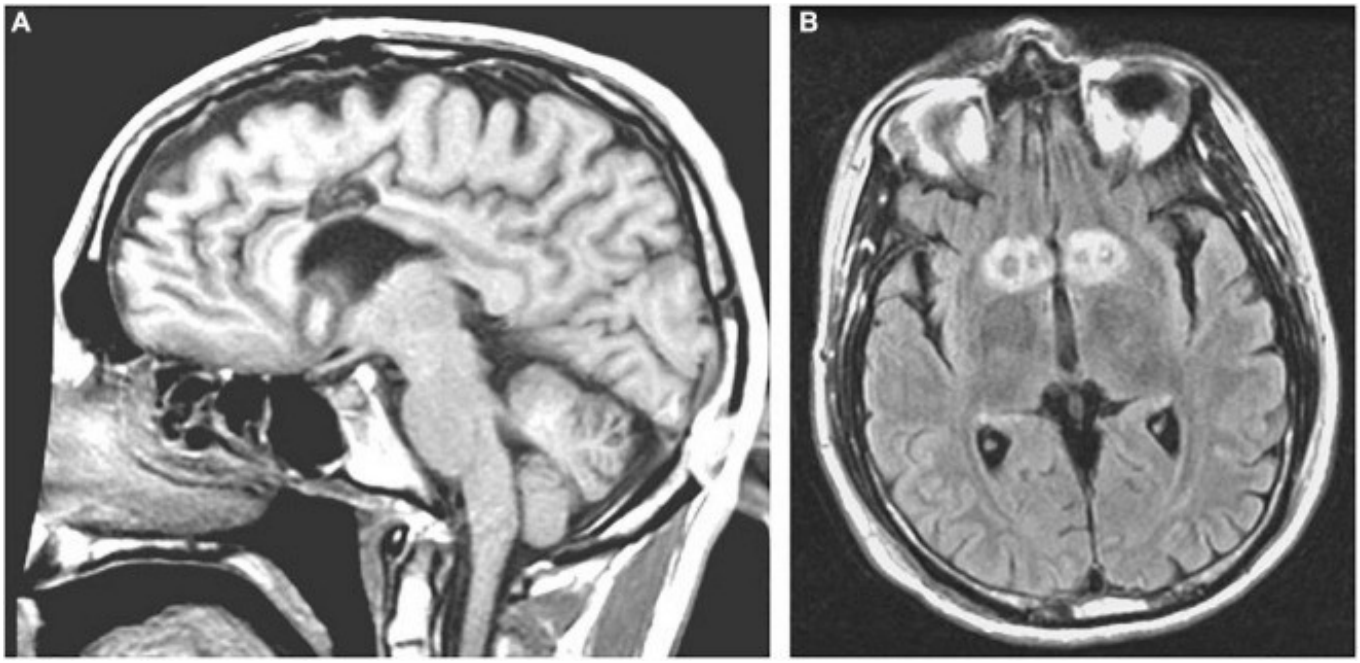


სურათი 1.73 — L-DOPA და „ქირურგიის დაცემა“.

სტერეოტაქსიული ფსიქოქირურგია

ლიმბური ლეიკოტომია — ცინგულოტომიისა და სუბკაუდატური ტრაქტოტომიის უბნები მრტ-ზე. პრინციპი: ლობოტომიის ნაცვლად მცირე, ზუსტი, ბილატერალური ლეზიები ლიმბურ

წრეებში. ცინგულოტომია: ფოლცი და უაიტი (1962), ბალანტაინი (მასაჩუსეტსის გენერალური ჰოსპიტალი): დეპრესია, OCD, ქრონიკული ტკივილი. ანტერიორული კაპსულოტომია: ტალერაში (1949), ლექსელი (1950-იანი; მოგვიანებით გამა-დანით): OCD, შფოთვითი დარღვევები. სხვა: სუბკაუდატური ტრაქტოტომია (ჯეფრი ნაითი, ლონდონი, 1964); ლიმბური ლეიკოტომია (დესმონდ კელი, 1973). 1977: აშშ-ის ეროვნული კომისია: ფსიქოქირურგია არ აიკრძალა, მაგრამ ეთიკური კომიტეტი და ინფორმირებული თანხმობა სავალდებულო გახდა.

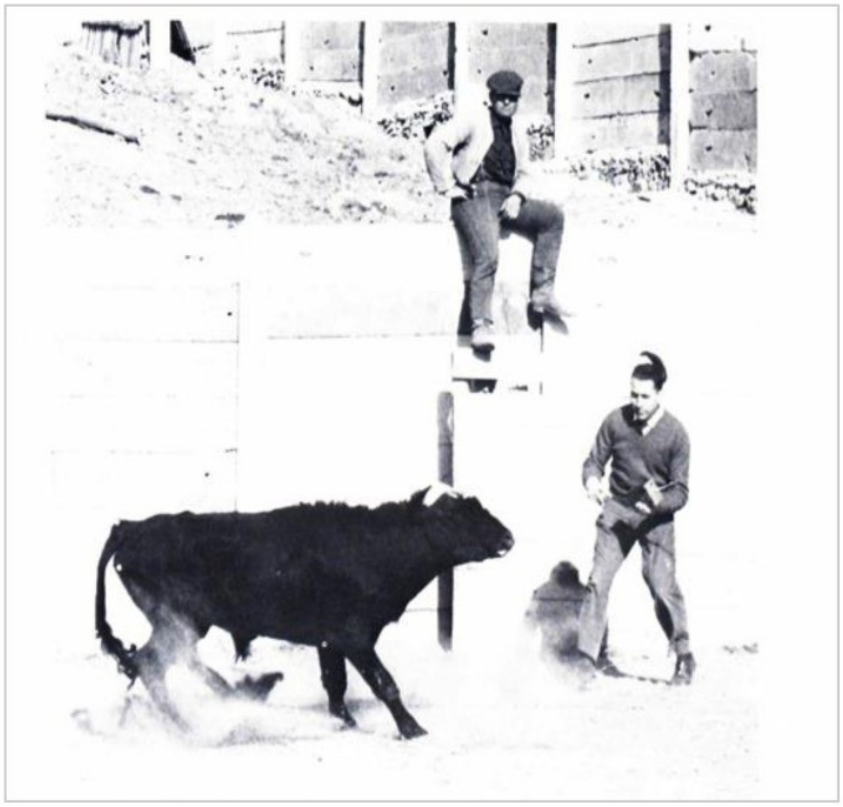


სურათი 1.74 — სტერეოტაქსიული ფსიქოქირურგია.

ტვინის ქრონიკული სტიმულაციის დასაწყისი

დელგადოს ექსპერიმენტი ხართან (1963)

1950-იანი: რობერტ ჰიტი (ტულეინი): სეპტალური არეს სტიმულაცია ფსიქიატრიულ პაციენტებში; ეთიკურად მძიმე ექსპერიმენტები. ჯ. ლ. პული (1954): ქრონიკულად იმპლანტირებული ელექტროდი. 1960-იანი: ხოსე დელგადო (იელი): რადიომართვადი „სტიმოსივერი“; ცნობილი დემონსტრაცია ხართან (1963). 1962-დან: ბეხტერევა: თერაპიული სიღრმული სტიმულაცია პარკინსონიზმის და სხვა დარღვევების დროს. 1973: ირვინგ კუპერი: ნათხემის ქერქის ქრონიკული სტიმულაცია სპასტიურობისა და ეპილეფსიისთვის. შეზღუდვა: იმპლანტირებადი ტექნოლოგია მოუმწიფებელი იყო, კვლევები კი არაკონტროლირებადი. ამიტომ ფართოდ ვერ დამკვიდრდა.

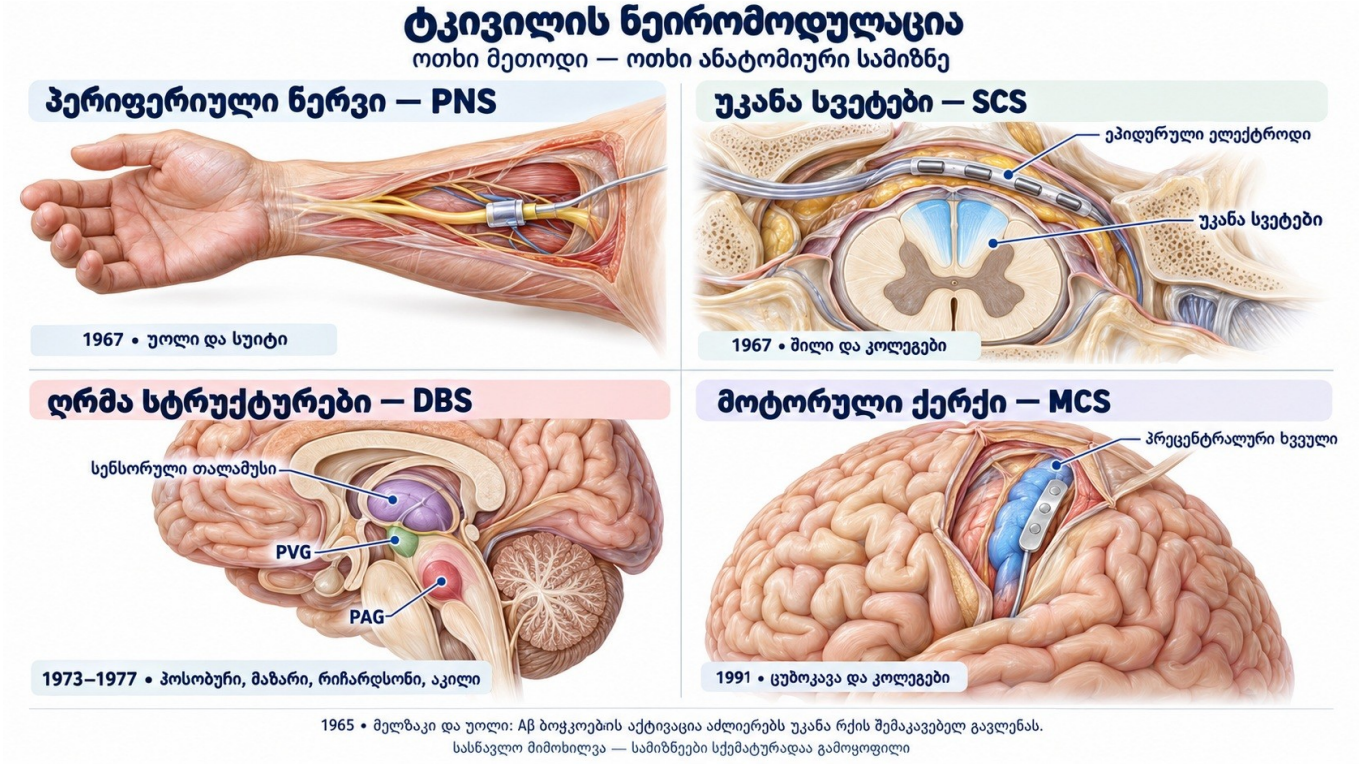


სურათი 1.75 — ტვინის ქრონიკული სტიმულაციის დასაწყისი.

ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია

1965–1991

1965, მელზაკი და უოლი: (Science) უკანა რქაში A-β ბოჭკოების აქტივაცია „კეტავს“ ნოციცეპტიური სიგნალის გადაცემას. 1967, ნორმან შილი: ზურგის ტვინის უკანა სვეტების სტიმულაცია (SCS), თეორიის პირდაპირი პრაქტიკული გამოყენება. 1967, უოლი და სუიტი: პერიფერიული ნერვის სტიმულაცია. 1973–1977: ჰოსობუჩი, მაზარი, რიჩარდსონი და აკილი: სენსორული თალამუსის და PAG/PVG-ის ღრმა სტიმულაცია. 1991, ცუბოკავა: მოტორული ქერქის სტიმულაცია ცენტრალური (თალამური) ტკივილისთვის.

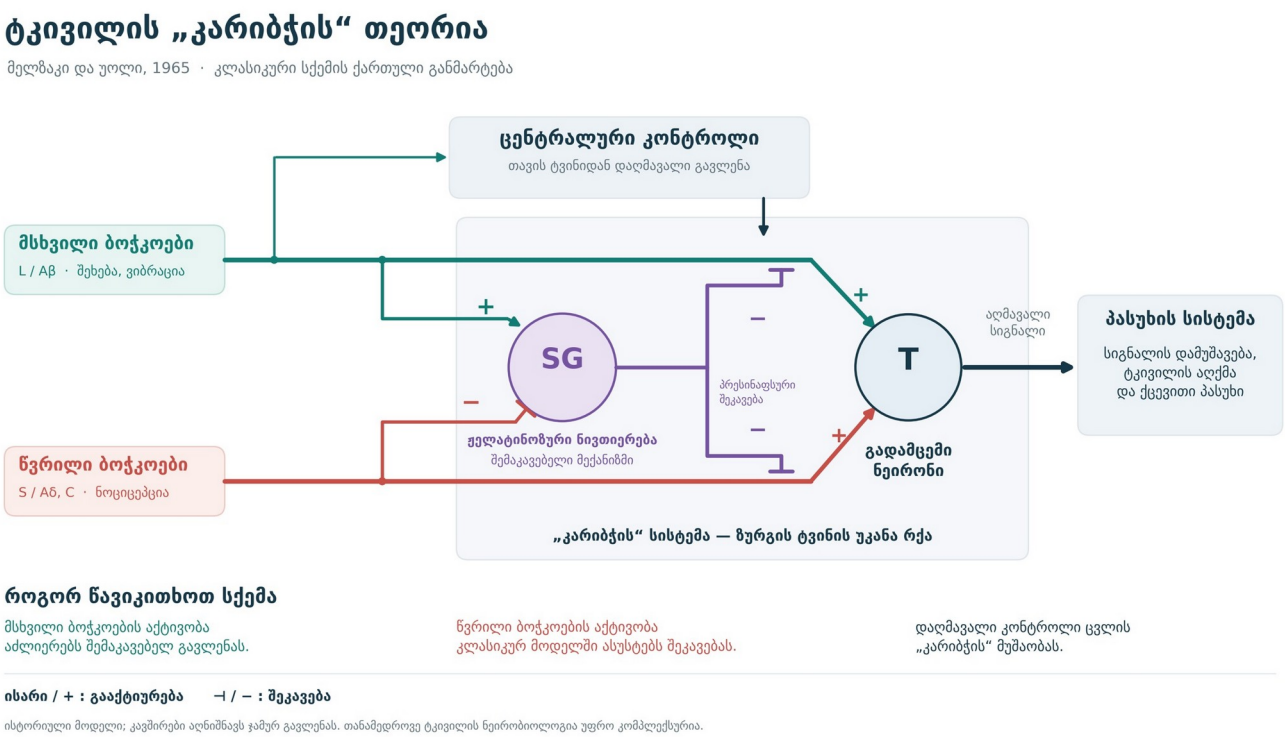


სურათი 1.76 — ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია.

კარიბჭის თეორია დღეს გამარტივებულად ითვლება, მაგრამ ისტორიულად მან ნეირომოდულაციის მთელი ინდუსტრია შექმნა. SCS დღეს ყველაზე ხშირი ნეირომოდულაციური ოპერაციაა მსოფლიოში.

ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია

კარიბჭის თეორიის ორიგინალური სქემა (მელზაკი და უოლი, 1965)



სურათი 1.77 — ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია.

ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები

1963–1983

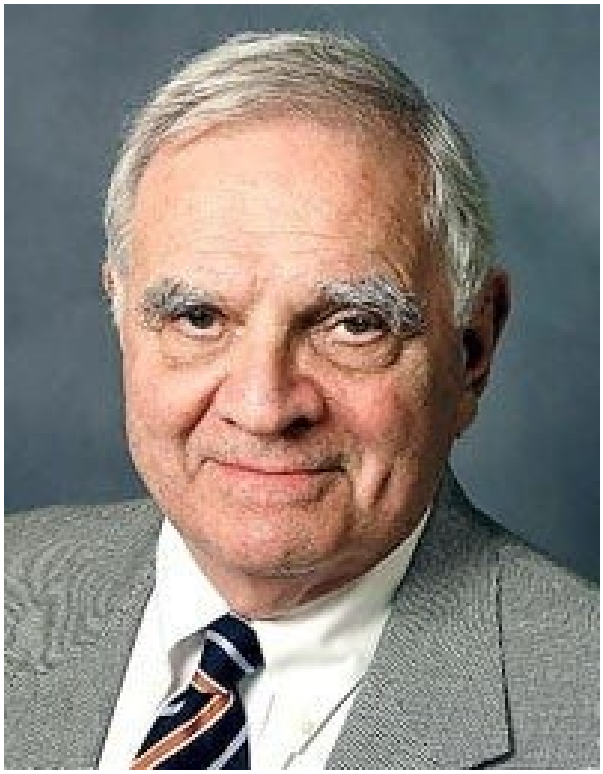
პერკუტანული კორდოტომია: შონ მალანი (1963, სტრონციუმ-90), შემდეგ RF-კორდოტომია (როზომოფი, 1965): ონკოლოგიური ცალმხრივი ტკივილი. 1967, პიტერ ჯანეტა: მიკროვასკულური დეკომპრესია (MVD) სამწვერა ნერვის ნევრალგიისთვის; ნევრალგიის სისხლძარღვოვანი კომპრესიის თეორია. პერკუტანული მეთოდები: RF-თერმორიზოტომია (სუიტი და ვეპსიკი, 1974), გლიცეროლი (ჰოკანსონი, 1981), ბალონური კომპრესია (მალანი და ლიხტორი, 1983). 1976, ბლეინ ნეშოლდი: DREZ-ოტომია ბრაქიალური წნულის ავულსიის ტკივილისთვის; მიკროქირურგიული ვარიანტი: მარკ სინდუ. MVD ფუნქციური ქირურგიის განსაკუთრებული მაგალითია: სიმპტომის მიზეზი იხსნება, ნერვი კი არ ზიანდება. ამიტომ ის ანატომიური და ფუნქციური ქირურგიის საზღვარზე დგას.

ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები

პიტერ ჯანეტას პორტრეტი

პერკუტანული კორდოტომია: შონ მალანი (1963, სტრონციუმ-90), შემდეგ RF-კორდოტომია (როზომოფი, 1965): ონკოლოგიური ცალმხრივი ტკივილი. 1967, პიტერ ჯანეტა: მიკროვასკულური დეკომპრესია (MVD) სამწვერა ნერვის ნევრალგიისთვის; ნევრალგიის სისხლძარღვოვანი კომპრესიის თეორია. პერკუტანული მეთოდები: RF-თერმორიზოტომია (სუიტი და ვეპსიკი, 1974), გლიცეროლი (ჰოკანსონი, 1981), ბალონური კომპრესია (მალანი და ლიხტორი, 1983).

