

## Descendentne živčne proge Descending tracts

Duška Meh\*

Ključne besede  
descendentne poti  
piramidne proge  
motorični nevroni  
ekstrapiramidne proge

Key words  
efferent pathways  
pyramidal tracts  
motor neurons  
extrapyramidal tracts

**Izvleček.** Možganska skorja in jedra v možganih in možganskem deblu pobujajo, vodijo in nadzirajo človekovo delovanje. Središča v osrednjem živčevju so neposredno ali posredno povezana s perifernimi strukturami, ki živčne impulze »prevedejo« v bolj ali manj opazno aktivnost. Živčni impulzi potujejo po živčnih poteh, ki povezujejo višja in nižja središča ter efektorje in so pomemben del hrbtnjačne bele snovi.

**Abstract.** Cerebral cortex and nuclei in the brain and brain stem trigger and control all human activities. Nerve centres in the central nervous system are directly or indirectly connected with peripheral structures which »translate« nervous impulses into various, more or less manifest activities. Nerve impulses are conducted via nervous pathways which link higher and lower nerve centers and effectors, and constitute an important part of the spinal cord white matter.

### Splošna shema motoričnega sistema

Živčevje, najbrž najzapletenejši in še najmanj raziskan del človeškega telesa, je sestavljeno iz funkcijskih sklopov nevronov, ki določeno informacijo s pomočjo potovanja električnih impulzov na določen način predelajo. Organizacija živčevja je na vseh ravneh v osnovi preprosta in enaka: dejavnost živčevja in motoričen odraz te dejavnosti sta v vsakem trenutku odvisna od senzoričnih podatkov, ki jih osrednje živčevje predeluje v mrežju ponavljajočih se vzorcev povezav med nevroni.

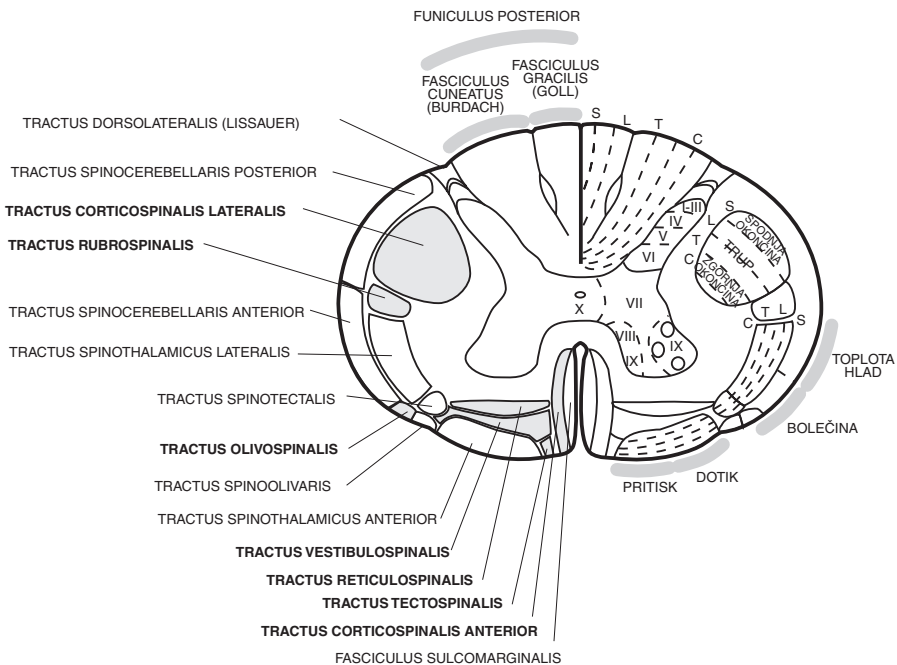
Ascendentne živčne proge posredujejo možganom sprejet in že delno preoblikovan podatek, ki izzove aktivnost v ustreznih delih osrednjega živčevja in bolj ali manj opazen odziv na periferiji. Odzivi so zelo različni, odvisni od izzvane aktivnosti v možganski skorji, možganskih jedrih in jedrih v možganskem deblu, ki kot živčni impulz potujejo do hrbtnjače, končne skupne poti za vse »odgovore«. Impulzi potujejo do efektorjev neposredno ali posredno, preko vmesnih preklonov. Aktivnost se v živčnih poteh preoblikuje, vsaka vmesna sinapsa pomeni nekoliko drugačen vzorec aktivnosti. Končni efektor prejme močno preoblikovan impulz, ki ga komaj lahko povežemo s tistim v možganski skorji.

Kako telo ve, kako naj se odzove na neki dražljaj? Najenostavnejša bi bila razlaga, ki bi temeljila na zaporednih povezavah in bi npr. hoten gib razložila kot posledico vzdraženja primarne motorične skorje, potovanja impulzov po piramidni progi in vzdraženja določene mišice. Že za preprost gib, ki ga opravimo kot odziv na dražljaj, tak (preprost) proces ni dovolj. Dejansko dogajanje je splet vzporednih in zaporednih procesov v mno-

\*Znanstvena sodelavka dr. Duška Meh, dr. med., Inštitut za anatomijo, Medicinska fakulteta, Korytkova 2, 1000 Ljubljana in Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, Linhartova 51, 1000 Ljubljana.

gih delih živčevja. Motorični sistem, sestavljen iz vrste središč z natančno določenimi funkcijami, vzpodbudi in usklajuje gibe, potrebne za doseg določenega cilja; ob tem živčni signal impulze »prevede« v mehansko energijo, ki vpliva na okolico. Naš odziv tako ni odvisen le od signala, ki je sprožil aktivnost; ravnanje preoblikuje in prilagodi vrsta dejavnikov. Razlage izzvane aktivnosti so večinoma poenostavljene, temelje na poznavanju zaporednih procesov, zato z njimi izzvana dogajanja, ki so lahko kljub enake- mu ali podobnemu dražljaju zelo različna, le težko razložimo. Še težje je razložiti aktiv- nosti, ki niso odziv na dražljaj, ampak so posledica dogajanja v naši duševnosti, npr. hotenja ali želje. Vprašanje, kako mentalna aktivnost izzove neko fizikalno spremem- bo, so si zastavili že pred več kot 2500 leti, odgovoriti pa nanj tudi danes še ne znamo. Razumevanje povezav med osrednjim živčevjem in perifernimi strukturami, ki jih vsaj delno že poznamo in jih lahko z različnimi nevrofiziološkimi metodami celo opazujemo, nam omogoča malce pokukati v skrivnostni svet našega živčevja, razumevanje in raz- laga pa sta našemu znanju in védenju še nedosegljiva.

Mišična aktivnost je posledica aktivnosti v štirih hierarhično povezanih podenotah mo- toričnega sistema, na katere pa vplivajo tudi drugi, nemotorični (npr. asociacijski) deli možganske skorje. Najnižja raven motoričnega sistema je hrbtenjača s središči, ki so pomembna in zadostna le za nadziranje in vodenje avtomatskih stereotipnih (refleksnih)



Slika 1. Descendentne (temne) in ascendentne (svetle) živčne proge ter somatotopična ureditev progovnih vlaken v hrbtenjači. C – cervikalno, T – torakalno, L – lumbalno, S – sakralno.

gibov. V možganskem deblu se združijo descendentna motorična navodila iz višjih središč in dodatno obdelajo senzorični impulzi. Zapletenejši gibi, posebej najmanj avtomatski hoteni, zahtevajo usklajeno delovanje višjih središč v skorji velikih možganov (predvsem primarni motorični in predmotorični, povezani s predčelnimi in temenskimi), v bazalnih ganglijah in v malih možganih. Višja in nižja središča so tesno povezana, saj je pri primatih delovanje nižjih v veliki meri odvisno od natančnih in podrobnih »navodil« iz višjih, »nadrejenih« delov, v višja pa iz možganskega debla in hrbtenjače prispejo podatki o njihovi aktivnostih in o dogajanju na periferiji.