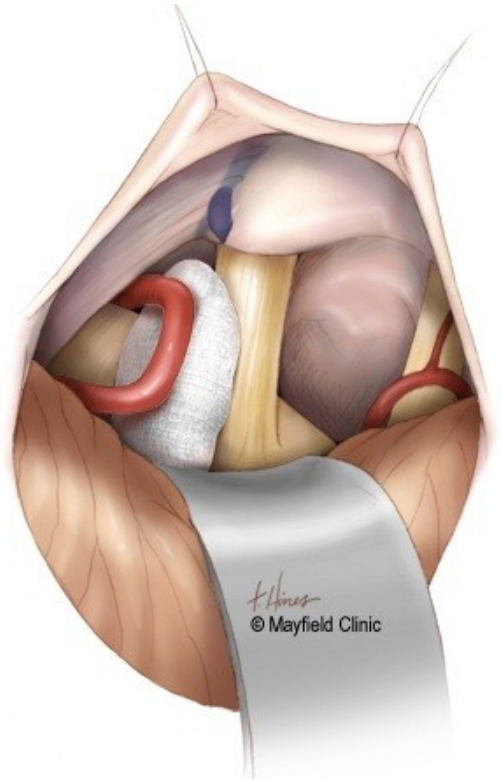
1976, ბლეინ ნეშოლდი: DREZ-ოტომია ბრაქიალური წნულის ავულსიის ტკივილისთვის; მიკროქირურგიული ვარიანტი: მარკ სინდუ



სურათი 1.78 — ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები.

ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები

მიკროვასკულური დეკომპრესია — სისხლძარღვისა და სამწვერა ნერვის განცალკევება.



სურათი 1.79 — ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები.

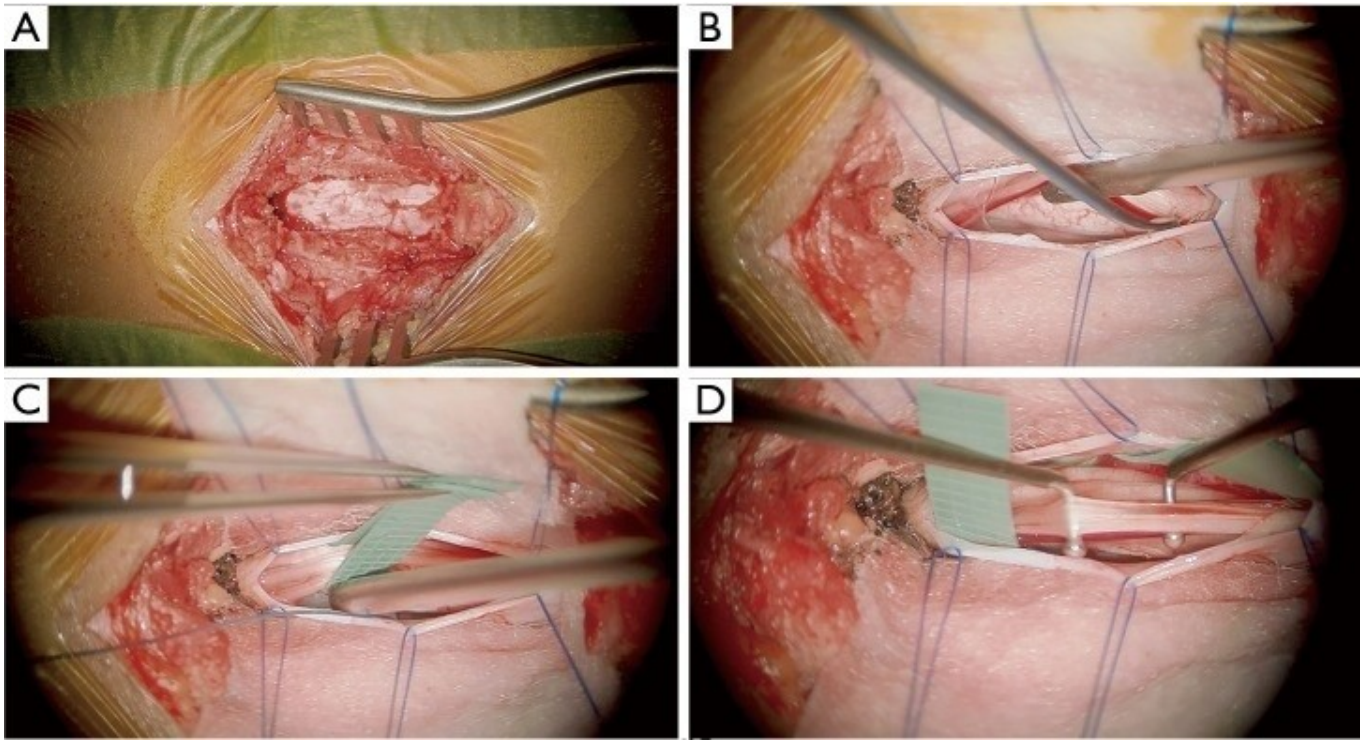
სპასტიურობის ქირურგია

1967–1992

1967, კლოდ გრო: (მონპელიე) ნაწილობრივი, სელექციური უკანა რიზოტომია. 1976–1978, ვიქტორ ფაზანო: (ტურინი) ფუნქციური უკანა რიზოტომია: ფესვების შერჩევა ელექტროსტიმულაციით. 1982–1987, უორვიკ პიკოკი: (კეიპტაუნი) სელექციური დორსალური რიზოტომია (SDR) ცხენის ძუის დონეზე, ბავშვთა ცერებრული დამბლისას. 1984, პენი და კროინი: (Lancet) ინტრათეკალური ბაკლოფენი (ITB) იმპლანტირებადი ტუმბოთი; 1992: FDA-ს ნებართვა ზურგის ტვინის წარმოშობის სპასტიურობაზე. პრინციპი: ფოერსტერის 1908 წლის იდეა (რეფლექსური რკალის შემცირება) ფუნქციის შენარჩუნებით. ეს ხაზი მე-2 ლექციაში დეტალურად განიხილება (SDR-ის ტექნიკა, ITB-ის დოზირება). აქ მიზანია ქრონოლოგიური კავშირის ჩვენება ფოერსტერიდან დღევანდელ დღემდე.

სპასტიურობის ქირურგია

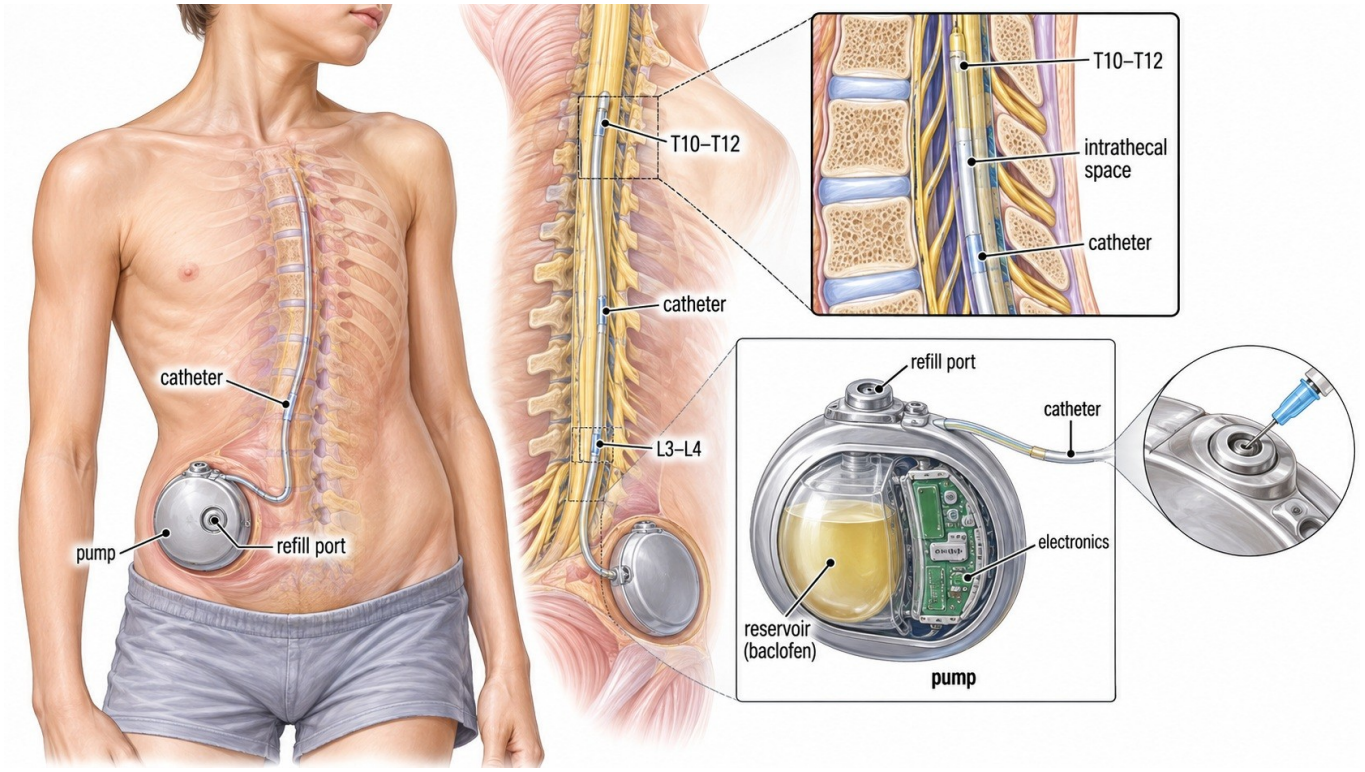
SDR: ნერვული ფესვების იზოლაცია და ელექტროსტიმულაცია.



სურათი 1.80 — სპასტიურობის ქირურგია.

სპასტიურობის ქირურგია

ინტრათეკალური ბაკლოფენის ტუმბოს სისტემა



სურათი 1.81 — სპასტიურობის ქირურგია.

ვიზუალიზაციიდან DBS-ის ეპოქამდე

კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი

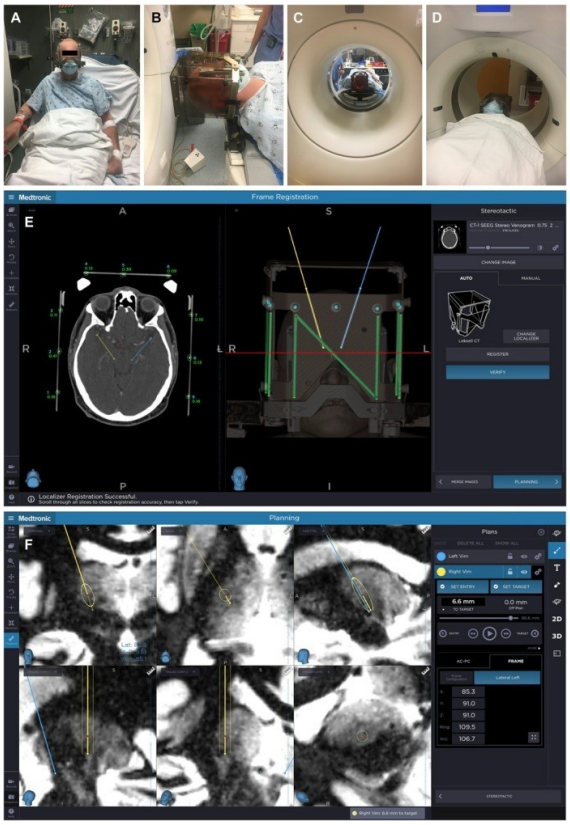
EMI-ს პირველი კლინიკური CT სკანერის ნაწილი, 1970–1971 — Science Museum Group. 1971, გოდფრი ჰაუნსფილდი: (EMI) პირველი კლინიკური CT-კვლევა, ატკინსონ მორლის ჰოსპიტალი, ლონდონი. 1979: ნობელის პრემია ალან კორმაკთან ერთად. 1978–1979, რასელ ბრაუნი: (იუტა, მაშინ სამედიცინო სტუდენტი) N-ლოკალიზატორი: ჩარჩოზე N-ფორმის ღეროები. ყოველ CT-ანათალზე წერტილების მანძილით ანათლის სივრცითი მდებარეობა გამოითვლება. ჩარჩოები: BRW (Brown–Roberts–Wells, 1980), შემდეგ CRW; ლექსელის ჩარჩოს CT-თავსებადი ვერსიები. შედეგი: სტერეოტაქსიული ბიოფსია, ჰემატომისა და აბსცესის ასპირაცია, კისტის დრენაჟი ყოველდღიური პრაქტიკა გახდა.



სურათი 1.82 — კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი.

კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი

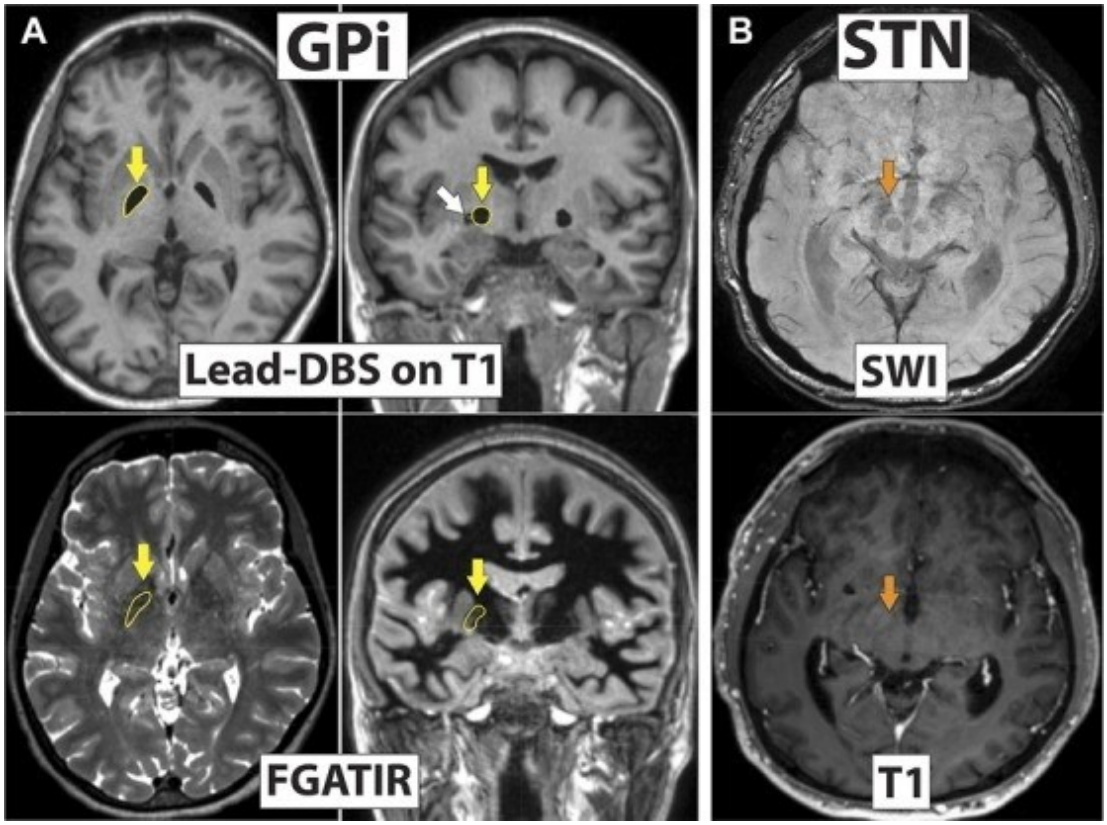
ჩარჩოსა და ლოკალიზატორის შესაბამისობა CT/MRI დაგეგმვასთან. N-ლოკალიზატორი არის სტერეოტაქსიულ ჩარჩოზე დამაგრებული ორიენტირების მოწყობილობა, რომელიც CT-ზე ნანახ სამიზნეს ჩარჩოს რეალურ X, Y, Z კოორდინატებთან აკავშირებს. „N“ მისი ფორმიდან მოდის: ორი ვერტიკალური ღერო და მათ შორის ერთი დიაგონალური ღერო ლათინურ N-ს ქმნის.



სურათი 1.83 — კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი.

MRT, კომპიუტერი და ნავიგაცია

GPi და STN სხვადასხვა მრტ-თანმიმდევრობაზე. MRT: 1980-იანი წლებიდან კლინიკაში. ღრმა ბირთვები (STN, GPi, თალამუსის საზღვრები) თანდათან პირდაპირ ხილული გახდა, განსაკუთრებით მაღალი ველის T2/SWI თანმიმდევრობებით. პატრიკ კელი: (მაიო კლინიკა) კომპიუტერით მართული მოცულობითი სტერეოტაქსიული რეზექცია. ჩარჩოს გარეშე სტერეოტაქსია: 1986, დევიდ რობერტსი: მიკროსკოპთან ინტეგრირებული სისტემა; 1987, ვატანაბე: „ნეირონავიგატორი“. 1990-იანი: ოპტიკური ნავიგაცია, დაგეგმვის პროგრამები, ატლასის დეფორმაცია პაციენტის MRT-ზე. დამიზნება არაპირდაპირიდან პირდაპირზე გადავიდა.



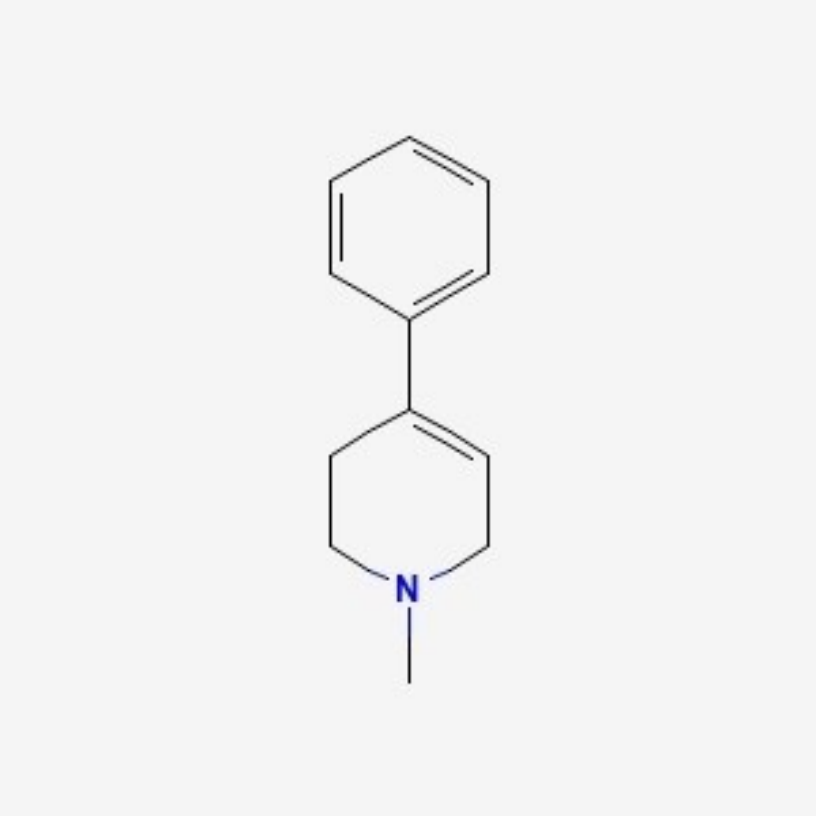
სურათი 1.84 — MRT, კომპიუტერი და ნავიგაცია.

რატომ დაბრუნდა ქირურგია?

MPTP-ის ქიმიური სტრუქტურა.