**Descendentne živčne proge** (slika 1) so živčne poti, preko katerih podatki iz možganske skorje in številnih jeder v možganih in možganskem deblu vplivajo na središča v hrbtenjači in preko njih na naše delovanje. Impulzi potujejo do nižjih središč neposredno ali posredno, sinapse pa so mesto, kjer se aktivnost preko vzbujevalnih (ekscitatornih) ali zaviralnih (inhibitornih) interneuronov dodatno preoblikuje.

Večina descendentnih prog je vpletenih v somatske motorične funkcije, pomembne pa so tudi za visceralno oživčenje, segmentne reflekse, vzdrževanje mišičnega tonusa in delno tudi prenos senzoričnih podatkov. **Ekstrapiramidna descendentna vlakna** (npr. rubrospinalna, vestibulospinalna, retikulospinalna in tektospinalna proga ter medialni longitudinalni fascikel) tvorijo filogenetsko najstarejši del descendentnega motoričnega sistema in vplivajo na mišični tonus, refleksno aktivnost, vzdrževanje položaja in sinergistične stereotipne avtomatske gibe. Filogenetsko mlajši **kortikospinalni sistem (piramidna vlakna)** nadzoruje predvsem hotene gibe distalnih delov okončin.

Descendentne proge tvorijo **zgornji motorični nevron**, izraz pa zaradi prevladujočega kliničnega pomena kortikospinalne proge pogosto enačimo kar z njo. Okvare zgornjega motoričnega nevrona povzročajo parezo (delno ohromelost) ali paralizo (popolno ohromelost), prehodno izgubo mišičnega tonusa (atonijo), ki mu sledi zvečanje tonusa (hipertonija) v antigravitacijskih mišicah (spastičnost). Miotatični (proprioceptivni, globoki) refleksi so živahni (hiperaktivni), plantarni odziv je ekstenzijski, povrhnji trebušni in kremastrov refleks pa nista izzivna. Mišična atrofija je vsaj v začetku manj očitna.

Celice v sprednjem hrbtenjačnem rogu in njihovi odvodni aksoni, povezani s prečno progastimi mišicami, sestavljajo drugo anatomsko in fiziološko enoto – **spodnji motorični nevron**. Nanj neposredno ali posredno vpliva zgornji motorični nevron, njegove okvare pa povzročajo paralizo (ohromitev) mišic, ki jih oživčuje, zmanjšanje ali izgubo mišičnega tonusa (hipotonijo ali atonijo) in hitro atrofijo denerviranih mišic.

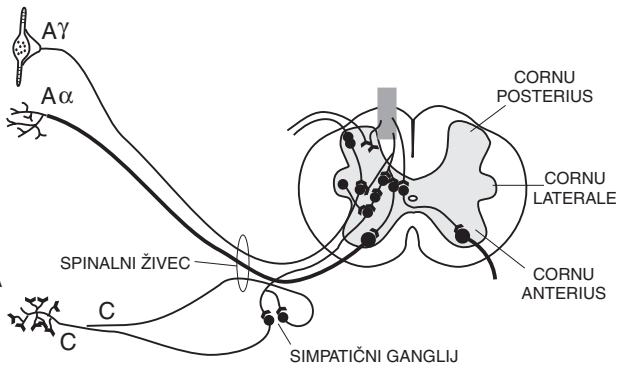
Najnižja oblika senzorično-motorične integracije so **refleksni gibi**. Refleksni lok je sestavljen iz receptorja, dovodnega ( aferentnega) nevrona, morebitnih vmesnih nevronov (interneuronov), odvodnega (eferentnega) nevrona in efektorja. Refleksi so avtomatski gibi, niso pa nespremenljivi. Preko različnih dejavnikov (mentalnih, čustvenih ali psiholoških, npr. s sugestijo) jih nadzirajo, uravnavajo in prilagajajo višje ravni osrednjega živčevja. Refleksni odgovori, v katere je vključeno več nevronov in sinaps, so bolj prilagodljivi. Na patelarni refleks lahko vplivamo le malo, na zenične reakcije na osvetlitev sploh ne moremo, refleks slinjenja pa je v veliki meri odvisen od vaje. Vegetarijanec, npr., se bo na vonj po zrezku odzval le malo, večini drugih ljudi pa se bodo usta hitro napolnila s slino.

SOMATSKA ODVODNA VLAKNA

motorična ploščica odvodnih aksonov gama na malih intrafuzalnih vlaknih mišičnega vretena

motorična ploščica odvodnih aksonov alfa na velikih ekstrasfuzalnih mišičnih vlaknih

AVTONOMNA ODVODNA VLAKNA  
prosti živčni končiči v:  
žlezem epiteliju  
gladkih mišicah  
srčni mišici



Slika 2. Prečni presek skozi hrbtenjačo. Odvodna živčna vlakna izhajajo iz nevronov v Rexedovi plasti IX v sprednjem hrbtenjačnem rogu, avtonomni (vegetativni) pa iz nevronov v intermediarni snovi oz. stranskih rogovih.

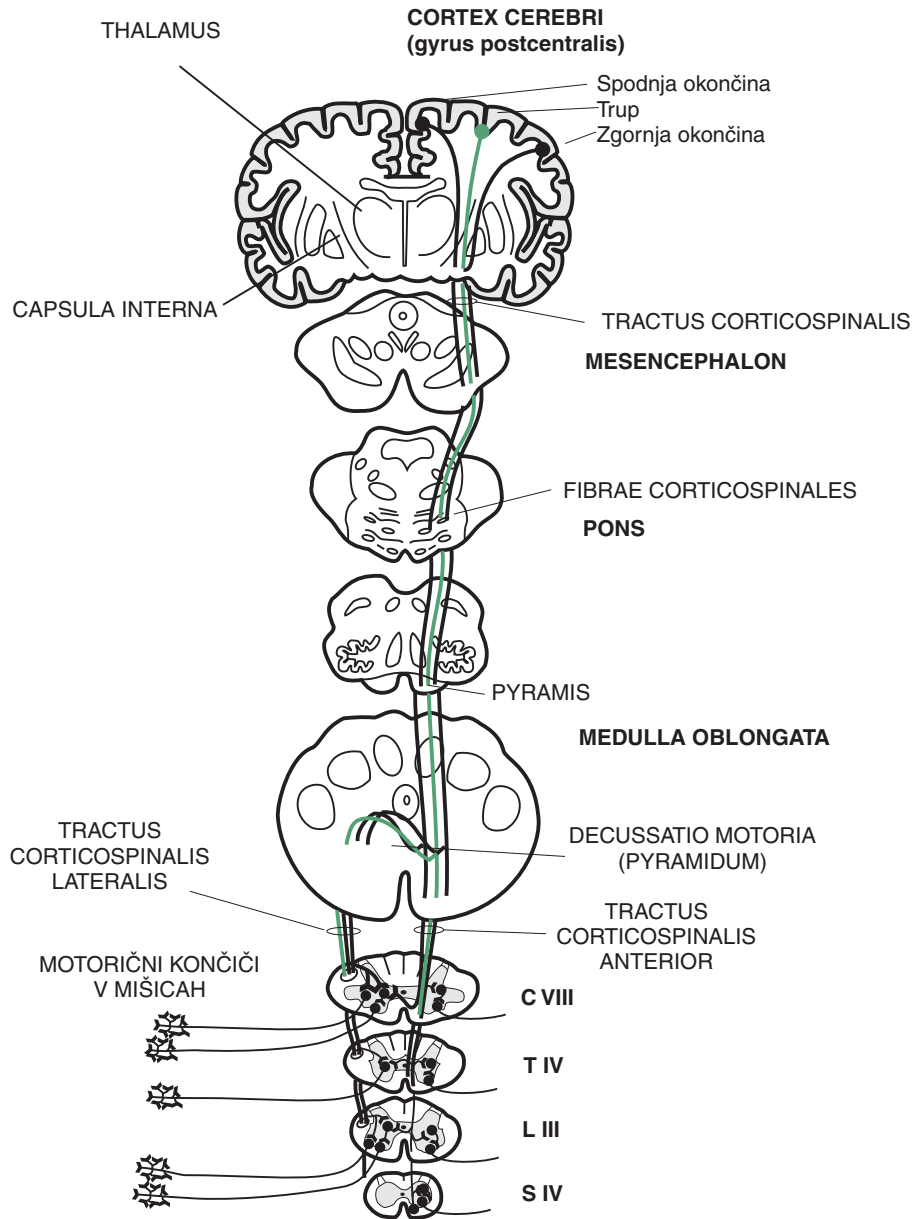
Refleksni lok največkrat sestavljajo trije ali štirje nevroni in dve ali tri sinapse. Vanje so lahko vključene še druge interneuronske poti, vsaka dodatna sinapsa pa pomeni več možnosti za spreminjanje refleksnega odgovora. Ko se v uravnavanje odzivov vključi še skorja velikih možganov, delovanja ne imenujemo več refleksno. Stereotipno gibanje nog pri teku je npr. organizirano na hrbtenjačni ravni, gibanje po neravni površini, skakanje, sočasno gledanje nazaj pa so že spretni gibi, v uravnavanje katerih so vključeni tudi drugi, višji deli osrednjega živčevja in zahtevajo učenje. Nadziramo lahko tudi praviloma avtomatske refleksne aktivnosti, česar so npr. sposobni fakirji in jogiji.

**Hoteni gibi**, ki so organizirani na višjih nivojih, so posledica povezanega, sočasnega in vzporednega delovanja senzoričnega in motoričnega sistema ter višjih kognitivnih središč. Dogajanj najbrž še dolgo ne bomo znali razložiti, nekoliko bliže pa smo razumevanju in poznavanju potovanja impulzov, rezultata teh aktivnosti.

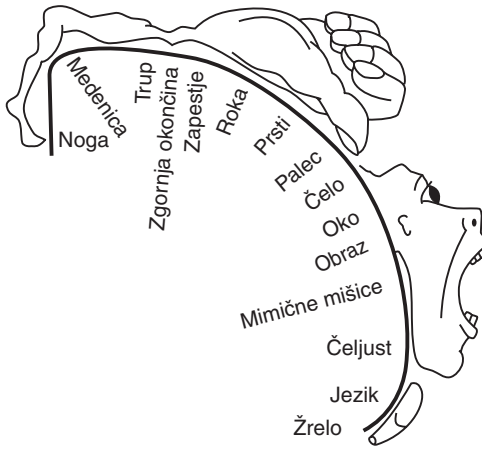
V hrbtenjači, **končni skupni poti**, so motorični nevroni predvsem v Rexedovi plasti IX, vegetativni pa v sivi snovi okrog osrednjega kanala (*substantia intermedia*), ki v prsnem in ledvenem delu tvori stranski rog in steber (*cornu laterale, columna lateralis*). Prečno progaste mišice oživčujejo velike somatske motorične celice v sprednjem hrbtenjačnem rogu, motorični nevroni alfa. Mednje so pomešani manjši motorični nevroni gama, ki oživčujejo intrafuzalna mišična vlakna mišičnih vreten in so pomembna za vzdrževanje mišičnega tonusa in spinalne ter supraspinalne vplive na mišična vretena. Somatska in vegetativna odvodna (eferentna) vlakna izstopajo iz hrbtenjače kot sprednja korenina (*radix anterior*) v predelu sprednjega lateralnega žleba (*sulcus lateralis anterior*) in se končajo na različnih efektorjih na periferiji (slika 2).

**Kortikospinalni sistem**

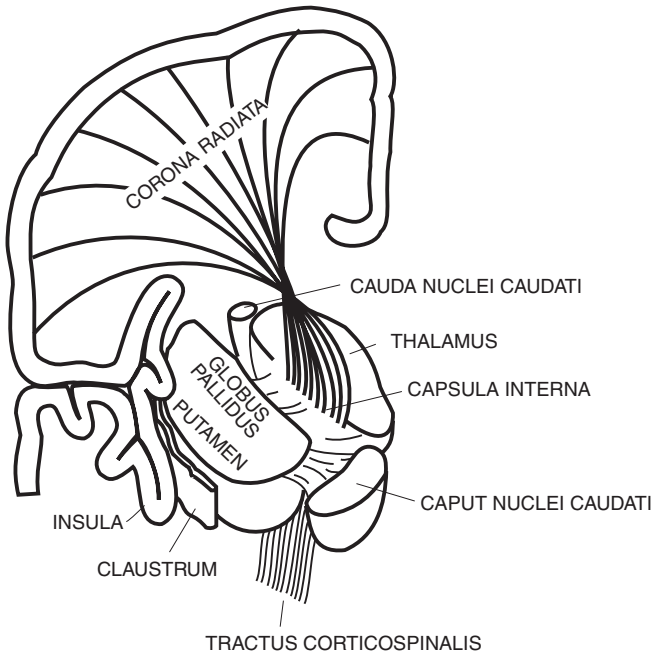
Kortikospinalni sistem sestavljajo vlakna dveh prog, sprednje in lateralne kortikospinalne (piramidne) proge (slika 3). Začno se v možganski skorji, potekajo skozi piramido (*pyra-*



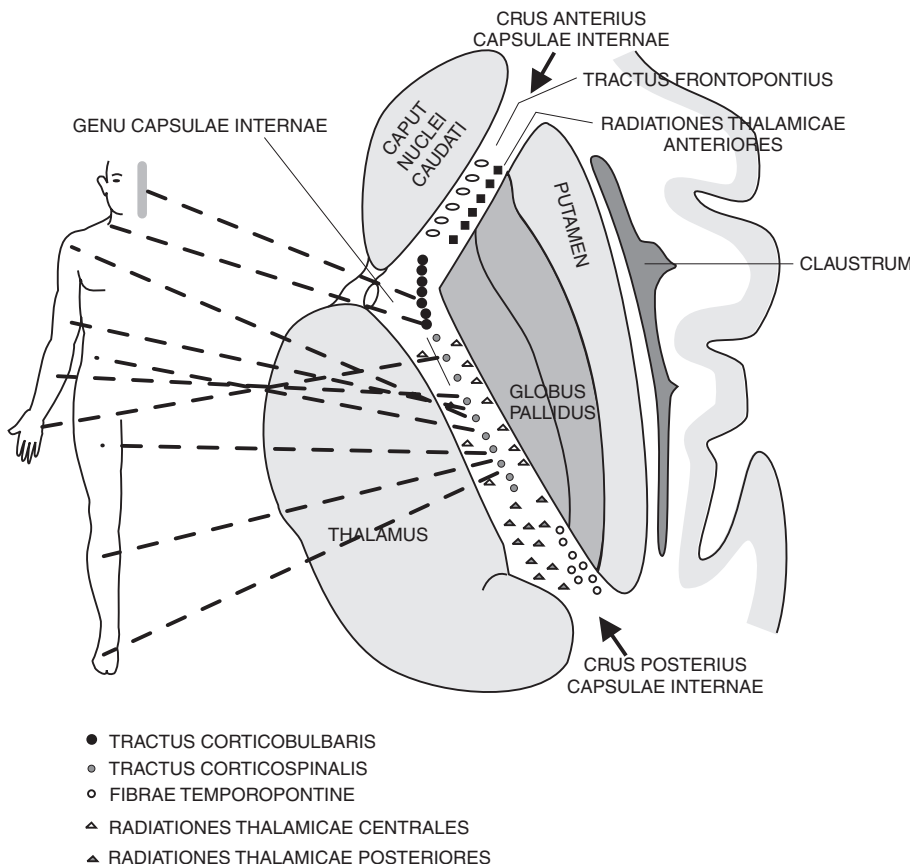
Slika 3. Sprednja in lateralna kortikospinalna (piramidna) proga.