L-DOPA-ს გართულებები: 5–10 წელში პაციენტთა დიდ ნაწილს უვითარდება მოტორული ფლუქტუაციები („on–off“) და დისკინეზიები. 1982–1983, MPTP: ლენგსტონი: „გაყინული ნარკომანები“ (კალიფორნია). სინთეზურ ჰეროინში MPTP-ის მინარევმა მწვავე პარკინსონიზმი გამოიწვია. შედეგად მიიღეს პრიმატების მოდელი. ფიზიოლოგია: ბაზალური განგლიების წრეების ახალი მოდელი რაციონალურ სამიზნეს იძლეოდა.

ტექნოლოგია: MRT, კომპიუტერული დაგეგმვა, მიკროელექტროდები და იმპლანტირებადი სტიმულატორები უკვე მზად იყო

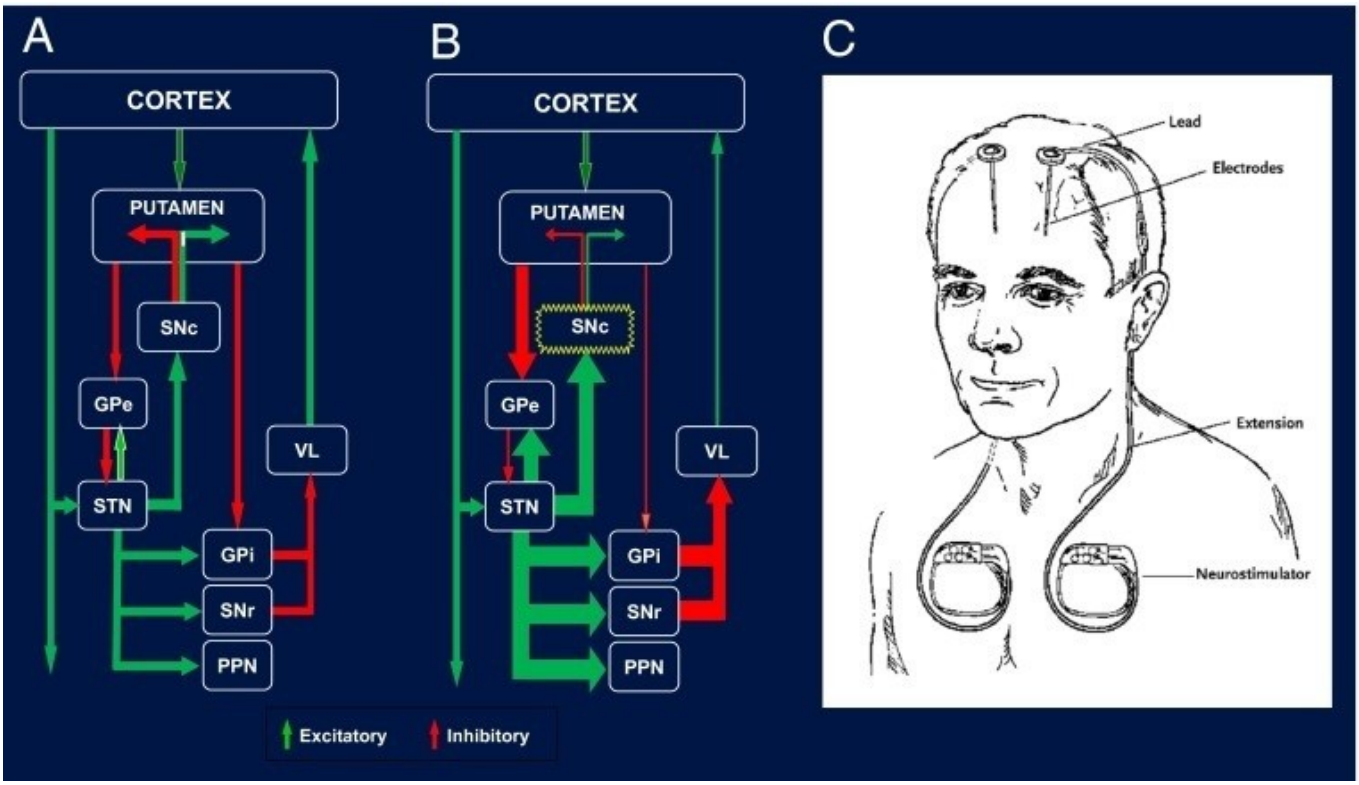


სურათი 1.85 — რატომ დაბრუნდა ქირურგია?.

ბაზალური განგლიების მოდელი და STN

სქემა: პირდაპირი და არაპირდაპირი გზები, ნორმა vs პარკინსონიზმი

ალბინი, იანგი, პენი; დელონგი: პირდაპირი და არაპირდაპირი გზები. დოფამინის დეფიციტისას STN და GPi ჰიპერაქტიურია, თალამოკორტიკული აქტივობა დათრგუნულია, შედეგად ვითარდება ბრადიკინეზია. 1990, Science: ჰაგაი ბერგმანი, თომას ვიხმანი, მაჰლონ დელონგი: MPTP-მაიმუნებში STN-ის ლეზია პარკინსონიზმის სიმპტომებს ხსნიდა. გარდატეხა: პირველად სამიზნე ფიზიოლოგიური თეორიიდან შეირჩა, და არა ემპირიულად. შემდგომი ევოლუცია: „სიხშირის მოდელიდან“ (rate model) პათოლოგიური ოსცილაციების (β-რიტმი, 13–30 ჰც) მოდელამდე. ეს ადაპტური DBS-ის საფუძველია.



სურათი 1.86 — ბაზალური განგლიების მოდელი და STN.

ლაური ლაიტინენი: პალიდოტომიის აღორძინება

ლაური ლაიტინენის პორტრეტი

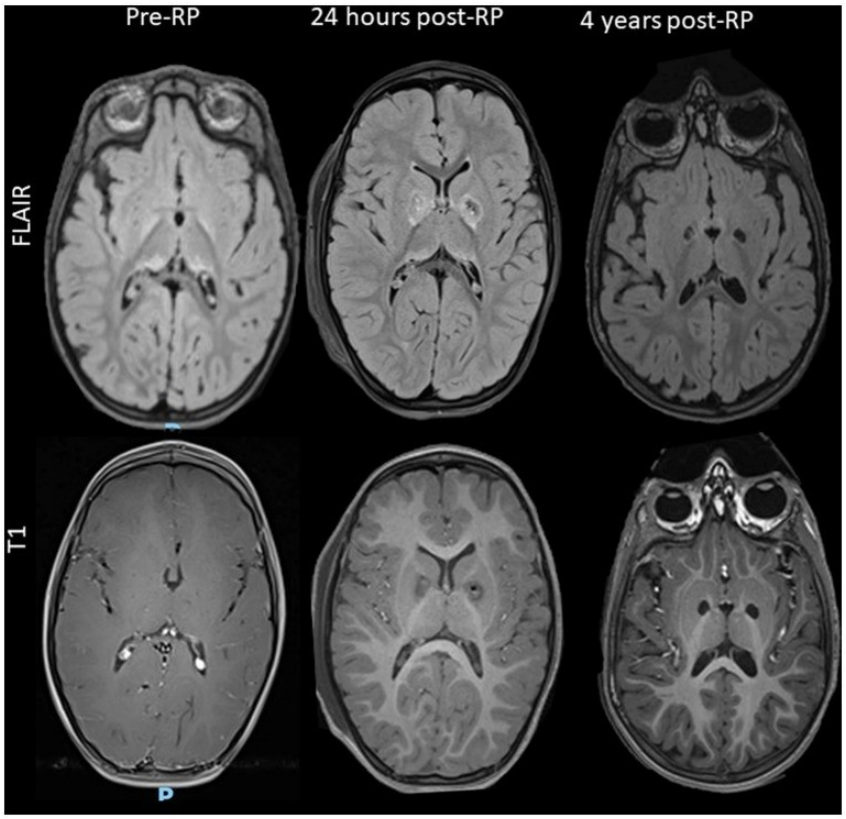
არქივი: ლაიტინენმა ლექსელის 1950-იანი წლების პოსტეროვენტრალური პალიდოტომიის შედეგები გადახედა. 1992, J Neurosurg: 38 პაციენტი: ბრადიკინეზიის, რიგიდობის, ტრემორის და ლევოდოპით გამოწვეული დისკინეზიის შემცირება. ეფექტი: მსოფლიოში ფუნქციური ქირურგიის ახალი ტალღა. 1990-იანი წლების შუა ხანებში პალიდოტომია სტანდარტული ოპერაცია გახდა. შეზღუდვა: ბილატერალური ლეზიების რისკი (დიზართრია, კოგნიცია). საჭირო გახდა შექცევადი მეთოდი, ანუ სტიმულაცია.



სურათი 1.87 — ლაური ლაიტინენი — ისტორიული პორტრეტი.

ლაური ლაიტინენი: პალიდოტომიის აღორძინება

პალიდოტომიის შემდეგ დაზიანების ევოლუციის თანამედროვე მრტ-ილუსტრაცია.



სურათი 1.88 — ლაური ლაიტინენი: პალიდოტომიის აღორძინება.

ბენაბიდი და პოლაკი: ტვინის ღრმა სტიმულაცია (DBS)

ალიმ-ლუი ბენაბიდის პორტრეტი

მიგნება: თალამოტომიის წინ ტესტ-სტიმულაციისას ალიმ-ლუი ბენაბიდმა და პიერ პოლაკმა შენიშნეს: >100 ჰც სიხშირე ტრემორს მყისიერად აჩერებს, გამორთვისას კი ტრემორი ბრუნდება. იდეა: ლეზიის ნაცვლად ქრონიკული მაღალსიხშირული სტიმულაცია, ანუ „შექცევადი, რეგულირებადი ლეზია“. პირველი პაციენტი: Vim-DBS კონტრალატერალური თალამოტომიის შემდეგ. STN: 1993: პირველი STN-DBS; 1995, Lancet (ლიმუზენი და თანაავტ.); 1998, NEJM. უპირატესობა: ბილატერალურად უსაფრთხოა, პარამეტრები რეგულირებადია, ეფექტი შექცევადია. 2014: ლასკერის პრემია (ბენაბიდი და დელონგი).



სურათი 1.89 — ალიმ ლუი ბენაბიდი — ისტორიული პორტრეტი.



სურათი 1.90 — ბენაბიდი და პოლაკი: ტვინის ღრმა სტიმულაცია (DBS).

DBS-ის სისტემა: რისგან შედგება

DBS-ის სისტემა: ელექტროდი, შემაერთებელი კაბელი და იმპულსების გენერატორი. ელექტროდი: სტერეოტაქსიულად, ~1.3 მმ დიამეტრი, 4 ან მეტი კონტაქტი (ახალ მოდელებში სეგმენტირებული).

ექსტენზია: კანქვეშ, კისრის გასწვრივ.

იმპლანტირებადი პულსის გენერატორი (IPG): ლავიწქვეშ; ერთჯერადი ან დამუხტვადი, ხშირად სენსორული ფუნქციით. პარამეტრები: ამპლიტუდა (მA/V), პულსის სიგანე (≈ 60–90 მკწმ), სიხშირე (≈ 130–185 ჰც); მონოპოლარული ან ბიპოლარული კონფიგურაცია. პროგრამირება: ოპერაციის შემდეგ, თვეების განმავლობაში, სიმპტომისა და გვერდითი მოვლენების მიხედვით.



სურათი 1.91 — DBS-ის სისტემა: რისგან შედგება.

ჩვენებების გაფართოება

1997–2018

ცხრილი 1.2 — ჩვენებების გაფართოება

წელი	ჩვენება	სამიზნე	ავტორი / ნებართვა
1997	ესენციური და პარკინსონული ტრემორი	Vim	FDA
1999	ტურეტის სინდრომი	თალამუსის მედიალური ბირთვები	ვანდევალე
1999	OCD	შიგნითა კაფსულის წინა ფეხი	ნუტინი
2000	გენერალიზებული დისტონია (DYT1)	GPi	კუბი
2002	პარკინსონის დაავადება	STN / GPi	FDA
2003	დისტონია	GPi / STN	FDA (HDE)
2005	რეზისტენტული დეპრესია	სუბკალოზური ცინგულური ზონა (Cg25)	მეიბერგი
2009	OCD	VC/VS	FDA (HDE)
2010	რეზისტენტული ეპილეფსია	თალამუსის წინა ბირთვი (ANT)	SANTE, ფიშერი

წელი	ჩვენება	სამიზნე	ავტორი / ნებართვა
2018	რეზისტენტული ეპილეფსია	ANT	FDA

HDE (Humanitarian Device Exemption) იშვიათი დაავადებისთვის გაცემული ნებართვაა, სრული ეფექტიანობის მტკიცებულების გარეშე. ევროპაში CE-მარკირება ზოგ ჩვენებაზე უფრო ადრე გაიცა.

მტკიცებულებები: რანდომიზებული კვლევები

2006–2015

2006, NEJM: დოიშლი და თანაავტ.: STN-DBS vs მედიკამენტური მკურნალობა. ცხოვრების ხარისხი და მოტორიკა მნიშვნელოვნად უკეთესი. 2009–2010: უივერი (JAMA, 2009), ფოლეტი (NEJM, 2010): GPi და STN მოტორული შედეგით მსგავსია, განსხვავება გვერდით მოვლენებსა და მედიკამენტის შემცირებაშია. 2013, NEJM: EARLYSTIM (შუპბახი): DBS ადრეული მოტორული გართულებების სტადიაზეც უკეთესია. ეპილეფსია: SANTE: ANT-DBS-ის დროს გულყრების სიხშირის შემცირება ~69% 5 წელში. უარყოფითი კვლევები: დეპრესიის მულტიცენტრულმა კვლევებმა (BROADEN, RECLAIM) პირველადი მიზანი ვერ მიაღწია, რაც სამიზნის ინდივიდუალიზაციის მნიშვნელობას აჩვენებს. კონტროლირებულმა კვლევებმა ფუნქციური ქირურგიის გადაწყვეტილებებში შედარებითი ეფექტურობისა და უსაფრთხოების მტკიცებულება გააძლიერა. უარყოფითი კვლევებიც ისტორიის ნაწილია და მეცნიერულ სიმწიფეს აჩვენებს.

მტკიცებულებები: რანდომიზებული კვლევები

კვლევის შედეგების სქემური შეჯამება — Deuschl et al., NEJM 2006;355:896–908.

Deuschl et al. · NEJM · 2006

156 პაციენტი • STN-DBS + მედიკამენტები vs მედიკამენტური მკურნალობა

6 თვეში: საშუალო გაუმჯობესება ნეიროსტიმულაციის ჯგუფში

9.5 ქულა

PDQ-39 · ცხოვრების ხარისხი

19.6 ქულა

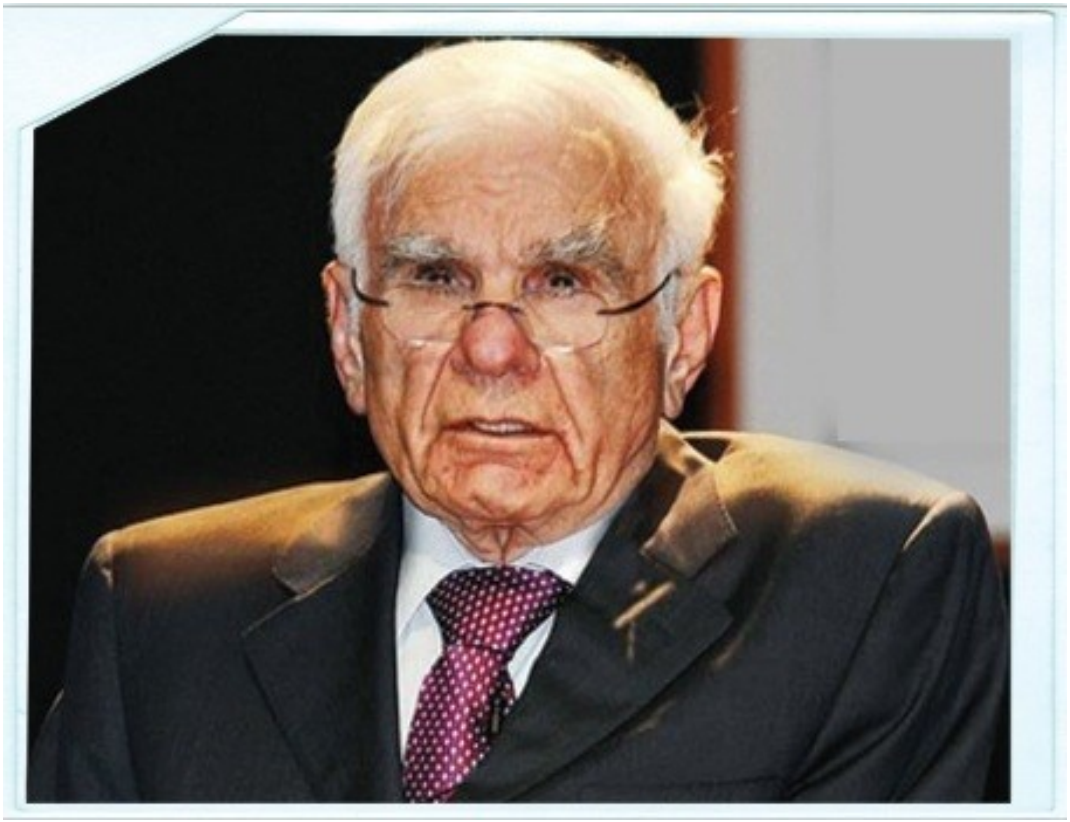
UPDRS-III · მოტორული ფუნქცია

ორივე სკალაზე ქულის შემცირება გაუმჯობესებას ნიშნავს.

ეპილეფსიის ქირურგიის პარალელური ხაზი

გაზი იაშარგილი — მიკრონეიროქირურგიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი. 1950-იანი: მარე ფალკონერი (ლონდონი): en bloc ანტერიორული ტემპორალური ლობექტომია და ჰიპოკამპური სკლეროზის პათოლოგიური აღწერა. 1982: ვიზერი და იაშარგილი: სელექციური

ამიგდალოჰიპოკამპექტომია. 1993 · 2001: ენგელის შედეგების კლასიფიკაცია; უიბის RCT (NEJM): ქირურგია მედიკამენტზე ეფექტურია საფეთქლის წილის ეპილეფსიისას. ნეირომოდულაცია: VNS (FDA 1997), RNS (2013), ANT-DBS (2018). მინიმალურად ინვაზიური: LITT, SEEG-ელექტროდებით RF-თერმოკოაგულაცია, რადიოქირურგია.



სურათი 1.92 — ეპილეფსიის ქირურგიის პარალელური ხაზი.

თანამედროვე მეთოდები და მომავალი

MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS)

MRgFUS სისტემა (ჩაფხუტი MRT-აპარატში)

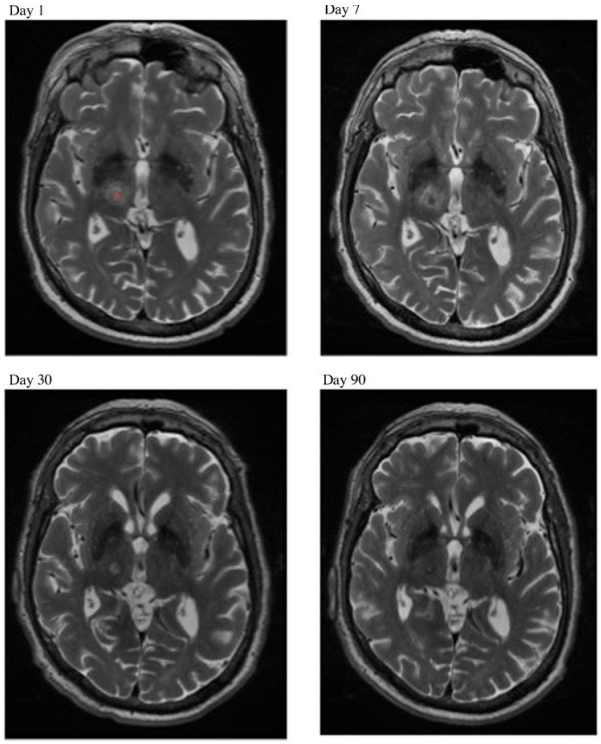
იდეა ძველია: 1950-იანი: ფრაის ძმები (აიოვა): ულტრაბგერითი ლეზიები თავის ქალის გახსნით. ტექნოლოგია: ფაზური მასივი (>1000 ემიტერი), ქალას ძვლის კორექცია CT-ით და MR-თერმომეტრია. ლეზია იქმნება ქალის გახსნის გარეშე, ზრდადი ტესტ-დოზებით. 2016, NEJM: ილაიასი და თანაავტ.: ესენციური ტრემორის RCT; იმავე წელს FDA-ს ნებართვა. გაფართოება: პარკინსონის ტრემორი (2018), ცალმხრივი პალიდოტომია (2021), ეტაპობრივი ბილატერალური თალამოტომია (2022–2023). კვლევა: დაბალი ინტენსივობის FUS: ჰემატოენცეფალური ბარიერის დროებითი გახსნა წამლის მიწოდებისთვის.



სურათი 1.93 — MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS).

MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS)

MRgFUS თალამოტომიის უბნის მრტ-ცვლილებები დროში.



სურათი 1.94 — MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS).

LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება

ROSA / Neuromate რობოტი საოპერაციოში

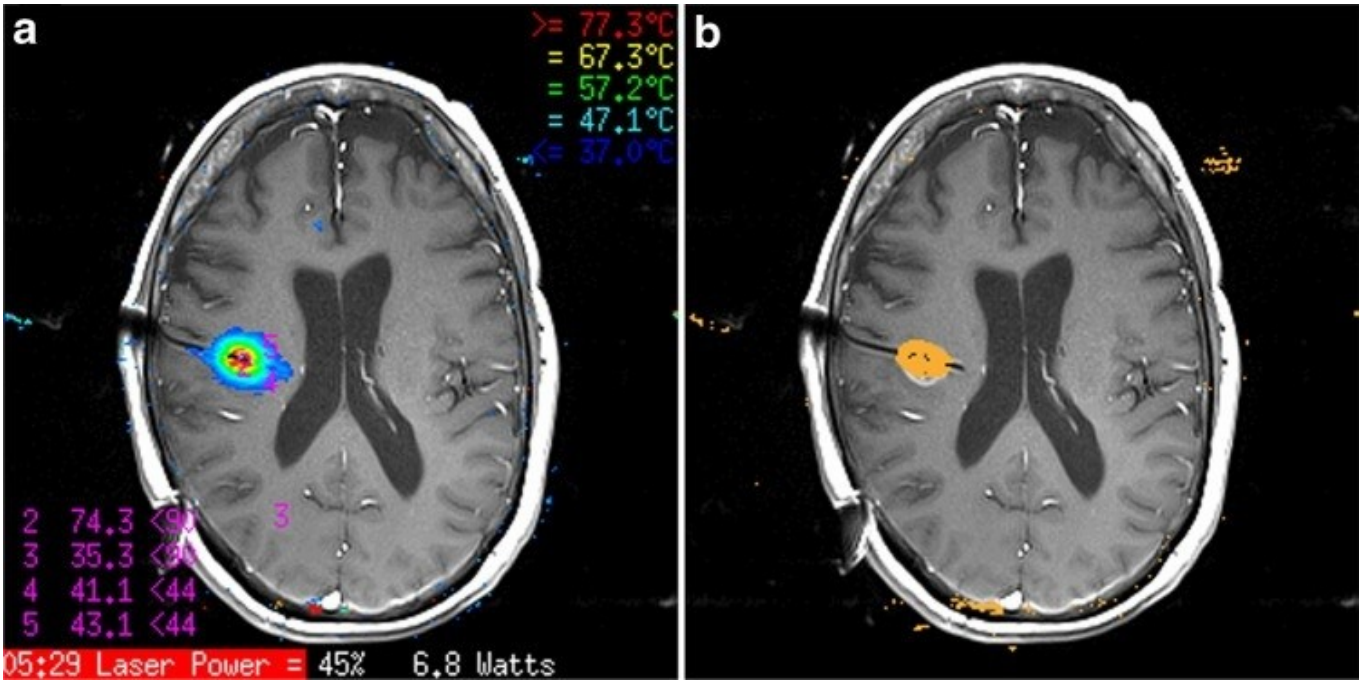
LITT: ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია: სამიზნე ქსოვილის ლაზერით გაცხელება და თერმული განადგურება (აბლაცია). ლაზერული ბოჭკო სტერეოტაქსიულად, MR-თერმომეტრიის კონტროლით: მეზიოტემპორული ეპილეფსია, ჰიპოთალამური ჰამარტომა, კავერნომა, რადიაციული ნეკროზი. რობოტული სისტემები: Neuromate, ROSA და სხვ.: ტრაექტორიის მექანიკური სიზუსტე, მრავალელექტროდიანი SEEG ერთ სესიაში. SEEG: სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია: ტვინში სტერეოტაქსიულად ჩადგმული სიღრმული ელექტროდებით ელექტრული აქტივობის ჩაწერა, უმეტესად ეპილეფსიური შეტევების საწყისი უბნის დასადგენად ფრანგული სკოლიდან (ტალერაში–ბანკო) 2010-იან წლებში ჩრდილოეთ ამერიკასა და მთელ მსოფლიოში გავრცელდა. ინტრაოპერაციული ვიზუალიზაცია: O-arm, iMRI: DBS ანესთეზიით, ელექტროდის პოზიციის ვიზუალიზაციით დადასტურება, ზოგ ცენტრში MER-ის გარეშე.



სურათი 1.95 — LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება.

LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება

ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია (LITT): მრტ-თერმომეტრია და აბლაციის კონტროლი.

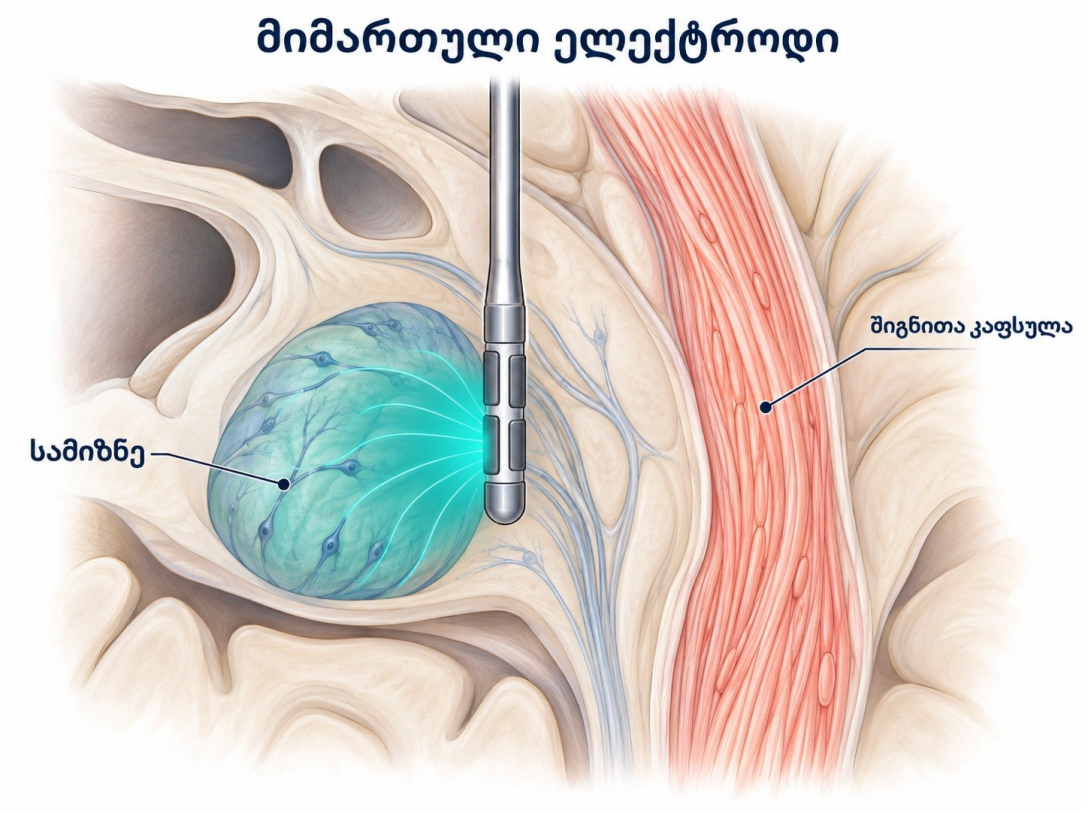


სურათი 1.96 — LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება.

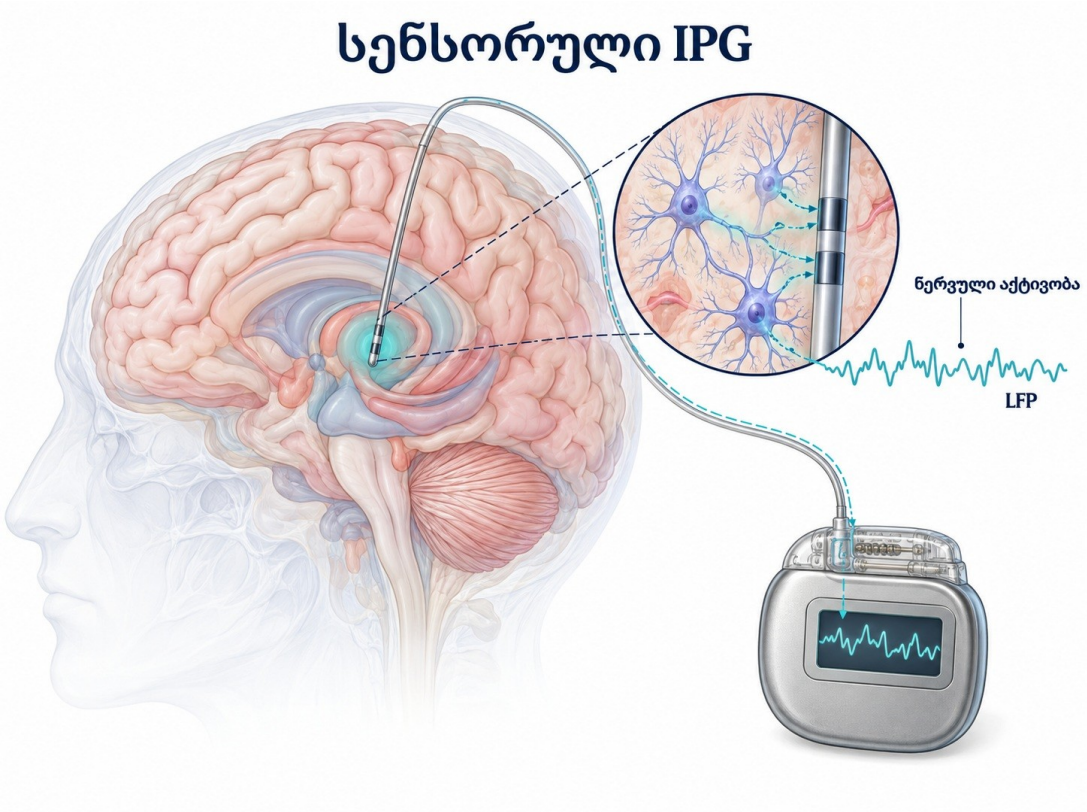
DBS-ის ახალი თაობა

2013–2025

მიმართული ელექტროდები — სტიმულაციის მიმართულების შერჩევა. სეგმენტირებული კონტაქტებით ელექტრული ველი მეტად მიემართება სასურველი უბნისკენ და მცირდება მეზობელი სტრუქტურების, მაგალითად, შიგნითა კაფსულის არასასურველი სტიმულაცია. ეს გვერდითი ეფექტების შემცირებას უწყობს ხელს. სენსორული ფუნქციის მქონე IPG — ტვინის აქტივობის ჩაწერა. იმპლანტირებული გენერატორი ელექტროდების მეშვეობით აფიქსირებს ლოკალური ველის პოტენციალებს (LFP) — ახლომდებარე ნეირონული ჯგუფების ჯამურ ელექტრულ აქტივობას. ყოველდღიურ ცხოვრებაში მიღებული მონაცემები ექიმს სტიმულაციის მორგებაში ეხმარება; მხოლოდ ჩაწერის ფუნქცია ავტომატურ რეგულირებას არ ნიშნავს.



სურათი 1.97 — DBS-ის ახალი თაობა.



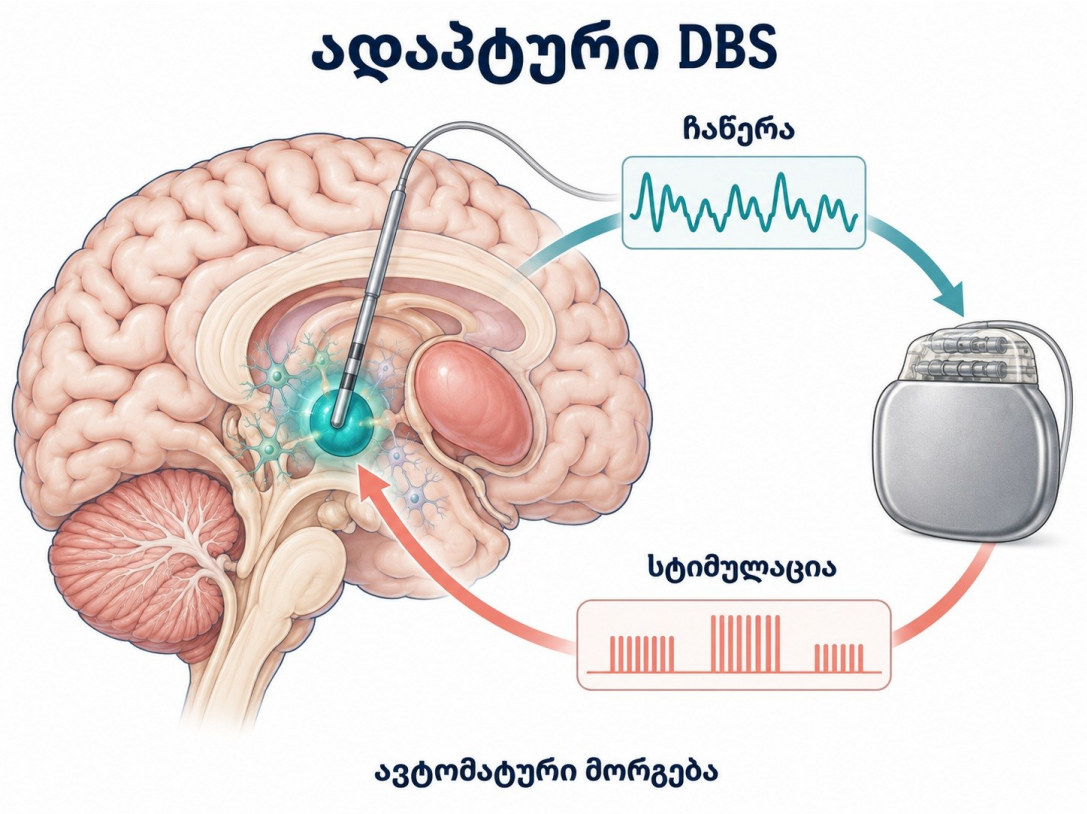
სურათი 1.98 — DBS-ის ახალი თაობა.

ეს იყო გადასვლა „ბირთვის ქირურგიიდან“ „ქსელის ქირურგიაზე“. სამიზნე აღარ არის მხოლოდ ანატომიური წერტილი: ეს არის ფუნქციური წრის კვანძი.

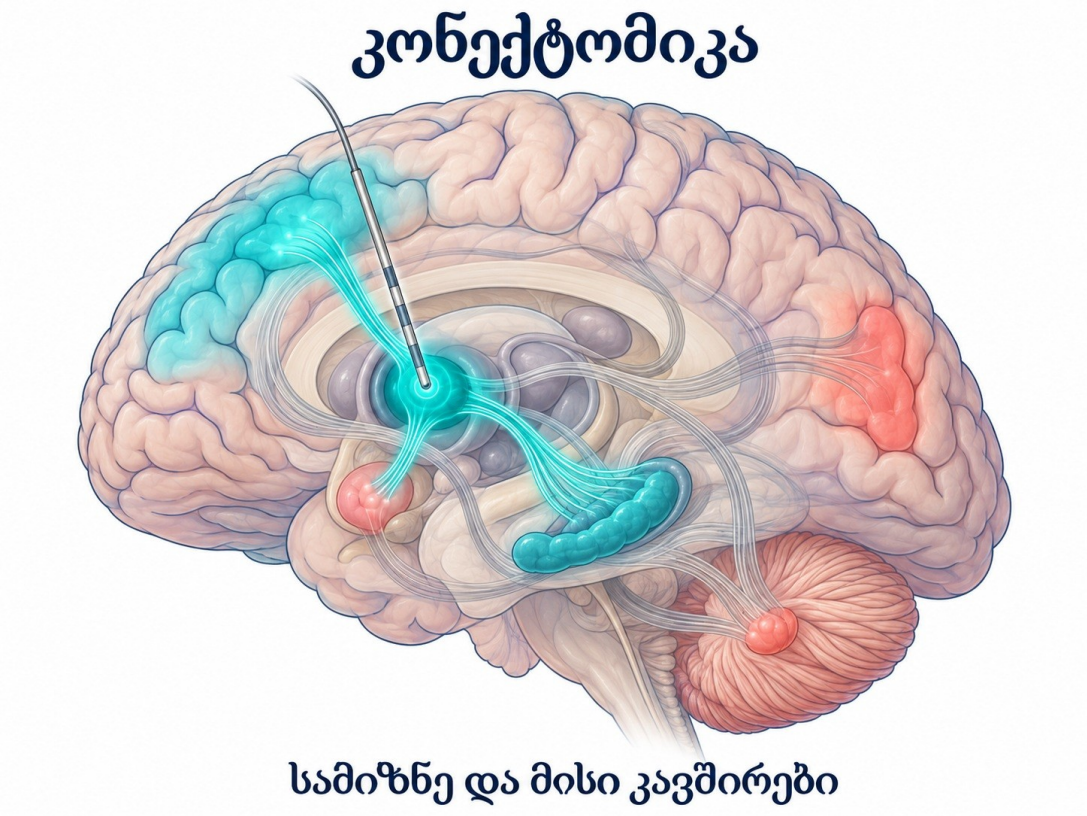
DBS-ის ახალი თაობა

2013–2025

ადაპტური DBS — სტიმულაციის ავტომატური მორგება. სისტემა აღრიცხავს ტვინის სიგნალს, მაგალითად, ბეტა-აქტივობას, და მის მიხედვით, ექიმის მიერ განსაზღვრულ ფარგლებში, ცვლის სტიმულაციის ინტენსივობას. 2025 წელს FDA-მ პარკინსონის დაავადებისთვის Medtronic-ის BrainSense Adaptive სისტემა დაამტკიცა. კონექტომიკა — სამიზნის კავშირების გათვალისწინება. იკვლევს, როგორ უკავშირდება სტიმულაციის უბანი ტვინის სხვა ნაწილებს. მკურნალობის ეფექტი დამოკიდებულია როგორც ელექტროდის მდებარეობაზე, ისე იმ ნერვულ ქსელზე, რომელზეც სტიმულაცია ზემოქმედებს.