Slika 4. Primarna motorična skorja je somatotopično urejena – motorični homunkulus.



Slika 5. Potek kortikobulbarne in kortikospinalne proge od predcentralne vijuge skozi korono radiato in kapsulo interno.



Slika 6. Somatotopična organizacija kapsule interne.

mis) podaljšane hrbtenjače in vstopajo v hrbtenjačo. Približno 30 % vlaken se začne v primarni motorični skorji (Brodmanovem področju 4), 30 % v predmotorični skorji (Brodmanovem področju 6), 40 % pa v temenskem režnju (Brodmanovih področjih 1, 2, 3 in 5). Vlakna so mielinizirana, najdebelejša izvirajo iz velikih Betzovih piramidnih celic v predcentralni vijugi (somatotopično urejeni primarni motorični skorji – motoričnem homunkulusu slika 4). Teh je približno 3 %, večina je tanjših, zato prevaja kortikospinalni sistem dražljaje razmeroma počasi. Do sprednjega dela mezencefalona potekajo vlakna skozi korono radiato in zadajšnji krak kapsule interne (slika 5, slika 6). V ponsu so vlakna razcepljena v snope, ki potekajo med jedri (*fibrae corticospinales*). V podaljšani hrbtenjači se vlakna (približno milijon) spet združijo in na sprednji površini tvorijo piramido. V možganskem deblu odda proga številne kolaterale: proti rdečemu jedru (*nucleus ruber*), mrežasti snovi (*formatio reticularis*), spodnjim olivarnim jedrom (*nuclei olivares in-*

*feriores*), jedrom sistema zadajšnjih svežnjev (*nucleus gracilis, nucleus cuneatus*) in drugam. Na meji med podaljšano hrbtenjačo in hrbtenjačo se 80–85 % vlaken križa (*decussatio motoria ali decussatio pyramidum*), proga pa se razdeli v večjo, križano lateralno in nekrižano sprednjo. Približno 55 % vlaken se konča v vratnih hrbtenjačnih segmentih, 20 % v prsnih in 25 % v ledveno-križnih. Kortikospinalnih vlaken za zgornjo okončino je torej več kot za druge dele telesa. Vlakna tega sistema niso somatotopično razporejena. V splošnem aktivirajo fleksorske motorične nevrone alfa in gama ter zavirajo ekstenzorske.

Kortikospinalni sistem ima pomembno vlogo tudi pri prenosu somatosenzornih podatkov. Vpliva na nevrone v zadajšnjem hrbtenjačnem rogu, v gracilnem in kuneatnem jedru ter v mrežasti snovi možganskega debla. Nekateri podatki, ki jih preoblikujejo tudi dražljaji kortikospinalnega sistema, preko talamusa potujejo do primarnega senzoričnega področja v pocentralni vijugi – tako nastane znotraj piramidnega sistema povratna zveza.

Za okvare kortikospinalne proge so značilni začetna izguba mišičnega tonusa, ki mu sledi zvečanje tonusa v antigravitacijskih mišicah (fleksorjih zgornje in ekstenzorjih spodnje okončine), živahni miotatični refleksi, neizvzna povrhnji trebušni in kremastrov refleks ter ekstenzijski plantarni odziv (znak Babinskega). Vse znake najdemo na kontralateralni polovici telesa.

#### **Lateralna kortikospinalna proga (*tractus corticospinalis lateralis*)**

Vlakna te živčne proge se križajo in medialno od zadajšnje spinocerebelarne proge potekajo po vsej dolžini hrbtenjače (slika 3); njihovo število se proti distalnim delom (križnim segmentom) manjša, saj proga v celi hrbtenjači oddaja vlakna za motorične celice v različnih hrbtenjačnih segmentih. V spodnjih ledvenih in križnih hrbtenjačnih segmentih, pod začetkom zadajšnje spinocerebelarne proge, leže vlakna tik pod površino dorzolateralnega dela hrbtenjače. Vlakna vstopijo v hrbtenjačno sivino v intermediarnem področju in se razporede v Rexedove plasti IV, V, VI in VII, kjer so povezane z internevroni. Nekaj vlaken (2–3 %) se konča neposredno, monosinaptično na motoričnih celicah alfa in gama ali njihovih podaljških v plasti IX; ta vlakna so najdebelejša in izvirajo iz Betzovih celic v primarni motorični skorji. Zelo veliko vlaken lateralne kortikospinalne proge je namenjenih oživčenju lateralno v sprednjem rogu ležečim motoričnim nevronom za distalne mišice kontralateralnih okončin, posebej za prste na rokah.

#### **Sprednja kortikospinalna proga (*tractus corticospinalis anterior*)**

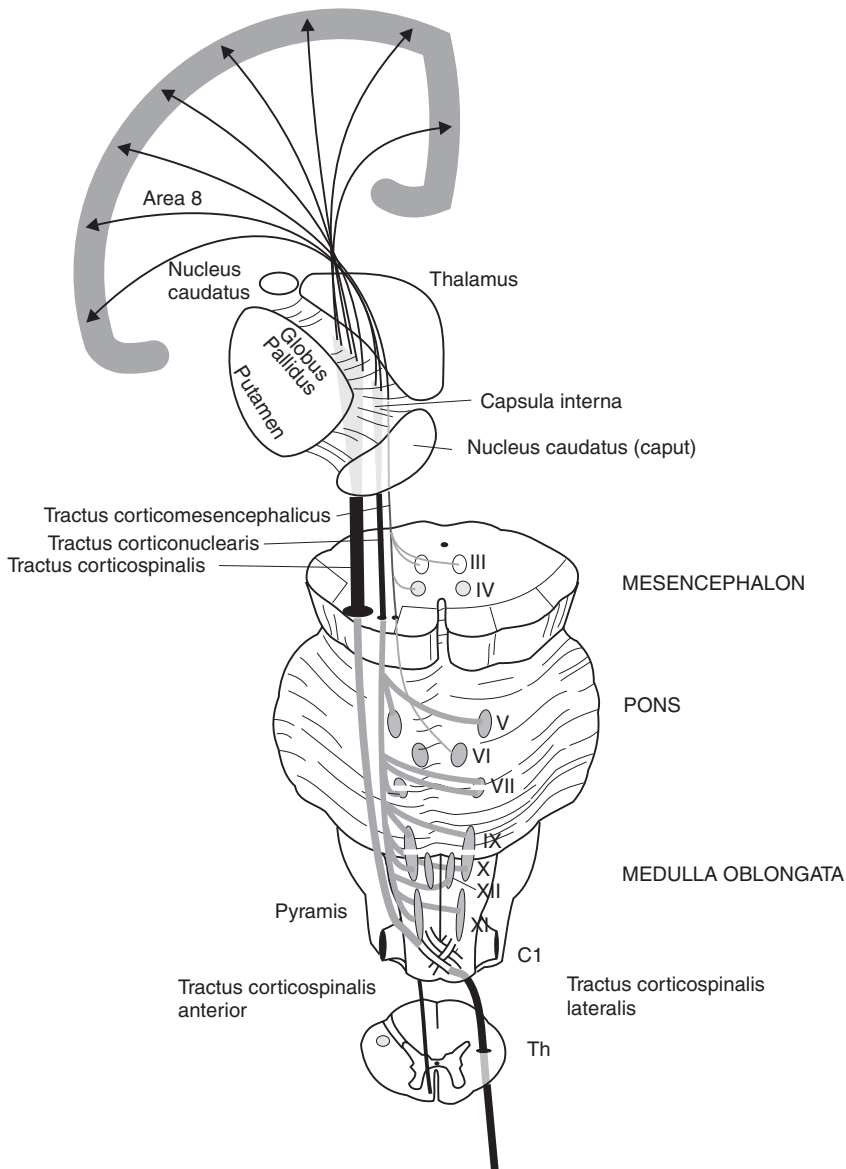
Tvorijo jo nekrižana vlakna (slika 3) in potekajo ob sprednji mediani črti (*fissura mediana anterior*). Obsežna je predvsem v zgornjem vratnem delu, do ledvenega in križnega dela pa njena vlakna ne segajo. Oživčuje ventromedialno skupino motoričnih celic za mišice zgornje okončine in vratu. Večina vlaken se konča v plasti VII obeh strani, saj del vlaken v sprednji beli komisuri prestopi na drugo stran. Proga tako oživčuje proksimalne motorične nevrone obeh strani telesa.