სურათი 1.99 — DBS-ის ახალი თაობა.

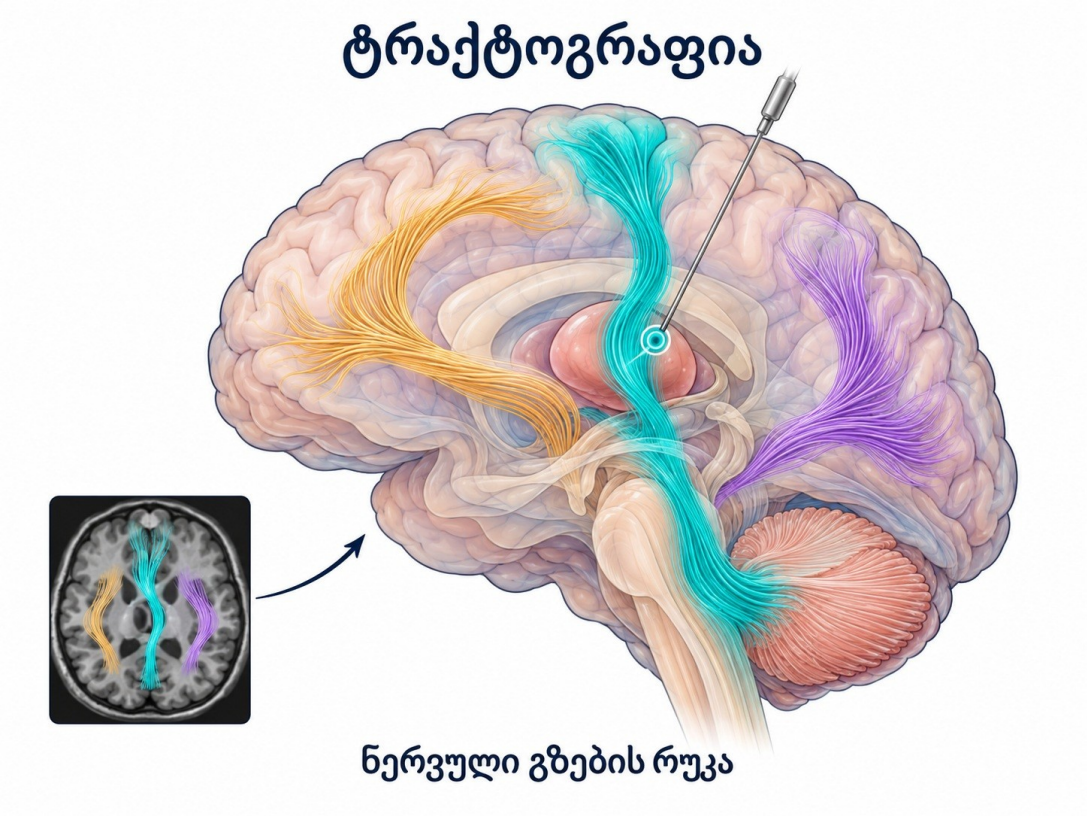


სურათი 1.100 — DBS-ის ახალი თაობა.

DBS-ის ახალი თაობა

2013–2025

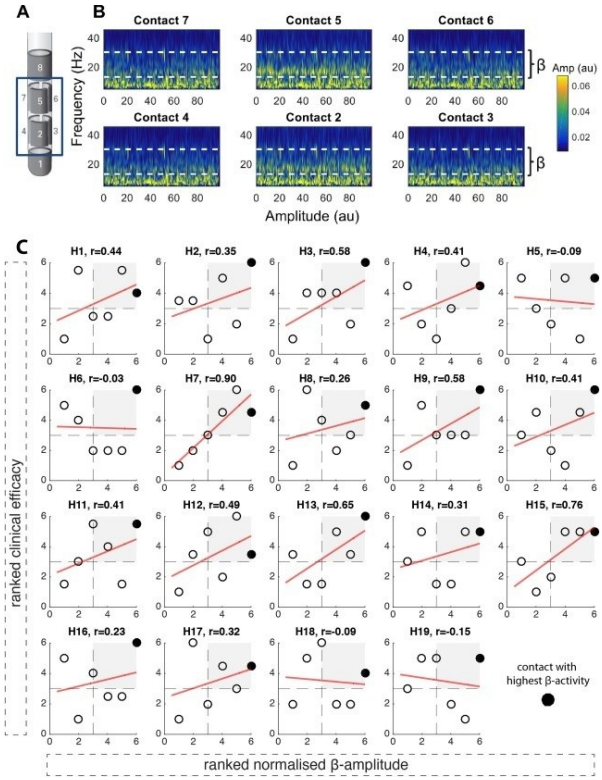
ტრაქტოგრაფიით დაგეგმვა — ნერვული გზების რუკით სამიზნის შერჩევა. დიფუზიური MRI-ის მონაცემებით კომპიუტერი აღადგენს თეთრი ნივთიერების ბოჭკოების სავარაუდო მიმართულებებს. ეს ეხმარება სამიზნის ინდივიდუალურად შერჩევას; მაგალითად, დეპრესიის კვლევებში — Cg25-ის მიმდებარე კავშირების გათვალისწინებას. ტრაქტოგრაფია გამოთვლითი მოდელია და ანატომიას სრულად ზუსტად ვერ ასახავს.



სურათი 1.101 — DBS-ის ახალი თაობა.

DBS-ის ახალი თაობა

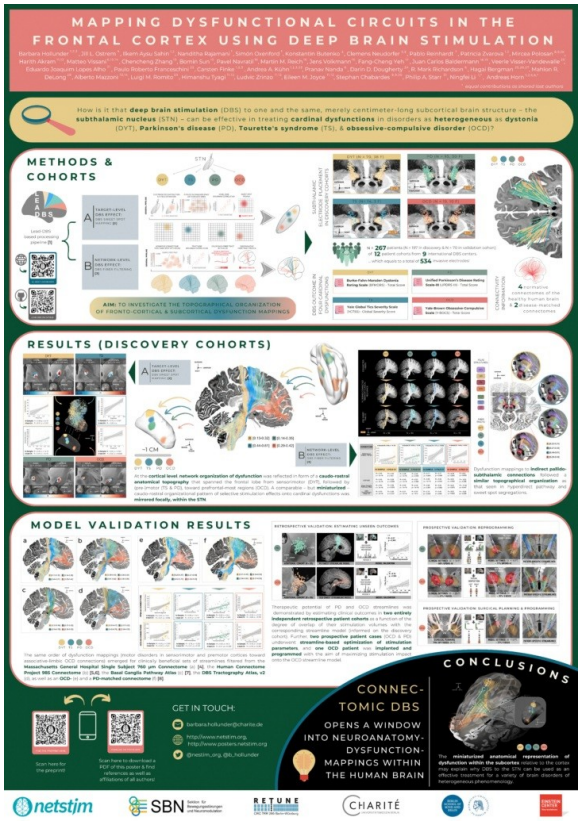
მიმართულებითი DBS ელექტროდი და კონტაქტებიდან ჩაწერილი LFP სიგნალები.



სურათი 1.102 — DBS-ის ახალი თაობა.

DBS-ის ახალი თაობა

კონექტომური DBS: STN-ის სამიზნეები და ფრონტალური ქსელები — Hollunder et al., OHBM 2023.

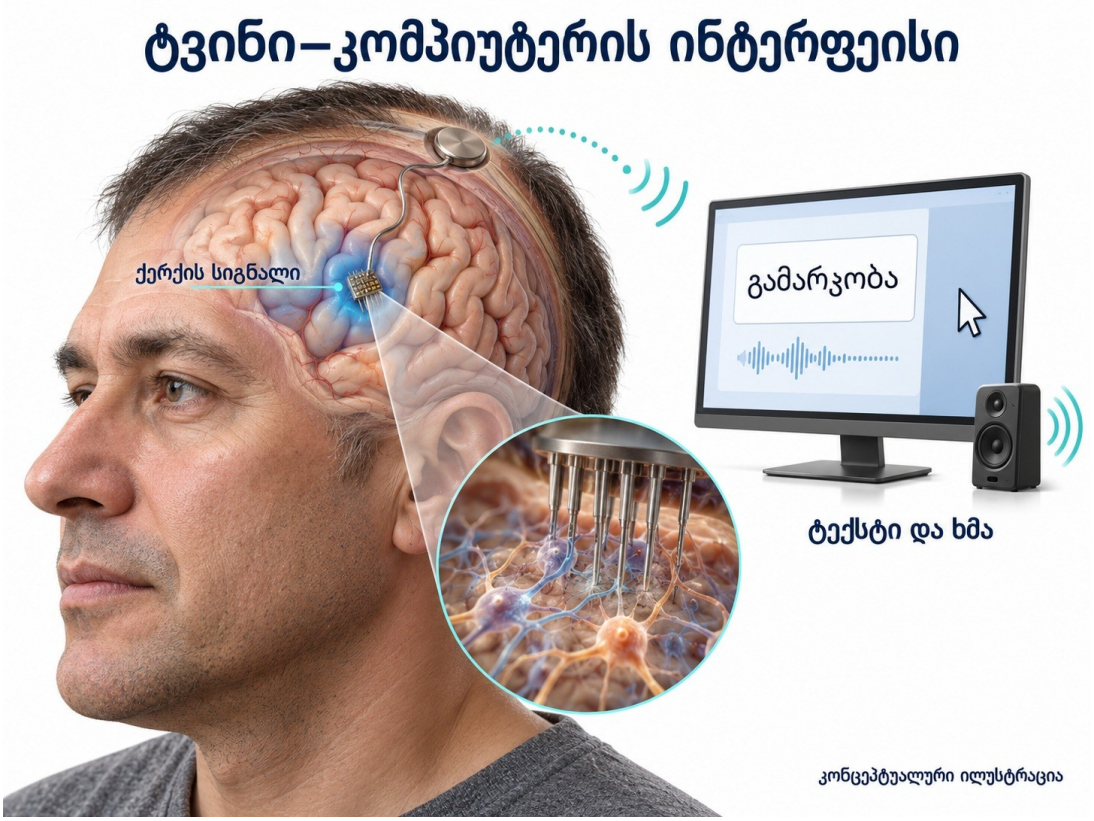


სურათი 1.103 — DBS-ის ახალი თაობა.

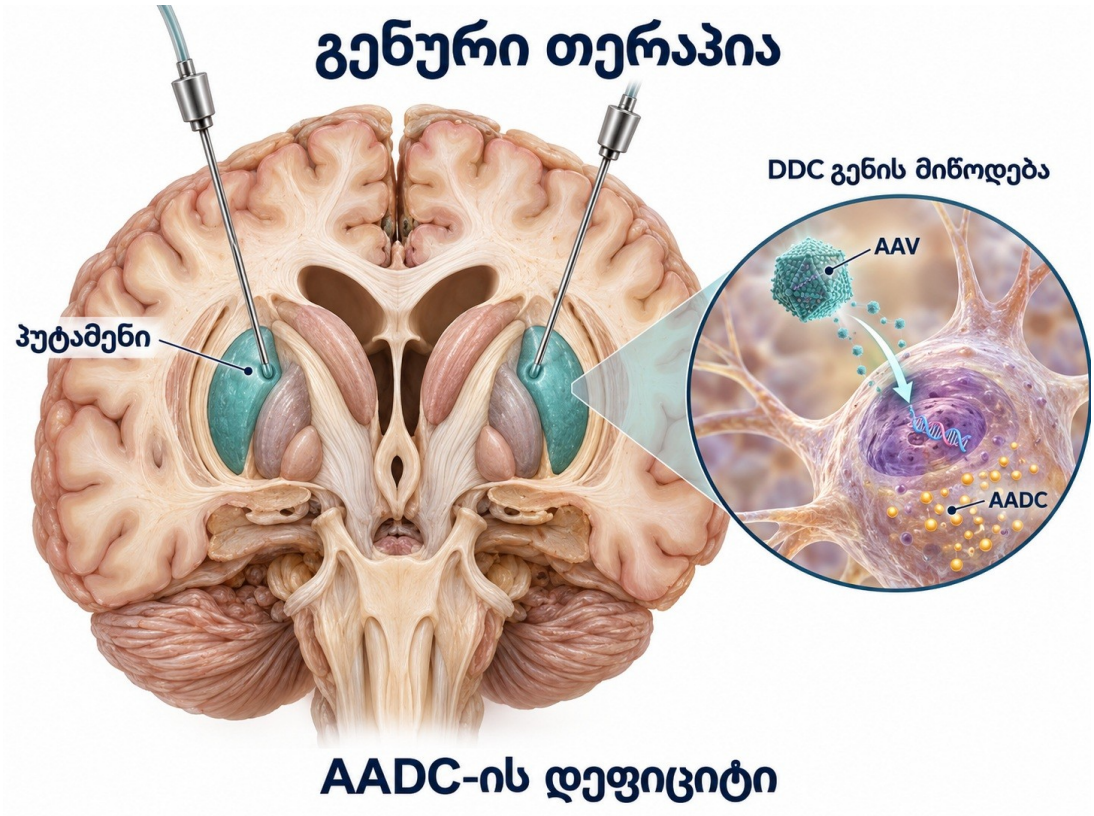
აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები

2006 → მომავალი

ტვინი–კომპიუტერის ინტერფეისი: BrainGate (ჰოხბერგი, 2006); მეტყველების ნეიროპროთეზები (Nature, 2023); სრულად იმპლანტირებადი უსადენო სისტემები (2024-დან). გენური თერაპია: AADC-ის დეფიციტი: ელადოკაგენ ექსუპარვოვეკის სტერეოტაქსიული ინფუზია პუტამენში (EU 2022, FDA 2024).



სურათი 1.104 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები.



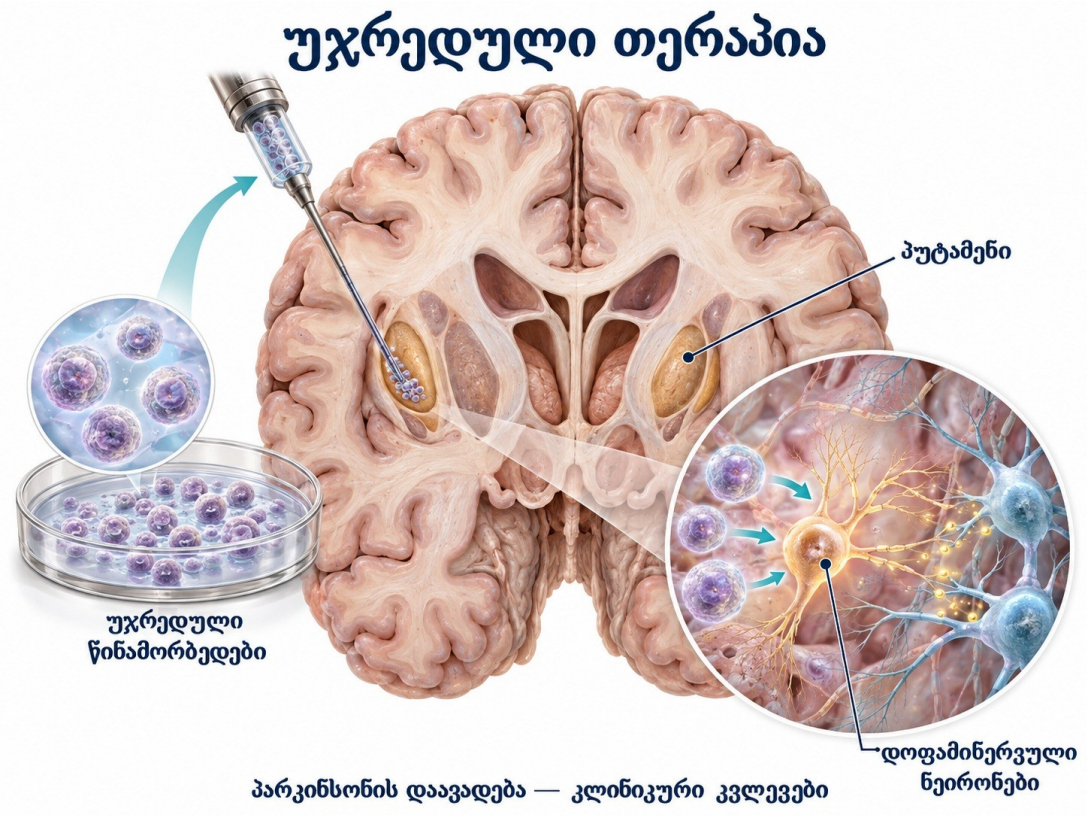
სურათი 1.105 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები.

ამ მიმართულებების დიდი ნაწილი ჯერ კიდევ კლინიკური კვლევის ეტაპზეა.

აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები

2006 → მომავალი

უჯრედული თერაპია: ემბრიონული დოფამინერგული ტრანსპლანტაცია (1980–90-იანი) → ღეროვანი უჯრედებიდან მიღებული ნეირონები (კლინიკური კვლევები, 2025). ზურგის ტვინის სტიმულაცია სიარულისთვის: კურტინი და ბლოხი: ეპიდურული სტიმულაცია და „ციფრული ხიდი“ ტვინსა და ზურგის ტვინს შორის (2018–2023).



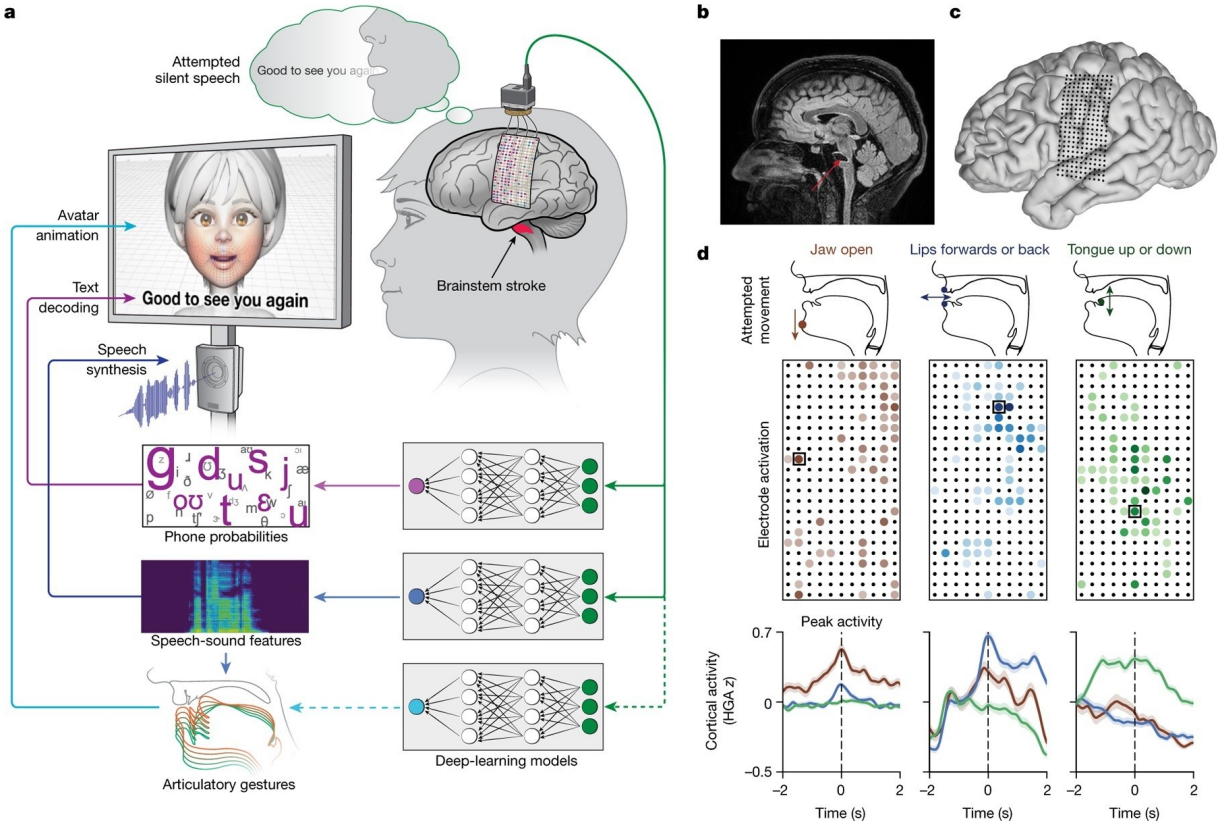
სურათი 1.106 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები.



სურათი 1.107 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები.

აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები

მეტყველების ნეიროპროთეზი — კორტიკული სიგნალიდან ტექსტამდე, ხმამდე და ავატარამდე.



სურათი 1.108 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები.

ისტორიის ოთხი გაკვეთილი

სიზუსტე

„ბრმა“ ლობოტომიიდან მილიმეტრულ, ვიზუალიზაციით დადასტურებულ სამიზნემდე.

შექცევადობა

დესტრუქციული ლეზიიდან რეგულირებად სტიმულაციამდე და დახურულ მარყუჟამდე.

მტკიცებულება

ემპირიული მიგნებიდან (კუპერი) ფიზიოლოგიურ თეორიამდე (დელონგი) და რანდომიზებულ კვლევამდე.

ეთიკა

ფსიქოქირურგიის ისტორია: ინფორმირებული თანხმობა, მულტიდისციპლინური გუნდი, დამოუკიდებელი კონტროლი. ისტორიული გამოცდილება თანამედროვე მეთოდების ხანგრძლივ შეფასებასაც აუცილებელს ხდის: ტექნიკური სიახლე თავისთავად არც ეთიკურ გამართლებას და არც მდგრად კლინიკურ სარგებელს არ უზრუნველყოფს. BCI და ნეიროეთიკა, მონაცემების კონფიდენციალურობა).

ეტაპები ერთ ცხრილში

ცხრილი 1.3 — ეტაპები ერთ ცხრილში

ეტაპი	პერიოდი	საკვანძო ფიგურები	მთავარი მიღწევა
ლოკალიზაცია	1810–1913	ჯექსონი, ბროკა, ჰორსლი, ფოერსტერი	ფუნქციური ლოკალიზაცია, პირველი ოპერაციები
ექსპერიმენტული სტერეოტაქსია	1873–1918	ზერნოვი, ჰორსლი და კლარკი, მასენი	დეკარტის კოორდინატები
ფსიქოქირურგია	1935–1955	მონიში, ფრიმენი	ლეიკოტომია და ეთიკური კრიზისი
ადამიანის სტერეოტაქსია	1947–1968	შპიგელი და უაიკისი, ლექსელი, ტალერაში, კუპერი	ჩარჩოები, ატლასები, ლეზიური ქირურგია, MER
რადიოქირურგია / L-DOPA	1951–1985	ლექსელი, კოციასი, მელზაკი და უოლი, ჯანეტა	გამა-დანა, ტკივილის და სპასტიურობის ქირურგია
ვიზუალიზაცია	1971–1990	ჰაუნსფილდი, ბრაუნი, კელი	CT/MRT-ზე დაფუძნებული დამიზნება
DBS-ის ეპოქა	1987–2010	ბენაბიდი, დელონგი, ლაიტინენი	რეგულირებადი ნეირომოდულაცია, RCT-ები
თანამედროვე	2010–	ილაიასი, მეიბერგი, ჰორნი	MRgFUS, LITT, aDBS, კონექტომიკა

დარგის შემქმნელები

პიროვნებები

ვიქტორ ჰორსლი

1857–1916

ერნსტ შპიგელი

1895–1985

ჰენრი უაიკისი

1911–1972

ლარს ლექსელი

1907–1986

ჟან ტალერაში

1911–2007

როლფ ჰასლერი

1914–1984

ირვინგ კუპერი

1922–1985

ნატალია ბეხტერევა

1924–2008

ლაური ლაიტინენი

1928–2005

მაჰლონ დელონგი

1938–2024

ალიმ-ლუი ბენაბიდი

დ. 1942

ჰელენ მეიბერგი

დ. 1956



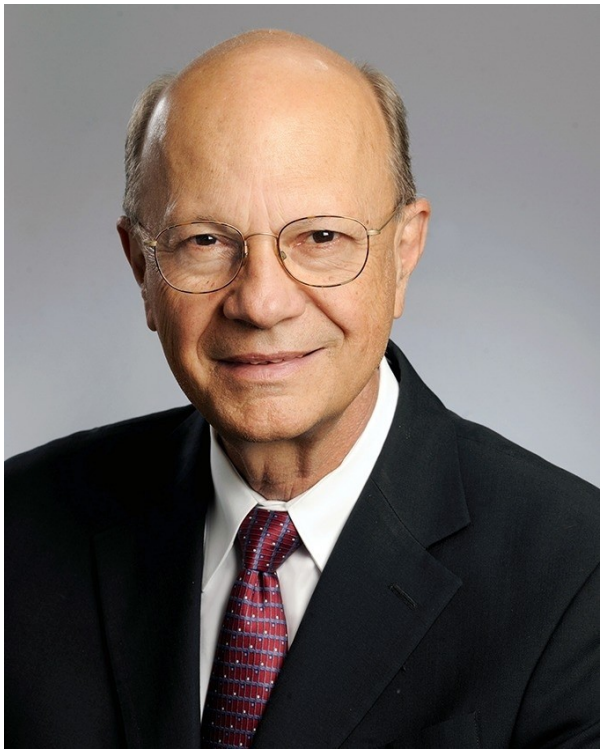
სურათი 1.109 — როლფ ჰასლერი — ისტორიული პორტრეტი.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.89.



სურათი 1.110 — ვიქტორ ჰორსლი — ისტორიული პორტრეტი.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.45.



სურათი 1.111 — მაჰლონ დელონგი — ისტორიული პორტრეტი.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.43.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.87.



სურათი 1.112 — ჰენრი უაიკისი — ისტორიული პორტრეტი.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.67.

იგივე ილუსტრაცია იხილეთ სურათზე 1.40.



სურათი 1.113 — ირვინგ კუპერი — ისტორიული პორტრეტი.



სურათი 1.114 — ჰელენ მეიბერგი — ისტორიული პორტრეტი.



სურათი 1.115 — ისტორიული ნაწილის შემაჯამებელი ილუსტრაცია.

ლიტერატურა და დამატებითი წყაროები

მასალის საფუძველია ვლადიმერ ბაზიაშვილის ხუთი პრეზენტაცია. მათი შინაარსი და ილუსტრაციები გადამუშავებულია სახელმძღვანელოს ფორმატში. ქვემოთ გამოყოფილია პრეზენტაციების ლიტერატურა და დამატებითი წყაროები. ქვემოთ შენარჩუნებულია სალექციო მასალების ბიბლიოგრაფია. სახელმძღვანელოები ამ კურსის წყაროებად თავად პრეზენტაციებშია დასახელებული; მათი სრული ტექსტის დამოუკიდებელი გადამუშავება ამ გამოცემის საფუძვლად არ იგულისხმება. განმეორებული ჩანაწერები თავების მიხედვითაა დატოვებული, რათა თემასთან კავშირი ადვილად მოიძებნოს.

თავი 1 — ძირითადი ლიტერატურა

Lozano AM, Gildenberg PL, Tasker RR (eds). Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. 2nd ed. Springer; 2009. Gross RE, Boulis NM (eds). Neurosurgical Operative Atlas: Functional Neurosurgery. Thieme. Horsley V, Clarke RH. The structure and functions of the cerebellum examined by a new method. Brain. 1908;31:45–124. Spiegel EA, Wycis HT, Marks M, Lee AJ. Stereotaxic apparatus for operations on the human brain. Science. 1947;106:349–350. Leksell L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. Acta Chir Scand. 1951;102:316–319. Laitinen LV, Bergenheim AT, Hariz MI. Leksell's posteroventral pallidotomy in the treatment of Parkinson's disease. J Neurosurg. 1992;76:53–61. Bergman H, Wichmann T, DeLong MR. Reversal of experimental parkinsonism by lesions of the subthalamic nucleus. Science. 1990;249:1436–1438.

Benabid AL, Pollak P, Louveau A, et al. Combined (thalamotomy and stimulation) stereotactic surgery of the VIM thalamic nucleus for bilateral Parkinson disease. Appl Neurophysiol. 1987;50:344–346. Limousin P, Pollak P, Benazzouz A, et al. Effect on parkinsonian signs and symptoms of bilateral subthalamic nucleus stimulation. Lancet. 1995;345:91–95. Deuschl G, Schade-Brittinger C, Krack P, et al. A randomized trial of deep-brain stimulation for Parkinson's disease. N Engl J Med. 2006;355:896–908. Mayberg HS, Lozano AM, Voon V, et al. Deep brain stimulation for treatment-resistant depression. Neuron. 2005;45:651–660. Elias WJ, Lipsman N, Ondo WG, et al. A randomized trial of focused ultrasound thalamotomy for essential tremor. N Engl J Med. 2016;375:730–739.

თავი 2 — ძირითადი ლიტერატურა

Lozano AM, Gildenberg PL, Tasker RR (eds). Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. 2nd ed. Springer; 2009. Gross RE, Boulis NM (eds). Neurosurgical Operative Atlas: Functional Neurosurgery. Thieme. Alexander GE, DeLong MR, Strick PL. Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. Annu Rev Neurosci. 1986;9:357–381. Postuma RB, et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. Mov Disord. 2015;30:1591–1601. Deuschl G, et al. A randomized trial of deep-brain stimulation for Parkinson's disease. N Engl J Med. 2006;355:896–908. Schuepbach WMM, et al. Neurostimulation for Parkinson's disease with early motor complications. N Engl J Med. 2013;368:610–622. Follett KA, et al. Pallidal versus subthalamic deep-brain stimulation for Parkinson's disease. N Engl J Med. 2010;362:2077–2091.

Bhatia KP, et al. Consensus statement on the classification of tremors. Mov Disord. 2018;33:75–87. Elias WJ, et al. A randomized trial of focused ultrasound thalamotomy for essential tremor. N Engl J Med. 2016;375:730–739. Albanese A, et al. Phenomenology and classification of dystonia: a consensus update. Mov Disord. 2013;28:863–873. Vidailhet M, et al. Bilateral deep-brain stimulation of the globus pallidus in primary generalized dystonia. N Engl J Med. 2005;352:459–467. Martinez-Ramirez D, et al. Efficacy and safety of DBS in Tourette syndrome: the International Tourette Syndrome DBS Registry. JAMA Neurol. 2018;75:353–359. Lance JW. Symposium synopsis. In: Spasticity: Disordered Motor Control. Year Book; 1980. Penn RD, Kroin JS. Intrathecal baclofen alleviates spinal cord spasticity. Lancet. 1984;1:1078.

თავი 3 — ძირითადი ლიტერატურა

Lozano AM, Gildenberg PL, Tasker RR (eds). Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. 2nd ed. Springer; 2009. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. Science. 1965;150:971–979. Reynolds DV. Surgery in the rat during electrical analgesia induced by focal brain stimulation. Science. 1969;164:444–445. Cruccu G, et al. Trigeminal neuralgia: new classification and diagnostic grading. Neurology. 2016;87:220–228. Barker FG, et al. The long-term outcome of microvascular decompression for trigeminal neuralgia. N Engl J Med. 1996;334:1077–1083. Kemler MA, et al. Spinal cord stimulation in patients with chronic reflex sympathetic dystrophy. N Engl J Med. 2000;343:618–624. Kumar K, et al. Spinal cord stimulation versus conventional medical management (PROCESS). Pain. 2007;132:179–188.

North RB, et al. Spinal cord stimulation versus repeated lumbosacral spine surgery. Neurosurgery. 2005;56:98–107. Kapural L, et al. Novel 10-kHz high-frequency therapy (SENZA-RCT). Anesthesiology. 2015;123:851–860. Deer TR, et al. Dorsal root ganglion stimulation yielded higher treatment success rate (ACCURATE). Pain. 2017;158:669–681. Tsubokawa T, et al. Chronic motor cortex stimulation for the treatment of central pain. Acta Neurochir Suppl. 1991;52:137–139. Smith TJ, et al. Randomized clinical trial of an implantable drug delivery system for refractory cancer pain. J Clin Oncol. 2002;20:4040–4049. Harden RN, et al. Validation of proposed diagnostic criteria (the Budapest Criteria) for CRPS. Pain. 2010;150:268–274. Sindou M. Microsurgical DREZotomy. In: Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. Springer; 2009.

თავი 4 — ძირითადი ლიტერატურა

Lozano AM, Gildenberg PL, Tasker RR (eds). Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. 2nd ed. Springer; 2009. Kwan P, et al. Definition of drug resistant epilepsy: consensus proposal by the ILAE. Epilepsia. 2010;51:1069–1077. Rosenow F, Lüders H. Presurgical evaluation of epilepsy. Brain. 2001;124:1683–1700. Wiebe S, et al. A randomized, controlled trial of surgery for temporal-lobe epilepsy. N Engl J Med. 2001;345:311–318. Engel J Jr, et al. Early surgical therapy for drug-resistant temporal lobe epilepsy (ERSET). JAMA. 2012;307:922–930. Dwivedi R, et al. Surgery for drug-resistant epilepsy in children. N Engl J Med. 2017;377:1639–1647. Blümcke I, et al. The clinicopathologic spectrum of focal cortical dysplasias. Epilepsia. 2011;52:158–174. Barbaro NM, et al. Radiosurgery versus open surgery for mesial temporal lobe epilepsy (ROSE). Ann Neurol. 2018;84:31–40.

Fisher R, et al. Electrical stimulation of the anterior nucleus of thalamus (SANTE). Epilepsia. 2010;51:899–908. Salanova V, et al. Long-term efficacy and safety of thalamic stimulation for drug-resistant partial epilepsy. Neurology. 2015;84:1017–1025. Morrell MJ. Responsive cortical stimulation for the treatment of medically intractable partial epilepsy. Neurology. 2011;77:1295–1304. Nair DR, et al. Nine-year prospective efficacy and safety of brain-responsive neurostimulation. Neurology. 2020;95:e1244–e1256. Dalic LJ, et al. DBS of the centromedian thalamic nucleus for Lennox–Gastaut syndrome (ESTEL). Ann Neurol. 2022;91:253–267. Fisher RS, et al. Operational classification of seizure types by the ILAE. Epilepsia. 2017;58:522–530.

თავი 5 — ძირითადი ლიტერატურა

Nuttin B, et al. Consensus on guidelines for stereotactic neurosurgery for psychiatric disorders. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2014;85:1003–1008. Mallet L, et al. Subthalamic nucleus stimulation in severe obsessive-compulsive disorder. N Engl J Med. 2008;359:2121–2134. Lopes AC, et al. Gamma ventral capsulotomy for obsessive-compulsive disorder: a randomized clinical trial. JAMA Psychiatry. 2014;71:1066–1076; corrected/replaced 2015. Li N, et al. A unified connectomic target for deep brain stimulation in obsessive-compulsive disorder. Nat Commun. 2020;11:3364. Mayberg HS, et al. Deep brain stimulation for treatment-resistant depression. Neuron. 2005;45:651–660. Holtzheimer PE, et al. Subcallosal cingulate DBS for treatment-resistant depression (BROADEN). Lancet Psychiatry. 2017;4:839–849.

Schiff ND, et al. Behavioural improvements with thalamic stimulation after severe traumatic brain injury. Nature. 2007;448:600–603. Giacino JT, et al. Placebo-controlled trial of amantadine for severe traumatic brain injury. N Engl J Med. 2012;366:819–826. Hochberg LR, et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm. Nature. 2012;485:372–375. Willett FR, et al. A high-performance speech neuroprosthesis. Nature. 2023;620:1031–1036. Card NS, et al. An accurate and rapidly calibrating speech neuroprosthesis. N Engl J Med. 2024;391:609–618. Lorach H, et al. Walking naturally after spinal cord injury using a brain–spine interface. Nature. 2023;618:126–133. Tabar V, et al. Phase I trial of hES cell-derived dopaminergic neurons for Parkinson's disease. Nature. 2025.

Rezai AR, et al. Ultrasound blood–brain barrier opening and aducanumab in Alzheimer's disease. N Engl J Med. 2024;390:55–62.