### **Kortikobulbarni sistem**

#### **Kortikobulbarna (kortikonuklearna) proga (*tractus corticobulbaris, corticonuclearis*)**

Kortikobulbarna proga je neposredno ali posredno, preko internevronov, povezana z motoričnimi jedri možganskih živcev in uravnava delovanje mišic glave in vratu (sli-





Slika 7. Kortikobulbarna in kortikomezencefalna proga. Projekcije do motoričnih jeder možganskih živcev V, IX, X in XI so obojestranske in za jedra na obeh straneh približno enako številne. Projekcije do jeder obraznega živca so obojestranske, a do jedra za mišice okoli ust so usmerjena večinoma le kontralateralna vlakna. Jedro možganskega živca XII motorično oživčujejo le kontralateralna vlakna.

ka 7). Skozi mezencefalon so vlakna neposredno, monosinaptično povezana z motoričnimi jedri možganskih živcev V, VII, IX, X, XI in XII. Projekcije do motoričnih jeder možganskih živcev V, IX, X in XI so obojestranske in za jedra na obeh straneh približno enako številne. Tudi projekcije do jeder obraznega živca so obojestranske, a do jedra za mišice okoli ust so usmerjena večinoma le kontralateralna vlakna. Jedro možganskega živca XII motorično oživčujejo le kontralateralna vlakna.

Osrednje ožvičenje mišic glave in vratu je večinoma obojestransko in pri enostranskih osrednjih okvarah vidimo le parezo ali paralizo mišic okrog ust in mišic jezika.

### **Kortikomezencefalna proga (*tractus corticomesencephalicus*)**

Začne se v frontalnem očesnem delu možganske skorje (Brodmanovo področje 8). Nekateri jo prištevajo h kortikobulbarni progi, pogosto pa jo omenjajo posebej. Proti jedrom možganskih živcev III, IV in VI poteka skozi zadajšnji krak kapsule interne. Draženje Brodmanovega področja 8 povzroči zaradi sinergističnega draženja očesnih mišic obrat oči proti nasprotni strani (*déviation conjuguée*). Običajno se proti nasprotni strani hkrati obrne tudi glava. Uničenje Brodmanovega področja 8 ima nasprotni učinek, povzroči obrat oči proti okvari. Vlakna kortikomezencefalne proge (slika 7) potekajo skupaj z vlakni kortikobulbarne, do jeder naštetih možganskih živcev (III, IV in VI) pa prispejo preko internevronov v zgornjih koliklih (*colliculi superiores*) in v mrežasti snovi (*formatio reticularis*), pa tudi preko medialnega longitudinalnega fascikla (*fasciculus longitudinalis medialis*).

### **Ekstrapiramidni sistem**

Ekstrapiramidni sistem sestavljajo filogenetsko starejše živčne proge, ki ne potekajo skozi piramido. Začne se v možganskem deblu, nanje pa vplivajo tudi druga središča v osrednjem živčevju. Delimo jih v dve skupini, ventromedialno in dorzolateralno. Ventromedialne proge se končajo v ventromedialnem delu hrbtenjačne sivine, usmerjajo delovanje proksimalnih mišic in so pomembne za vzdrževanje ravnotežja in položaja. Dorzolateralne proge se končajo v dorzolateralnem delu hrbtenjačne sivine, usmerjajo delovanje distalnih mišic okončin in so pomembne za natančne gibe. Pri človeku so manj pomembne, saj to delovanje usmerjajo predvsem vlakna lateralne kortikospinalne proge.

### **Dorzolateralni sistem**

Sestavljajo ga predvsem rubrospinalna vlakna. Poteka v lateralnem kvadrantu hrbtenjače. Konča se v lateralnem delu intermediarnega področja in na motoričnih nevronih za distalne mišice okončin. Oddaja le malo kolateral in to v majhnem številu spinalnih segmentov.

### **Rubrospinalna proga (*tractus rubrospinalis*)**

Proga se začne v spodnjem, magnoceličnem delu rdečega jedra (*nucleus ruber*) v osrednjem delu mezencefalnega tegmentuma (slika 7). Vlakna se v mezencefalonu križajo (*decussatio tegmenti ventralis*), skozi hrbtenjačo pa potekajo pred vlakni lateral-

ne kortikospinalne proge, s katerimi so delno tudi pomešana. Vlakna so somatotopično organizirana: iz dorzalnih in dorzomedialnih delov rdečega jedra usmerjajo delovanje perifernih motoričnih nevronov vratnega dela hrbtenjače, iz ventralnega in ventromedialnega dela rdečega jedra pa potekajo vlakna do ledvenega in križnega dela hrbtenjače. Prsni segmenti dobe vlakna iz vmesnega, intermediarnega dela rdečega jedra. Vlakna te proge se končajo v plasteh V, VI in VII, proga pa oddaja številne kolaterale v možganskem deblu in hrbtenjačnih segmentih.

Iz magnoceličnega dela rdečega jedra vodijo impulze tudi rubrobulbarna vlakna, ki se končajo v jedrih možganskih živcev, ki uravnavajo delovanje obraznih mišic, v senzoričnih jedrih trivejnega živca in gracilnem ter kuneatnem jedru.

Preko rubrospinalne proge delujeta na nevrone v različnih hrbtenjačnih segmentih tudi skorja velikih možganov in mali možgani. Somatotopično organizirana kortikorubralna vlakna iz motorične skorje potekajo obojestransko do parvoceličnega in do magnoceličnega dela rdečega jedra iste strani, vsi deli rdečega jedra pa preko zgornjega cerebelarnega pedunkla dobe križana cerebelarna vlakna.

Draženje celic v rdečem jedru vzpodbuja celice kontralateralnih fleksornih in zavira celice ekstenzornih motoričnih nevronov alfa, najpomembnejša vloga rubrospinalne proge pa je uravnavanje mišičnega tonusa fleksorjev.