დამატებითი შემოწმებისა და განმარტებების წყაროები

ILAE. A practical clinical definition of epilepsy (2014). doi:10.1111/epi.12550. https://www.ilae.org/guidelines/definition-and-classification/the-2014-definition-of-epilepsy-a-perspective-for-patients-and-caregivers

ILAE. Updated classification of epileptic seizures (2025). doi:10.1111/epi.18338. https://www.ilae.org/guidelines/definition-and-classification/updated-classification-of-epileptic-seizures-2025

CNS. STN versus GPi DBS for Parkinson’s disease (2018). https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6636249/

FDA. Lioresal Intrathecal prescribing information (2022). https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/label/2022/020075Orig1s038lbl.pdf

IASP. Terminology and revised definition of pain. https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

NICE. Spasticity in under 19s — CG145. https://www.nice.org.uk/guidance/cg145/chapter/Recommendations

ILAE. Referral for epilepsy surgery evaluation — consensus (2022). https://www.ilae.org/patient-care/drug-resistant-epilepsy

Dalic LJ et al. ESTEL trial. Ann Neurol. 2022;91:253–267. doi:10.1002/ana.26280. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34877694/

FDA. Adaptive DBS optional programming feature; decision 20 February 2025. PMA P960009/S478. https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfpma/pma.cfm?id=P960009S478

CNS. Deep brain stimulation for obsessive-compulsive disorder — guideline update (2021). https://www.cns.org/guidelines/deep-brain-stimulation-obsessive-compulsive-disorder-2014/deep-brain-stimulation-obsessive-compulsive-disord

IASP: ტკივილისა და მექანიზმების ტერმინოლოგია

განახლებული განსაზღვრებები და რეკომენდაციები

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

ICHD-3: სამწვერა ნერვის ნევრალგიის კლასიფიკაცია

https://ichd-3.org/

SCS-ის შერჩევისა და საცდელი ეტაპის კონსენსუსი, 2023

doi:10.1136/rapm-2022-104097

British Pain Society: ინტრათეკალური მიწოდება, 2024

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

ილუსტრაციების წარმომავლობა

ილუსტრაციები მოიცავს ისტორიულ ფოტოებს, გამოქვეყნებული კვლევების ფიგურებსა და კონცეპტუალურ სასწავლო ნახატებს. გამარტივებული ან ხელოვნური ინტელექტით შექმნილი ნახატები პაციენტის კვლევას ან საოპერაციო დამიზნების ატლასს არ წარმოადგენს. ილუსტრაციები ამოღებულია მოწოდებული პრეზენტაციებიდან. ქვემოთ მითითებულია წიგნის ნომერი და საწყისი ფაილის თავი/სლაიდი. სადაც პრეზენტაციას წყაროს ბმული ახლდა, ის შენარჩუნებულია. სამეცნიერო ფიგურებში ორიგინალის ასოები და ინგლისური წარწერები შეიძლება დარჩეს; მათი აზრი შესაბამის ქართულ ტექსტშია განმარტებული.

თავი 1 — ილუსტრაციები

სურათი 1.1 — ფუნქციური და სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია: ისტორია და ზოგადი პრინციპები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 1.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.2 — რა არის ფუნქციური ნეიროქირურგია?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 3.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.3 — რა არის სტერეოტაქსიული ნეიროქირურგია?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 4.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.4 — ფრანც იოზეფ გალი - ფრენოლოგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 6.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.5 — ფრანც იოზეფ გალი - ფრენოლოგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 6.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.6 — XIX საუკუნის დასაწყისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 7.

https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl020111444

https://collections.louvre.fr/media/cache/small/11/14/44/00/AGO111444-000_PE.jpg

სურათი 1.7 — XIX საუკუნის დასაწყისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 7.

https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl020111444

https://collections.louvre.fr/media/cache/small/11/14/44/00/AGO111444-000_PE.jpg

სურათი 1.8 — ჰოლიზმი თუ ლოკალიზაცია?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 8.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.9 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 9.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.10 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 9.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.11 — ბროკა და ვერნიკე: მეტყველების ლოკალიზაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 9.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.12 — 1861 · 1874. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 10.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.13 — 1861 · 1874. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 10.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.14 — 1861 · 1874. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 10.

https://wellcomecollection.org/works/wmryah3v

სურათი 1.15 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 11.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.16 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 11.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.17 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 12.

https://wellcomecollection.org/works/cp4rfsy7

სურათი 1.18 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 12.

https://wellcomecollection.org/works/cp4rfsy7

სურათი 1.19 — ქერქის ელექტრული სტიმულაცია: ფუნქციის „შემოწმება“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 12.

https://wellcomecollection.org/works/cp4rfsy7

სურათი 1.20 — ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 13.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

სურათი 1.21 — ვიქტორ ჰორსლი: ეპილეფსიის ქირურგიის დასაწყისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 14.

https://wellcomecollection.org/works/a8v8gz5b

სურათი 1.22 — გოტლიბ ბურკჰარდტი: ფსიქოქირურგიის პირველი ცდა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 15.

https://archive.org/details/verhandlungender1907schw

სურათი 1.23 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 16.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.24 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 18.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.25 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 18.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.26 — ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 18.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.27 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 19.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_496777bcd8374c15acc4fd956c637af6.avif

სურათი 1.28 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 19.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_496777bcd8374c15acc4fd956c637af6.avif

სურათი 1.29 — ფოერსტერი - ტკივილისა და სპასტიურობის ადრეული ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 19.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_496777bcd8374c15acc4fd956c637af6.avif

სურათი 1.30 — პირველი მიმმართველი აპარატები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 21.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.31 — პირველი მიმმართველი აპარატები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 22.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11809997/

სურათი 1.32 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 23.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.33 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 23.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.34 — ჰორსლი–კლარკის აპარატი: სტერეოტაქსიის დაბადება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 23.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.35 — ობრი მასენი: ადამიანის პირველი ჩარჩო. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 24.

https://beckassets.blob.core.windows.net/product/readingsample/9599672/9783642256042_excerpt_001.pdf

სურათი 1.36 — ორიენტირები: რატომ დაიგვიანა ადამიანის სტერეოტაქსიამ 40 წელი?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 26.

https://wwwn.cdc.gov/phil/Details.aspx?pid=25175

https://wwwn.cdc.gov/phil///PHIL_Images/25175/25175_lores.jpg

სურათი 1.37 — ეგაშ მონიში და პრეფრონტალური ლეიკოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 28.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_32edbb56eed842dd822a2058f5147e04.avif

სურათი 1.38 — ეგაშ მონიში და პრეფრონტალური ლეიკოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 28.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_32edbb56eed842dd822a2058f5147e04.avif

სურათი 1.39 — ფრიმენი, უოტსი და ლობოტომიის კრიზისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 29.

https://mn.gov/mnddc/parallels2/prologue/5-treatments/5-lobotomy.html

https://mn.gov/mnddc/parallels2/prologue/5-treatments/lob1.jpg

სურათი 1.40 — ერნსტ შპიგელი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 31.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

სურათი 1.41 — AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 32.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.42 — AC–PC სისტემა: როგორ იანგარიშება სამიზნე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 33.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11809997/

სურათი 1.43 — ლარს ლექსელი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 34.

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

სურათი 1.44 — ლარს ლექსელი: რკალის პრინციპი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 34.

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

სურათი 1.45 — ჟან ტალერაში — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 35.

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

სურათი 1.46 — ფრანგული სკოლა: ტალერაში და ბანკო. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 36.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6870828/

სურათი 1.47 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 37.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.48 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 37.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.49 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 38.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.50 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 39.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.51 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 39.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.52 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 40.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.53 — ჩარჩოები და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 40.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.54 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 41.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.55 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 41.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3877623/

სურათი 1.56 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 42.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8599316/

სურათი 1.57 — გერმანული სკოლა და სტერეოტაქსიული ატლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 42.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8599316/

სურათი 1.58 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 44.

https://www.mcgill.ca/neuro/about/history/notable-figures/former-directors

https://www.mcgill.ca/neuro/files/neuro/styles/wysiwyg_medium/public/images/w_penfield2.jpg?itok=N7jRvA7O

სურათი 1.59 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 44.

https://www.mcgill.ca/neuro/about/history/notable-figures/former-directors

https://www.mcgill.ca/neuro/files/neuro/styles/wysiwyg_medium/public/images/w_penfield2.jpg?itok=N7jRvA7O

სურათი 1.60 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 45.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5841206/

სურათი 1.61 — პენფილდი და ჯასპერი: ფუნქციური კარტირება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 45.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5841206/

სურათი 1.62 — პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 47.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2732998/

სურათი 1.63 — პარკინსონიზმი: ღია ოპერაციებიდან ირვინგ კუპერამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 47.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2732998/

სურათი 1.64 — მოძრაობითი დარღვევები, 1950–1960-იანი წლები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 48.
https://doi.org/10.2183/pjab1945.29.134

https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1960.tb07606.x

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1727169/

https://doi.org/10.1159/000524248

https://doi.org/10.3171/jns.1963.20.10.0871

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2494572/

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6191836/

https://jnnp.bmj.com/content/89/7/727

სურათი 1.65 — სამიზნის ევოლუცია: ფერმკრთალი ბირთვიდან თალამუსამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 49.
https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_30184de83a0046f78004f250079a374a.avif

სურათი 1.66 — ფიზიოლოგიური დადასტურება: მიკროელექტროდები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 50.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4508719/

სურათი 1.67 — ნატალია ბეხტერევა — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 52.
https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

სურათი 1.68 — საბჭოთა სკოლა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 52.
https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

სურათი 1.69 — საზოგადოებები და ჟურნალი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 54.
https://www.wssfn.org/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/logoblanc.png

სურათი 1.70 — რადიოქირურგია და გამა-დანა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 56.
https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell-med-patient-f-rsta-gammakniven-p--sophiahemmet.jpg

სურათი 1.71 — რადიოქირურგია და გამა-დანა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 57.

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/teamet-bakom-gammkniven-erik-olof-backlund--lars-leksell--b-rje-larsson-och-bengt-jernberg.jpg

სურათი 1.72 — L-DOPA და „ქირურგიის დაცემა“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 58.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7782676/

სურათი 1.73 — L-DOPA და „ქირურგიის დაცემა“. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 58.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7782676/

სურათი 1.74 — სტერეოტაქსიული ფსიქოქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 59.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9026193/

სურათი 1.75 — ტვინის ქრონიკული სტიმულაციის დასაწყისი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 60.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5480854/

სურათი 1.76 — ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 61.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.77 — ტკივილი: „კარიბჭის“ თეორია და ნეირომოდულაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 62.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4492533/

სურათი 1.78 — ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 64.

https://www.neurosurgery.pitt.edu/news/peter-jannetta-passes-away

https://www.neurosurgery.pitt.edu/sites/default/files/bio-photos/jannetta.jpg

სურათი 1.79 — ტკივილი: დესტრუქციული და დეკომპრესიული მეთოდები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 65.

https://mayfieldclinic.com/pe-mvd.htm

https://dbmmu5j6lxew.cloudfront.net/pe-mvd4.jpg

სურათი 1.80 — სპასტიურობის ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 67.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5891677/

სურათი 1.81 — სპასტიურობის ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 68.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7966068/

სურათი 1.82 — კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 70.

https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co134790

https://coimages.sciencemuseumgroup.org.uk/1/186/medium_b990547.jpg

სურათი 1.83 — კომპიუტერული ტომოგრაფია და N-ლოკალიზატორი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 71.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11809997/

სურათი 1.84 — MRT, კომპიუტერი და ნავიგაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 72.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11809997/

სურათი 1.85 — რატომ დაბრუნდა ქირურგია?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 74.
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1388

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/rest/pug/compound/cid/1388/PNG?image_size=large

სურათი 1.86 — ბაზალური განგლიების მოდელი და STN. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 75.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

სურათი 1.87 — ლაური ლაიტინენი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 76.
https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

სურათი 1.88 — ლაური ლაიტინენი: პალიდოტომიის აღორძინება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 77.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12945792/

სურათი 1.89 — ალიმ ლუი ბენაბიდი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 78.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

სურათი 1.90 — ბენაბიდი და პოლაკი: ტვინის ღრმა სტიმულაცია (DBS). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 78.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

სურათი 1.91 — DBS-ის სისტემა: რისგან შედგება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 79.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4191038/

სურათი 1.92 — ეპილეფსიის ქირურგიის პარალელური ხაზი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 83.
https://uskudar.edu.tr/en/gazi-yasargil

https://uskudar.edu.tr/assets/uploads/bilimadami/35/gazi-yasargil.jpg

სურათი 1.93 — MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 85.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4121456/

სურათი 1.94 — MR-მართვადი ფოკუსირებული ულტრაბგერა (MRgFUS). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 86.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4121456/

სურათი 1.95 — LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 87.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7527495/

სურათი 1.96 — LITT, რობოტიკა და SEEG-ის გავრცელება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 88.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8599316/

სურათი 1.97 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 89.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.98 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 89.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.99 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 90.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.100 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 90.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.101 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 91.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.102 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 92.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5813169/

სურათი 1.103 — DBS-ის ახალი თაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 93.

https://www.netstim.org/research-interests/posters/

https://www.netstim.org/wp-content/uploads/2023/07/STN-Project_Hollunder_et_al_OHBM_2023.pdf

სურათი 1.104 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 94.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.105 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 94.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.106 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 95.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.107 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 95.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 1.108 — აღდგენითი ნეიროქირურგია და მომავლის მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 96.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10826467/

სურათი 1.109 — როლფ ჰასლერი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/000007681006815651843 1.jpg

სურათი 1.110 — ვიქტორ ჰორსლი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/000007681006815651843 1.jpg

სურათი 1.111 — მაჰლონ დელონგი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/000007681006815651843 1.jpg

სურათი 1.112 — ჰენრი უაიკისი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/000007681006815651843 1.jpg

სურათი 1.113 — ირვინგ კუპერი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/0000076810068156518431.jpg

სურათი 1.114 — ჰელენ მეიბერგი — ისტორიული პორტრეტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 99.

https://wellcomecollection.org/works/et6uss85

https://www.wssfn.org/about_us/history-of-ssfn/

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_96571448d9a5464486db9170d64fda3c.avif

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_a7a430845d404393a6a0e81ce322c0f4.avif

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/

https://www.elekta.com/company/about-us/story/the-early-years/img/lars-leksell--troligen-1984_cfn-nr-ele000001.jpg

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_6b6010f558704318afba8bd44bc0f1ff.avif

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7592934/

https://aiimsnets.org/NeurosurgeryEducation/GeneralNeurosurgery/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011/Modern%20Neurosurgical%20Giants%202011.pdf

https://www.wssfn.org/wp-content/uploads/2025/10/c34491_5fa516e921b44af8a792522a6aca8e8f.avif

https://ihb.spb.ru/about/history

https://ihb.spb.ru/images/behtereva.jpg

https://essfn.org/wp-content/uploads/2024/08/essfn_newsletter_05.pdf

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273379/

https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2023/two-leading-mount-sinai-brain-scientists-recognized-for-outstanding-contributions-to-neuropsychopharmacology

https://www.mountsinai.org/files/images/fad-images/0000076810068156518431.jpg

სურათი 1.115 — ისტორიული ნაწილის შემაჯამებელი ილუსტრაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 1, სლაიდი 101.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8223249/

საწყის მასალაში მოცემული წყაროთა ჩანაწერები

ცხრილი 1.4 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
1	1	ჰორსლი–კლარკის აპარატი (1908) ან ლექსელის ჩარჩო	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC3877623
2	6	არსებული ილუსტრაცია — შენარჩუნებულია	მომხმარებლის პრეზენტაცია

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
3	9	არსებული ილუსტრაცია — შენარჩუნებულია	მომხმარებლის პრეზენტაცია
4	11	არსებული ილუსტრაცია — შენარჩუნებულია	მომხმარებლის პრეზენტაცია
5	13	პოლ ბროკას პორტრეტი	wellcomecollection.org
6	14	ლებორნის ტვინი (მუზეუმის პრეპარატი)	nah.sen.es
7	16	ფერიერის მოტორული რუკა მაიმუნის ტვინზე — გამოცემა „Cerebral Localization“, 1890.	wellcomecollection.org
8	18	სერ ვიქტორ ჰორსლის პორტრეტი	wellcomecollection.org
9	19	National Hospital, Queen Square — ისტორიული ფოტოლითოგრაფია.	wellcomecollection.org
10	21	გოტლიბ ბურკჰარდტის პორტრეტი	archive.org
11	23	ოტფრიდ ფოერსტერის პორტრეტი	wssfn.org

ცხრილი 1.5 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
12	24	სქემა: ზურგის ტვინის განივი ჭრილი, სპინოთალამური ტრაქტი და კორდოტომიის ხაზი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC2799320
13	27	ზერნოვის ენცეფალომეტრი (1889) და ადრეული სამიზნე აპარატები.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC11809997
14	29	ჰორსლი–კლარკის სტერეოტაქსიული აპარატი (1908)	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC3877623
15	31	მასენის ადამიანის სტერეოტაქსიული ჩარჩო (1918)	beckassets.blob.core.windows.net
16	33	ისტორიული პნევმოენცეფალოგრამა — CDC/PHIL.	wwwn.cdc.gov

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
17	36	ეგაშ მონიშის პორტრეტი	wssfn.org
18	37	ლობოტომიის ინსტრუმენტების ისტორიული ნიმუში — Minnesota GCDD.	mn.gov
19	39	ფრიმენი ტრანსორბიტალური ლობოტომიის დროს (ისტორიული ფოტო)	mn.gov
20	42	შპიგელი და უაიკისი აპარატთან ერთად	wssfn.org
21	43	შპიგელ–უაიკისის სტერეოტაქსიული აპარატი.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC3877623
22	45	AC–PC ხაზი, შუა კომისურული წერტილი და STN-ის სამიზნე.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC11809997

ცხრილი 1.6 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
23	47	ლარს ლექსელის პორტრეტი	elekta.com
24	48	ლექსელის რკალზე ცენტრირებული ჩარჩო	elekta.com
25	50	ჟან ტალერაში — პორტრეტი და ისტორიული SEEG საოპერაციო.	wssfn.org
26	51	ტალერაშის აპარატი ანატომიური და სტერეოტაქსიული კვლევებისთვის.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC6870828
27	53	შალტენბრანდ–ბეილის ატლასი — სტერეოტაქსიული კოორდინატები ტვინის საგიტალურ ჭრილზე.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC3877623
28	54	რიხერტ–მუნდინგერის ჩარჩო — თანამედროვე გამოყენების სქემა.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC8599316

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
29	56	უაილდერ პენფილდის პორტრეტი	mcgill.ca
30	57	პენფილდი, ბოლდრი და თავდაპირველი ჰომუნკულუსი (1937).	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC5841206
31	59	ირვინგ კუპერის პორტრეტი	aiimsnets.org
32	60	კუპერის კრიოზონდი / კრიოქირურგიის აპარატი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC2732998
33	62	ბაზალური განგლიები, თალამუსი და პალიდოფუგალური გზები.	wssfn.org

ცხრილი 1.7 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
34	64	მიკროელექტროდული ჩაწერის ტრასა (ტრემორ-უჯრედები / STN-ის აქტივობა)	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4508719
35	66	ნატალია ბეხტერევას პორტრეტი	ihb.spb.ru
36	67	ედუარდ კანდელის პორტრეტი / მონოგრაფიის ყდა	neurology.ru
37	69	World Society for Stereotactic and Functional Neurosurgery — WSSFN.	wssfn.org
38	72	ლარს ლექსელი პირველ Gamma Knife-თან, Sophiahemmet-ის საავადმყოფოში.	elekta.com
39	73	Gamma Knife-ის შემქმნელი გუნდი: ბაკლუნდი, ლექსელი, ლარსონი და იერნბერგი.	elekta.com
40	75	კრისტიან პიფლი და ოლეჰ ჰორნიკევიჩი (მარჯვნივ).	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7782676
41	76	ჯორჯ კოციასის პორტრეტი	bnl.gov

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
42	78	ლიმბური ლეიკოტომია — ცინგულოტომიისა და სუბკაუდატური ტრაქტოტომიის უბნები მრტ-ზე.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC9026193
43	80	დელგადოს ექსპერიმენტი ხართან (1963)	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC5480854
44	82	კარიბჭის თეორიის ორიგინალური სქემა (მელზაკი და უოლი, 1965)	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4492533