### **Ventromedialni sistem**

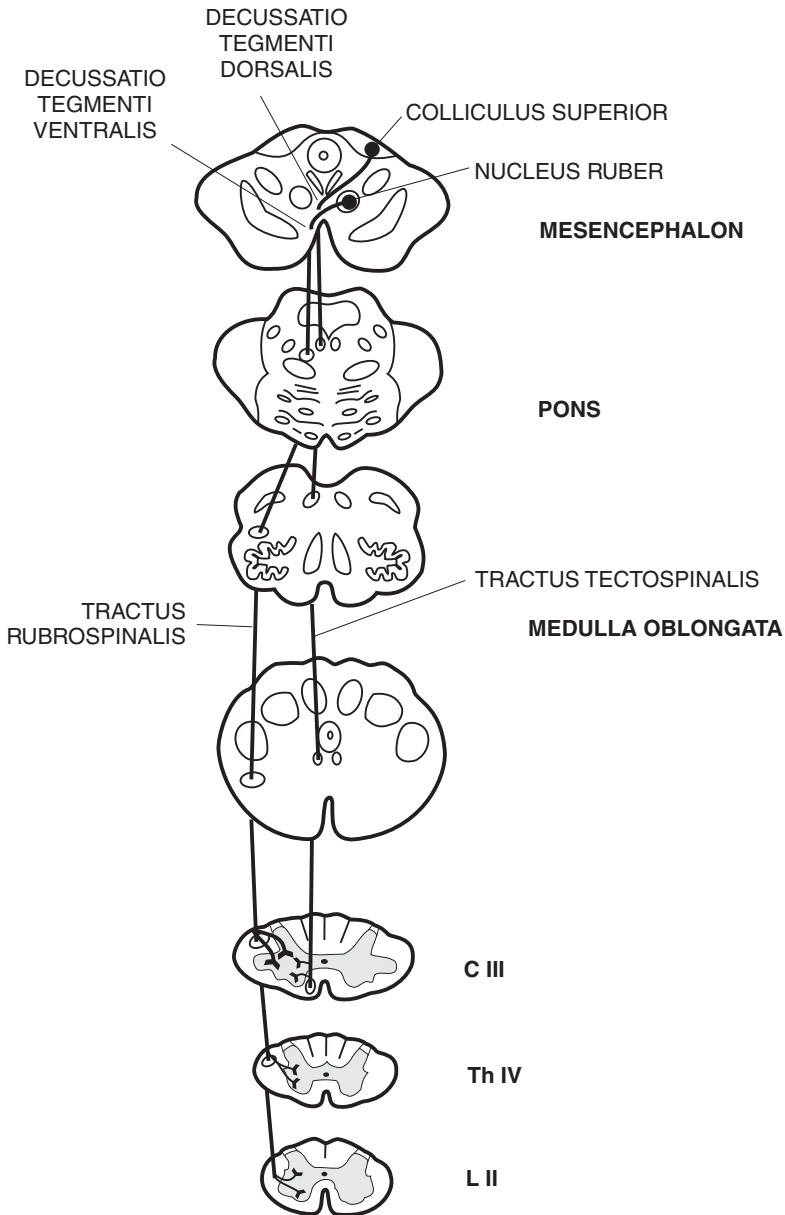
Ventromedialne proge potekajo v ipsilateralnih hrbtenjačnih delih in se končajo na medialnih motoričnih nevronih, ki oživčujejo aksialne mišice. Mnogi aksoni se končajo obojestransko, kolaterale pa oddajajo v različnih hrbtenjačnih segmentih. Ventromedialne proge so tektospinalna, lateralna in medialna vestibulospinalna, retikulospinalna in medialni longitudinalni fascikel.

#### **Tektospinalna proga (*tractus tectospinalis*)**

Vlakna te proge izhajajo iz celic v globljih plasteh zgornjega kolikla (*colliculus superior*), zavijejo anteromedialno okrog periakveduktne sivine, se križajo (*decussatio tegmenti dorsalis*), v hrbtenjači pa potekajo pred medialnim longitudinalnim fasciklom in to samo v vratnem delu. V podaljšani hrbtenjači so vlakna del medialnega longitudinalnega fascikla. Večina se jih konča v zgornjih štirih vratnih segmentih v plasteh VIII, VII in delih plasti VI. Vsa vlakna so z motoričnimi nevrone povezana preko interneuronov. Vpletena so v refleksne posturalne gibe, ki jih izzovejo vidni, morda pa tudi slušni dražljaji.

#### **Lateralna in medialna vestibulospinalna proga (*tractus vestibulospinalis lateralis et medialis*)**

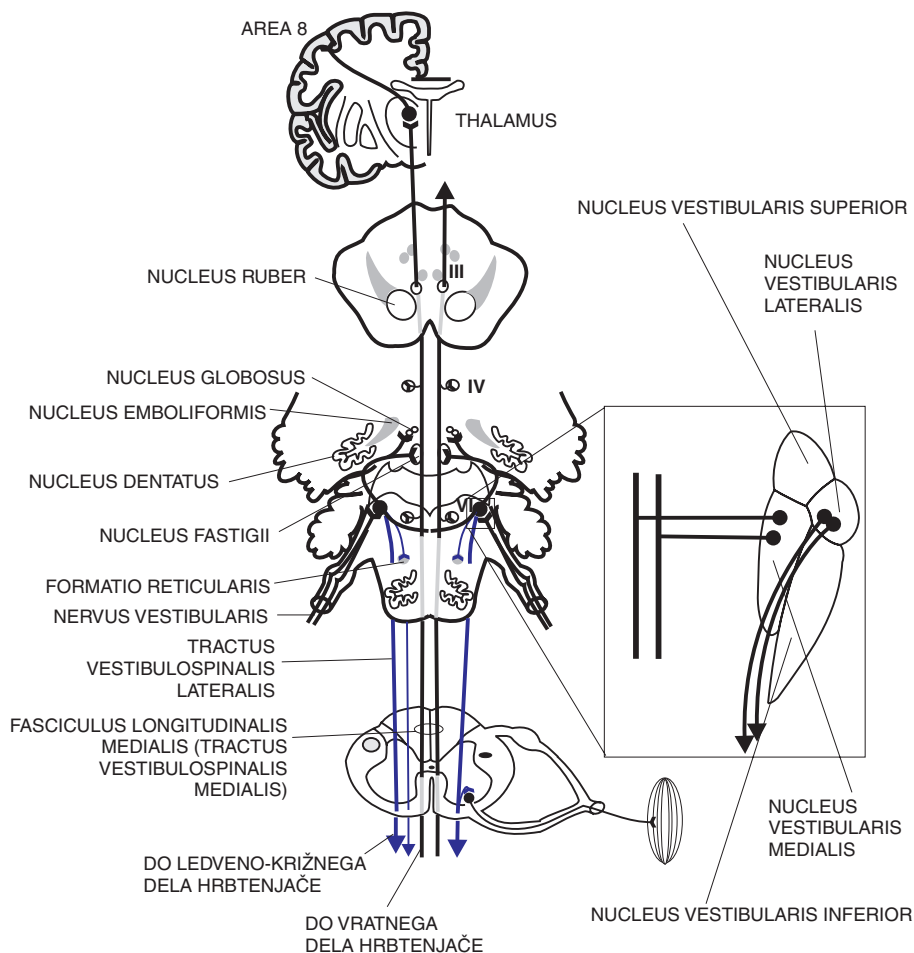
Vlakna lateralne vestibulospinalne proge (slika 8) izvirajo iz lateralnega vestibularnega jedra (*nucleus vestibularis lateralis – Deiters*), enega iz skupine vestibularnih jeder v dnu četrtega ventrikla. Nanje vplivajo vestibulokohlearni živec in pa skorja malih možganov. Vlakna potekajo po sprednjem perifernem delu iste strani hrbtenjače (slika 7) in so somatotopično razporejena: dorzokavdalni deli lateralnega vestibularnega jedra pošiljajo vlakna do ledveno-križnega dela hrbtenjače, rostroventralni del pa v vratne segmente.



Slika 8. Rubrospinalna (dorzolateralni sistem) in tectospatialna (ventromedialni sistem) proga.

Za proge so značilne tudi mnoge kolaterale, vlakna pa delujejo na posinaptične nevrone v plasteh VII, VIII in IX na obeh straneh.