ცხრილი 1.8 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
45	84	პიტერ ჯანეტას პორტრეტი	neurosurgery.pitt.edu
46	85	მიკროვასკულური დეკომპრესია — სისხლძარღვისა და სამწვერა ნერვის განცალკევება.	mayfieldclinic.com
47	87	SDR: ნერვული ფესვების იზოლაცია და ელექტროსტიმულაცია.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC5891677
48	88	ინტრათეკალური ბაკლოფენის ტუმბოს სისტემა	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7966068
49	91	EMI-ს პირველი კლინიკური CT სკანერის ნაწილი, 1970–1971 — Science Museum Group.	collection.sciencemuseumgroup.org.uk
50	92	ჩარჩოსა და ლოკალიზატორის შესაბამისობა CT/MRI დაგეგმვასთან.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC11809997
51	94	GPi და STN სხვადასხვა მრტ-თანმიმდევრობაზე.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC11809997
52	97	MPTP-ის ქიმიური სტრუქტურა.	pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
53	99	სქემა: პირდაპირი და არაპირდაპირი გზები, ნორმა vs პარკინსონიზმი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4273379
54	101	ლაური ლაიტინენის პორტრეტი	essfn.org
55	102	პალიდოტომიის შემდეგ დაზიანების ევოლუციის თანამედროვე მრტ-ილუსტრაცია.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC12945792

ცხრილი 1.9 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
56	104	ალიმ-ლუი ბენაბიდის პორტრეტი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4273379
57	105	ბილატერალური DBS სისტემა — იმპლანტირებული ელექტროდების განლაგების სქემა.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7058209
58	107	DBS-ის სისტემა: ელექტროდი, შემაერთებელი კაბელი და იმპულსების გენერატორი.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4191038
59	110	Deuschl et al., NEJM 2006 — რედაქტირებადი კვლევის შეჯამება	doi.org
60	112	გაზი იაშარგილი — მიკრონეიროქირურგიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი.	uskudar.edu.tr
61	113	SEEG-ის დაგეგმვა: 3D რეკონსტრუქცია და ელექტროდების ტრაექტორიები.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7527495
62	116	MRgFUS სისტემა (ჩაფხუტი MRT-აპარატში)	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4121456
63	117	MRgFUS თალამოტომიის უბნის მრტ-ცვლილებები დროში.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4121456
64	119	ROSA / Neuromate რობოტი საოპერაციოში	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7527495

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
65	120	ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია (LITT): მრტ-თერმომეტრია და აბლაციის კონტროლი.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC8599316
66	122	მიმართულებითი DBS ელექტროდი და კონტაქტებიდან ჩაწერილი LFP სიგნალები.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC5813169

ცხრილი 1.10 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
67	123	კონექტომური DBS: STN-ის სამიზნეები და ფრონტალური ქსელები — Hollunder et al., OHBM 2023.	netstim.org
68	125	მეტყველების ნეიროპროთეზი — კორტიკული სიგნალიდან ტექსტამდე, ხმამდე და ავატარამდე.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC10826467
69	126	ტვინ–ზურგის ტვინის ინტერფეისი — მოტორული სიგნალის ციფრული გადაცემა.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC10661654
70	129	ვიქტორ ჰორსლი, პორტრეტი	wellcomecollection.org
71	129	ერნსტ შპიგელი, პორტრეტი	wssfn.org
72	129	ჰენრი უაიკისი, პორტრეტი	wssfn.org
73	129	ლარს ლექსელი, პორტრეტი	elekta.com
74	129	ჟან ტალერაში, პორტრეტი	wssfn.org
75	129	როლფ ჰასლერი, პორტრეტი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC7592934
76	129	ირვინგ კუპერი, პორტრეტი	aiimsnets.org
77	129	ნატალია ბეხტერევა, პორტრეტი	ihb.spb.ru

ცხრილი 1.11 — საწყისი პრეზენტაციის წყაროთა სია — ნომრები ეკუთვნის პრეზენტაციას

№	სლაიდი	გამოყენებული სურათი	წყარო
78	129	ლაური ლაიტინენი, პორტრეტი	essfn.org
79	129	მაჰლონ დელონგი, პორტრეტი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4273379
80	129	ალიმ-ლუი ბენაბიდი, პორტრეტი	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC4273379
81	129	ჰელენ მეიბერგი, პორტრეტი	mountsinai.org
82	131	ROSA-ს რობოტული სისტემა ნეიროქირურგიულ საოპერაციოში.	pmc.ncbi.nlm.nih.gov / PMC8223249

თავი 2 — ილუსტრაციები

სურათი 2.1 — მოძრაობითი დარღვევები და სპასტიურობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 1.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.2 — ნებითი მოძრაობის ძირითადი გზები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 5.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.3 — მოტორული და სომატოსენსორული ქერქის უბნები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 6.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.4 — მოტორული ჰომუნკულუსი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 7.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.5 — კორტიკოსპინალური გზა და მოძრაობის კონტროლი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 8.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.6 — კორტიკოსპინალური გზა და მოძრაობის კონტროლი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 8.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.7 — ზედა და ქვედა მოტონეირონის დაზიანება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 9.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.8 — ნებითი მოძრაობა და რეფლექსი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 10.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.9 — ბაზალური განგლიების ანატომიური ორიენტირები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 13.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.10 — ბაზალური განგლიების პარალელური მარყუჟები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 15.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.11 — პირდაპირი არაპირდაპირი და ჰიპერპირდაპირი გზები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 16.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.12 — ნათხემ თალამურ ქერქული გზა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 17.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.13 — ბეტა აქტივობის შედარებითი სასწავლო სქემა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 19.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.14 — მოძრაობითი დარღვევების ვიზუალური კლასიფიკაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 21.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.15 — განმუხტვის სიხშირე რიტმი და სინქრონიზაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 25.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.16 — პარკინსონის დაავადება და ნიგროსტრიატული დაზიანება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 27.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.17 — რატომ ნელდება მოძრაობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 28.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.18 — შავი ნივთიერების პიგმენტაციის ცვლილების სასწავლო ნახატი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 30.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.19 — მედიკამენტური მკურნალობა და მოტორული გართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 32.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.20 — DBS კანდიდატის შეფასება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 34.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.21 — STN და GPi სამიზნეების შედარება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 36.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.22 — STN და GPi ანატომია დამიზნება და ფიზიოლოგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 38.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.23 — მიკროელექტროდული ჩანაწერის ცვლილება ტრაექტორიის გასწვრივ. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 39.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.24 — პალიდოტომია სუბთალამოტომია და თალამოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 42.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.25 — DBS-ის შედეგები პარკინსონის დაავადებისას. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 44.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.26 — ტრემორის კლასიფიკაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 46.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.27 — ესენციური ტრემორის ქსელი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 47.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.28 — Vim და დაკავშირებული გზები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 48.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.29 — ტრემორის ქირურგიული მეთოდების შედარება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 49.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.30 — დისტონიის განმარტება და კლასიფიკაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 52.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.31 — დისტონიის პათოფიზიოლოგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 54.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.32 — დისტონიის მკურნალობა და GPi-DBS. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 56.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.33 — ქორეა და ჰემიბალიზმი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 59.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.34 — ათეტოზი ტარდიული მოძრაობები მიოკლონუსი და ჰემიფაციალური სპაზმი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 60.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.35 — ტიკები და ტურეტის სინდრომი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 61.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.36 — DBS ოპერაციის ეტაპები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 64.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.37 — ფხიზელი და ანესთეზიაში ჩატარებული DBS. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 66.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.38 — DBS-ის გართულებები და გვერდითი მოვლენები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 69.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.39 — სპასტიურობის განმარტება და შეფასება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 71.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.40 — სპასტიური დიპლეგია და ფუნქციური კლასები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 72.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.41 — სპასტიურობის პათოფიზიოლოგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 74.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.42 — რეფლექსურ რკალზე მოქმედი მკურნალობის სამიზნეები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 77.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.43 — სელექციური დორსალური რიზოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 78.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.44 — ინტრათეკალური ბაკლოფენის სისტემა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 80.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.45 — პერიფერიული ნევროტომია და DREZ-ოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 82.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 2.46 — ორმხრივი DBS ელექტროდების კონცეპტუალური რეკონსტრუქცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 2, სლაიდი 86.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

თავი 3 — ილუსტრაციები

სურათი 3.1 — ტკივილის ფუნქციური ნეიროქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 1.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 3.2 — ცხელი ქვაბიდან ტკივილის განცდამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 5.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.3 — ნერვული ბოჭკოები: რატომ განსხვავდება შეგრძნება?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 7.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.4 — უკანა რქა: სიგნალის შესვლა და დამუშავება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 9.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.5 — აღმავალი გზები: სიგნალი რამდენიმე ქსელში ნაწილდება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 11.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3820628/

სურათი 3.6 — ტკივილის აღქმის სამი მნიშვნელოვანი უბანი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 13.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.7 — ნერვის დაზიანებიდან მუდმივ ტკივილამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 19.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.8 — რატომ შეიძლება გახანგრძლივდეს ტკივილი?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 21.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.9 — გუნდური გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 27.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.10 — სამწვერა ნერვი: სად ვეძებთ ტკივილს?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 30.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.11 — ნეიროვასკულური კომპრესია: რეალური MRI. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 32.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3356991/

სურათი 3.12 — როგორ იწვევს ზეწოლა ელექტრულ შეტევას?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 33.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.13 — MVD: კომპრესიის მოხსნა ოპერაციულ სურათზე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 36.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3356991/

სურათი 3.14 — რეტროსიგმოიდური მიდგომა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 37.

https://doi.org/10.1007/s11916-024-01260-4

სურათი 3.15 — პერკუტანული მეთოდები: სამი განსხვავებული მოქმედება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 39.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.16 — ენა-ხახის ნერვის დეკომპრესია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 41.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5606712/

სურათი 3.17 — SCS: კანქვეშა გენერატორიდან ნერვულ პასუხამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 44.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.18 — სტიმულაციის რეჟიმები: როგორ განსხვავდება სიგნალი?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 46.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.19 — SCS-ის ელექტროდები: ცილინდრული და ფირფიტისებრი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 48.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.20 — ფოკალური ტკივილი: DRG თუ პერიფერიული ნერვი?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 50.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.21 — ტკივილის DBS: სხვადასხვა სამიზნის ლოგიკა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 53.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.22 — MCS: მოტორული ქერქის ლოკალიზაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 55.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11878713/

სურათი 3.23 — კორდოტომია: მცირე სამიზნე გამტარ გზაში. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 60.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13138373/

სურათი 3.24 — DREZ-ოტომია: რეალური ოპერაციული ეტაპები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 62.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11695575/

სურათი 3.25 — შუა ხაზის მიელოტომია: MRI-ზე ნაჩვენები ლეზია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 64.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6721884/

სურათი 3.26 — ინტრათეკალური ტუმბო: წამალი ლიქვორში. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 67.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.27 — CRPS: ტკივილთან ერთად რა იცვლება?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 70.

https://www.iasp-pain.org/resources/terminology/

https://doi.org/10.1136/rapm-2022-104097

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11561936/

სურათი 3.28 — ეპიდურული ფიბროზი: გამოსახულება და კლინიკა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 72.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9085244/

სურათი 3.29 — ბრაქიალური წნულის ავულსია: კავშირის დაკარგვა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 74.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10985565/

სურათი 3.30 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 3, სლაიდი 80.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

საწყის მასალაში მოცემული წყაროთა ჩანაწერები

ნეიროვასკულური კომპრესია და MVD: doi:10.4103/2152-7806.96073

სურათის ნომერი და სრული ბმული შესაბამისი სლაიდის შენიშვნებშია.

ფერადი სასწავლო ნახატები AI-ითაა შექმნილი. ისინი განმარტავს კონცეფციას და არ ცვლის ატლასს ან პაციენტის კვლევას.

კლინიკური MRI და ოპერაციული გამოსახულებები გამოქვეყნებული წყაროებიდანაა. წყაროს ორიგინალი ნიშნები შენარჩუნებულია.

ქართულენოვანი განმარტებები ცალკე, რედაქტირებადი ტექსტია.

მკურნალობის შედეგები დამოკიდებულია დიაგნოზზე, შერჩევაზე და კვლევის დიზაინზე. მაგალითად, SCS-ის პლაცებოთი კონტროლირებული RCT: doi:10.1001/jama.2022.18231.

საწყისი ლიტერატურის სია მოწოდებული ლექციიდანაა. დამატებითი წყაროები ცალკეა მითითებული.

თავი 4 — ილუსტრაციები

სურათი 4.1 — ეპილეფსიის ქირურგიული მკურნალობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 1.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.2 — თემის ილუსტრაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 5.

https://www.epilepsydiagnosis.org/seizure/temporal-overview

https://doi.org/10.1684/epd.2022.1430

სურათი 4.3 — უჯრედიდან ქსელამდე: ეპილეპტოგენეზი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 9.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.4 — წინასაოპერაციო შეფასების გზა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 18.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.5 — MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 20.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.6 — MRT: ეპილეპტოგენური დაზიანების ძიება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 21.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.7 — PET, SPECT, MEG: სად არის ფუნქციური დარღვევა?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 23.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.8 — ენა, მეხსიერება, მოძრაობა: რისი დაკარგვა შეიძლება?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 25.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.9 — სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 28.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7803703/

სურათი 4.10 — სტერეოელექტროენცეფალოგრაფია (SEEG). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 29.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.11 — SEEG თუ სუბდურული ბადე?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 31.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.12 — ელექტრული სტიმულაცია და ფხიზელი ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 33.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.13 — მეზიური ტემპორული ეპილეფსია და ჰიპოკამპური სკლეროზი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 36.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5893935/

სურათი 4.14 — ანტერიორული ტემპორალური ლობექტომია (ATL). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 38.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.15 — სელექციური ამიგდალოჰიპოკამპექტომია (SAH). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 40.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.16 — FCD, სიმსივნეები, კავერნომა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 42.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3952251/

სურათი 4.17 — ექსტრატემპორული და ფუნქციურ ზონასთან ახლოს. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 44.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.18 — ლაზერული ინტერსტიციული თერმოთერაპია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 47.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.19 — RF-თერმოკოაგულაცია და რადიოქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 49.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7803703/

სურათი 4.20 — ჰიპოთალამური ჰამარტომა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 51.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10378573/

სურათი 4.21 — კორპუს კალოზოტომია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 54.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.22 — ჰემისფეროტომია (ფუნქციური ჰემისფერექტომია). საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 56.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.23 — დისკონექცია: MST და უკანა კვადრანტი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 58.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.24 — ცდომილი ნერვის სტიმულაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 62.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.25 — თალამუსის DBS და რეაქტიული ნეიროსტიმულაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 64.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.26 — ბავშვთა ეპილეფსიის ქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 70.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12747706/

სურათი 4.27 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 4, სლაიდი 74.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

საწყის მასალაში მოცემული წყაროთა ჩანაწერები

Schuele et al. Seminars in epileptology: Presurgical epilepsy evaluation. 2025.

Technical Aspects of SEEG and Its Interpretation in the Delineation of the Epileptogenic Zone.

სურათის ნომერი და დეტალური წყარო მითითებულია შესაბამისი სლაიდის შენიშვნებში.

Characterising subtypes of hippocampal sclerosis and reorganization.

Intraoperative MRI Assessment of the Tissue Damage during Laser Ablation of Hypothalamic Hamartoma.

Kwan & Brodie, NEJM 2000: doi:10.1056/NEJM200002033420503

Wiebe et al., NEJM 2001: doi:10.1056/NEJM200108023450501

დანომრილი ფერადი ნახატები კონცეპტუალური AI-ილუსტრაციებია. ისინი არ წარმოადგენს პაციენტის კვლევას ან ზუსტ ქირურგიულ რუკას.

თავი 5 — ილუსტრაციები

სურათი 5.1 — ფსიქიატრიული და აღდგენითი ნეიროქირურგია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 1.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24444853/

სურათი 5.2 — ისტორიული ინსტრუმენტი: ლობოტომიის გაკვეთილი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 5.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24444853/

https://www.si.edu/object/lobotomy-knives%3Anmah_738842

სურათი 5.3 — გადაწყვეტილება პაციენტთან ერთად. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 7.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24444853/

სურათი 5.4 — OCD: სამიზნე და შუბლის ქერქთან კავშირები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 10.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.5 — ქსელის ფუნქცია ყოველდღიურ ცხოვრებაში. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 12.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.6 — ობსესია და კომპულსია: კარის შემოწმების მაგალითი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 16.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.7 — კაფსულოტომია: ლეზიის მდებარეობა MRI-ზე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 18.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.8 — OCD-ის DBS: სხვადასხვა სამიზნის რეკონსტრუქცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 20.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.9 — ლეზია და სტიმულაცია: მოქმედების განსხვავება. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 22.

https://www.nice.org.uk/guidance/cg31/chapter/Recommendations

https://www.nice.org.uk/guidance/ipg693

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfhde/hde.cfm?id=H050003

https://www.nature.com/articles/s41467-020-16734-3

სურათი 5.10 — დეპრესია: გადაწყვეტილების ძირითადი მიმართულებები. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 25.

https://www.nice.org.uk/guidance/ng222/chapter/Recommendations

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988904/

სურათი 5.11 — SCC-DBS: რატომ გვაინტერესებს ბოჭკოვანი კავშირები?. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 27.

https://www.nice.org.uk/guidance/ng222/chapter/Recommendations

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988904/

სურათი 5.12 — ანორექსია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 30.

https://www.nice.org.uk/guidance/ng222/chapter/Recommendations

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28988904/

სურათი 5.13 — ცნობიერების შეფასება: ოთხი განსხვავებული მდგომარეობა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 33.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30098791/

სურათი 5.14 — ცენტრალური თალამუსი: კვლევითი DBS-ის მაგალითი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 35.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30098791/

სურათი 5.15 — მეტყველების BCI: სიგნალიდან კომუნიკაციამდე. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 38.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39141853/

სურათი 5.16 — ტვინი–ზურგის ტვინის ინტერფეისი: ციფრული ხიდი. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 40.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39141853/

სურათი 5.17 — უჯრედული თერაპიის იდეა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 44.

წარმომავლობა: მოწოდებული პრეზენტაციის სასწავლო ილუსტრაცია; ცალკე პირველწყაროს ბმული ამ ფიგურასთან მითითებული არ იყო.

სურათი 5.18 — ბიოლოგიური მკურნალობის მიწოდების ორი გზა. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 46.

https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/kebilidi

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38169490/

სურათი 5.19 — თავის შემაჯამებელი ილუსტრაცია. საწყისი პრეზენტაცია: თავი 5, სლაიდი 52.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24444853/

საწყის მასალაში მოცემული წყაროთა ჩანაწერები

ფერადი ნახატები კონცეპტუალური სასწავლო ილუსტრაციებია. ისინი ანატომიურ ატლასს ან პაციენტის კვლევას არ ცვლის.

MRI და ტრაქტოგრაფია გამოქვეყნებული ნაშრომებიდანაა. წყარო და სურათის ნომერი შესაბამისი სლაიდის შენიშვნებშია.

მეთოდების რეგულაციური სტატუსი ქვეყანასა და კონკრეტულ სისტემაზეა დამოკიდებული.

Nota bene: ნახატი ხსნის იდეას, კვლევა კი მისი სარწმუნოობის შეფასებაში გვეხმარება.