Iz medialnega vestibularnega jedra (*nucleus vestibularis medialis*) poteka do sredine prsnega dela hrbtenjače medialna vestibulospinalna proga (slika 9), ki je nadaljevanje dela vlaken medialnega longitudinalnega fascikla. V njej je vlaken manj kot v lateralni, namenjena pa so predvsem mišicam vratu in zgornje okončine. Končajo se obojestransko na nevronih v plasteh VII in VIII, posamična pa tudi v plasti IX.



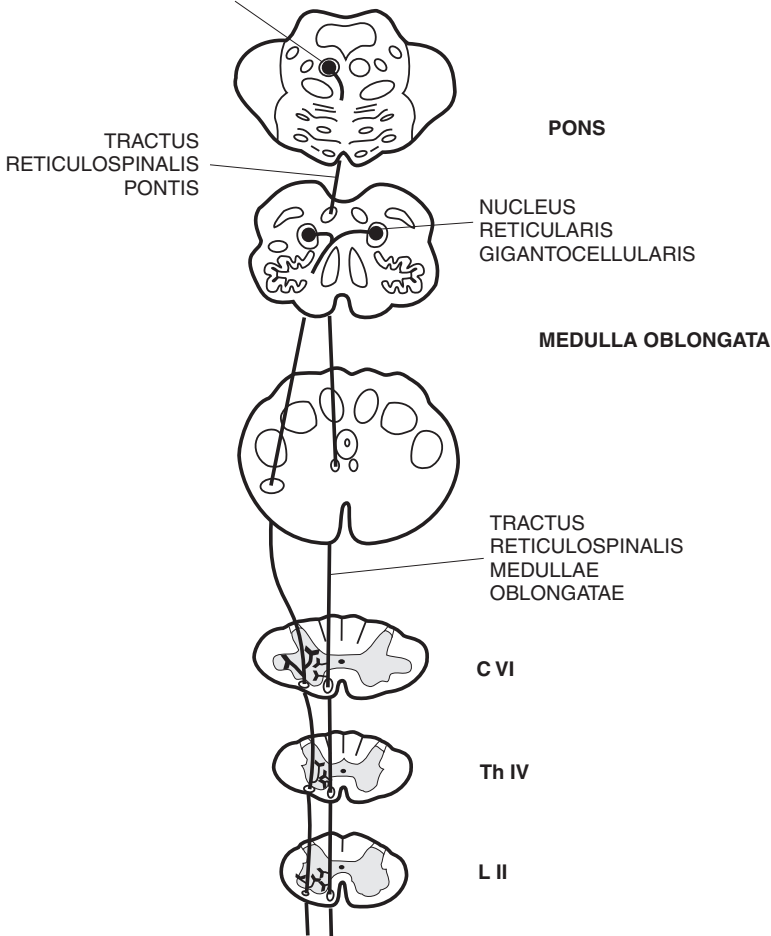
Slika 9. Lateralna in medialna vestibulospinalna proga. Vlakna lateralne vestibulospinalne proge izvirajo iz lateralnega vestibularnega jedra, vlakna medialnega pa iz medialnega vestibularnega jedra in so del descendentnega dela medialnega longitudinalnega fascikla.

Obe vestibulospinalni progi vzpodbujata istostranske ekstenzorje (predvsem spodnjih okončin) in zavirata istostranske fleksorje. Progi sta zato izredno pomembni za vzdrževanja ravnotežja pri stoji in hoji.

**Pontina in medularna retikulospinalna proga (*tractus reticulospinalis pontis et medullae oblongatae*)**

Retikulospinalna vlakna izhajajo iz dveh velikih področij mrežaste snovi, v ponsu in v nadaljšani hrbtenjači (slika 10). V ponsu so pomembna izvorna središča *nuclei reticularis*

NUCLEUS RETICULARIS  
PONTIS CAUDALIS ET ORALIS



Slika 10. Pontina (medialna) in medularna (lateralna) retikulospinalna proga.

*pontis caudalis* in *nuclei reticularis pontis oralis*. V podaljšani hrbtenjači izvirajo vlakna iz medialnih tretjin mrežaste snovi – *nucleus reticularis gigantocellularis*. Vlakna v pontini retikulospinalni progi, ki jo imenujemo tudi medialna, so nekrižana, nekrižanih je tudi večina vlaken v medularni (lateralni) retikulospinalni progi. Del vlaken pontine proge se priključi medialnemu longitudinalnemu fasciklu (slika 9). Vlakna se večinoma končajo na internevronih v plasteh VII in VIII, včasih pa tudi IX, in to v več hrbtenjačnih segmentih. Proga ni organizirana somatotopično. Na njena vlakna pomembno vplivajo motorična skorja, zgornji kolikli, vestibularna jedra in spinoretikularna proga, pa tudi avtonomno živčevje. Proga vzpodbuja ali zavira hoteno in refleksno gibanje, vpliva na mišični tonus, dihalne mišice in mišice v žilnih stenah, pa tudi na ascendentne živčne proge.

#### **Medialni longitudinalni fascikel (*fasciculus longitudinalis medialis*)**

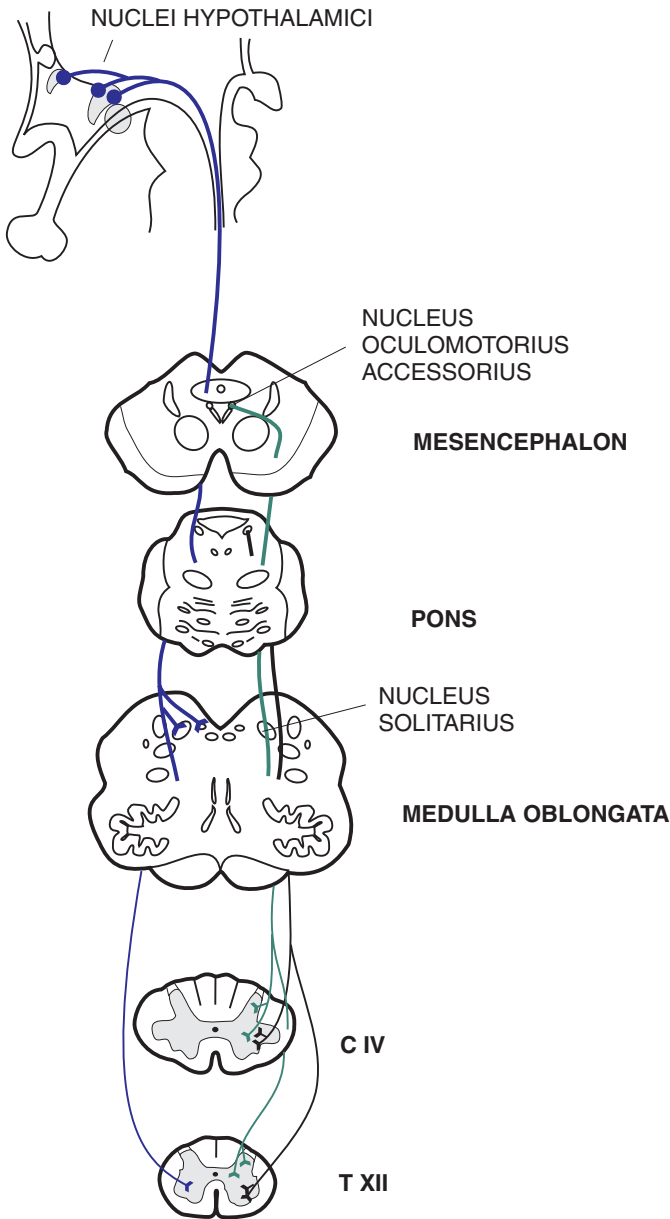
Zadajšnji del sprednjega hrbtenjačnega svežnja tvori filogenetsko zelo star medialni longitudinalni fascikel. Snop je jasno opazen le od mezencefalona do vratne hrbtenjače, čeprav se nekaj vlaken razteza po celi dolžini hrbtenjače (*fasciculus sulcomarginalis*) (slika 1). Povezuje jedra možganskih živcev III, IV in VI, medialno vestibularno jedro in različna jedra v možganskem deblu (istostranski medialno in spodnje vestibularno jedro, pontino mrežasto snov, zgornje kolikle in Cajalovo jedro nasprotni strani), v njem pa potekajo tudi impulzi iz vratnega dela hrbtenjače (vratnega in zatilnega mišičja). Dobro je viden le v vratnem delu hrbtenjače. Nekrižana vlakna se končajo predvsem v plasteh VII in VIII različnih hrbtenjačnih segmentov. Pomemben je predvsem za refleksno aktivnost.

#### **Descendentne avtonomne proge**

Avtonomno živčevje je še precej neraziskan del živčevja, nekaj dejstev pa je že znanih. Descendentna avtonomna vlakna izvirajo iz nevronov v različnih delih hipotalamusa, visceralnih jeder okulomotornega sklopa (*nucleus oculomotorius accessorius*), lokusa ceruleusa (*locus coeruleus*) in solitarnega jedra (*nucleus solitarius*), delno pa tudi v jedrih v mrežasti snovi (slika 11). Vlakna iz naštetih jeder potekajo do jeder v hrbtenjači neposredno, druga pa se večkrat preklopijo. Nekrižana vlakna v stranskem hrbtenjačnem svežnju se končajo na simpatičnih in parasimpatičnih predganglijskih nevronih v intermediarnih delih prsnega in ledvenega dela hrbtenjače ter v križnih segmentih, vplivajo pa na gladke mišice, srčno mišico, žleze in visceralna tkiva.

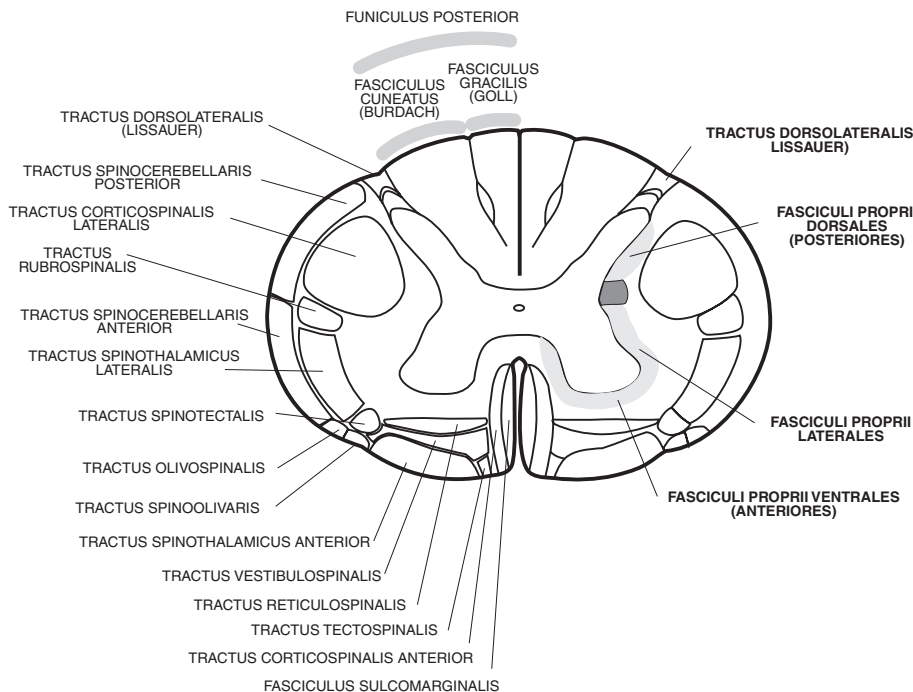
#### **Propriospinalni sistem (*fasciculi proprii*)**

Sestavljajo jih krajša in daljša, križana in nekrižana, ascendentna in descendentna vlakna, ki se začnejo in končajo v hrbtenjači. Nekatera potekajo v sivi snovi, druga pa izstopijo iz nje, potekajo po beli snovi in se vrnejo v sivo. Povezujejo celične skupine različnih in istih hrbtenjačnih segmentov. Vlakna potekajo tik ob hrbtenjačni sivi snovi (*fasciculi proprii anteriores, laterales in posteriores*), mednje pa štejemo tudi Lissauerjev sno-



Slika 11. *Descendentne avtonomne projekcije iz hipotalamusa, visceralnih (parasimpatičnih) okulomotornih jeder, lokusa ceruleusa in solitarnega jedra.*





Slika 12. Propriospinalna vlakna potekajo tik ob hrbtenjačni sivi snovi.

pič (*tractus dorsolateralis*) (slika 12). Največ vlaken je v anterolateralnih delih hrbtenjače, najdemo pa jih v vseh. Njihov pomemben del so tudi kolaterale različnih prog. Pomembni so predvsem za intersegmentne reflekse.

## Sklep

Delovanje osrednjega in perifernega živčevja ter njune povezave, ki omogočajo pravilno odzivanje na notranje in zunanje dražljaje ter s tem na preživetje, ostaja največja uganaka našega telesa. Obširno védenje o posameznih dogajanjih, ki pa vseeno pomenijo le drobec malega vesolja v naši lobanji in v drugih delih telesa, je le majhen korak med še neodkrite resnice. Ogromno število raziskovalcev, ki stopajo po komaj opaznih poteh med še neodgovorjenimi in pogosto sploh še ne zastavljenimi vprašanji, gradi svet znanja o živčevju, ki smo ga vsaj malce pojasnili v naših člankih in s tem morda olajšali vstop v čudovit, a zapleten svet živčevja.

## Zahvala

Za pomoč pri dokončnem oblikovanju članka se zahvaljujem prof. dr. Martinu Štruclu. Hvala inženirju Nacku Zidarju za pomoč pri izdelavi slik in nenazadnje študentom, pobudnikom in motivu za dokončanje obsežnega dela.

## Literatura

1. Brodal A. *Neurological anatomy*. New York: Oxford University Press, 1981.
2. Carpenter MB. *Core text of neuroanatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991.
3. DeMyer WE. *Technique of the neurologic examination*. New York: McGraw-Hill, 1994.
4. Duus P. *Neurologisch-topische Diagnostik*. Stuttgart: Thieme, 1987.
5. Feneis H. *Anatomisches Bildwörterbuch*. Stuttgart: Thieme, 1982.
6. Firbas W, Gruber H, Mayr R. *Neuroanatomie*. Wien: Wilhelm Maudrich, 1988.
7. Frick H, Leonhardt H, Starck D. *Human anatomy 2*. Stuttgart: Thieme, 1991.
8. Kandel ER, Schwartz JH. *Principles of neural science*. New York: Elsevier, 1985.
9. Janko M, ed. *Klinična nevrološka preiskava*. Ljubljana: Medicinski razgledi, 1996.
10. Marsden CD, Fowler TJ. *Clinical neurology*. London: Edward Arnold, 1989.
11. Mumenthaler M. *Neurologie*. Stuttgart: Thieme, 1986.
12. Širca A. *Anatomija. Živčevje*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 1995.
13. Štrucl M. *Fiziologija živčevja*. Ljubljana: Medicinski razgledi, 1989.
14. Truex RC, Carpenter MB. *Strong and Elwyn's human neuroanatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1964.
15. Wall PD, Melzack R. *Textbook of pain*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1989.
16. Willis WD Jr, Coggeshall RE. *Sensory mechanisms of the spinal cord*. New York: Plenum Press, 1991.

Prispelo 3. 1. 1997