

Uloga silaznih putova iz moždanog debla u održavanju stava tijela i mišićnog tonusa

Moždana kora posredstvom kortikospinalnog puta izravno modulira aktivnost motoneurona i refleksnih krugova te omogućuje voljne pokrete. Što je specifični doprinos motoričkom ponašanju preostalih silaznih putova, u usporedbi s utjecajem perifernih osjetnih informacija ili zapovjednih signala iz moždane kore? Na to pitanje nastojimo odgovoriti analizirajući tri važne vrste poremećaja što se u kliničkoj medicini nazivaju spinalni šok, decerebracijska rigidnost i dekortikacijska rigidnost. U pokusnih životinja ta klinička stanja oponašamo ciljanim presijecanjem moždanog debla na različitim razinama, pa prema onom dijelu središnjeg živčanog sustava što je ostao povezan s osjetnim receptorima i skeletnim mišićima iz područja trupa i udova govorimo o *spinalnoj, decerebriranoj (bulbospinalnoj ili mezencefaličkoj) i dekortikiranoj životinji*, obično mački ili majmunu. Silazni motorički putovi što polaze iz moždanog debla djeluju kao posrednici preko kojih na spinalne mehanizme utječu moždana kora, mali mozak i vestibularni sustav. No, ulogu tih putova je razborito razmotriti tek nakon upoznavanja spinalnog šoka, tj. stanja u kojem spinalne motoričke mehanizme moduliraju jedino periferne osjetne informacije.

Spinalni šok i učinci presijecanja kralježnične moždine

Nakon potpunog presijecanja kralježnične moždine, odmah se uočavaju dvije trajne i jedna privremena posljedica:

- 1) Trajno se gube svi voljni pokreti mišića što ih inerviraju spinalni motoneuroni smješteni kaudalno od mjesta ozljede (u preostalom, izoliranom dijelu kralježnične moždine);
- 2) U istim dijelovima tijela trajno se gubi sav osjet (što se prema mozgu prenosi uzlaznim putovima kralježnične moždine),
- 3) Privremeno zamiru spinalni refleksi – to stanje je *areflexia*, no mnogo češći naziv je spinalni šok.

Spinalni šok je privremeno stanje smanjene sinaptičke ekscitabilnosti neurona smještenih u izoliranom, kaudalnom dijelu kralježnične moždine (u pokusne životinje najčešće moždinu presijecemo na granici produljene moždine i segmenta C1, pa tako izoliramo cijelu kralježničnu moždinu – no, ozljede u ljudi ne biraju mjesto, pa mogu uzrokovati izolaciju različito dugih odsječaka kralježnične moždine). Koliko će to stanje spinalnog šoka biti teško i koliko će dugo trajati, mnogo ovisi o vrsti životinje, tj. o *stupnju encefalizacije* (viši stupanj encefalizacije znači da moždana kora ima veću ulogu u nadzoru nad spinalnim mehanizmima). Primjerice, spinalni šok u žabe traje tek nekoliko minuta (obično samo jednu minutu); u mačke i psa traje satima, u majmuna danima ili tjednima, a u čovjekolikih majmuna i ljudi tijekom postupnog oporavka refleksne ekscitabilnosti može se protegnuti kroz mnoge mjesec. Zbog čega se naglo smanji ekscitabilnost spinalnih neurona i nastupi spinalni šok? Dendriti spinalnih neurona su pokriveni brojnim sinapsama, a velik dio tih sinapsi potječe od aksona što u kralježničnu moždinu silaze iz viših moždanih područja. Većina tih silaznih aksona trajno

subliminalno depolarizira spinalne neurone i tako ih održava u stanju prilično visoke ekscitabilnosti. No, kad se ti aksoni naglo prekinu, preostale sinapse primarnih aferentnih vlakana ne mogu spriječiti nagli pad ekscitabilnosti. Duljina trajanja spinalnog šoka upravo i ovisi o omjeru broja sinapsi što ih prave aferentni aksoni i silazni aksoni. Očigledno, u žabe većinu sinapsi prave aferentni, a manjinu silazni aksoni (stoga je spinalni šok vrlo kratkotrajan), dok je u čovjeka upravo obrnuto, pa je oporavak spinalne ekscitabilnosti vrlo postupan i dugotrajan.

Sve pojavnosti spinalnog šoka su vezane uz izolirani kaudalni dio kralježnične moždine. Jedina promjena vezana uz rostralni dio moždine (što ostaje spojen s mozgom) je blagi porast tonusa ekstenzora prednjih udova nakon presijecanja grudnog ili slabinskog dijela moždine (**Schiff-Sherringtonov fenomen**).

Tijek oporavka refleksne ekscitabilnosti nakon presijecanja kralježnične moždine

SOMATSKI REFLEKSI. U mačke je razdoblje potpune arefleksije toliko kratko, da ga možda nećemo niti uočiti ako je moždina presječena tijekom duboke i dugotrajne anestezije. Već nekoliko minuta nakon presijecanja, može se izazvati blagi patelarni refleks istezanja, a nakon nekoliko sati se javi i normalni refleks uklanjanja. Složeniji polisinaptički refleksi (npr. refleks česanja i ukrženi refleks ekstenzora) mogu se javiti tek nakon nekoliko dana. No, kako vrijeme prolazi, refleksna ekscitabilnost se abnormalno pojačava. Pojačan je tonus ekstenzora nogu, pa mačka može nesigurno stajati 2-3 minute (spinalno stajanje), a potom se skljoka na pod. Kad takvu mačku uhvatimo za trup i podignemo u zrak, ponekad se viseće stražnje noge izmjenično povijaju i opružaju (spinalno hodanje). Kad takvoj mački šapu uronimo u vodu, dobijemo jasan dokaz sposobnosti izolirane kralježnične moždine da jednostavne reflekse objedini u svrhovit pokret. Naime, kad normalnoj mački šapu uronimo u vodu, ona je odmah naglo izvuče i temeljito protrese (da zbaci vodu s krzna). Pritom nije bitno je li voda topla ili hladna, a sam dodir s vodom (dodirni podražaj) je dovoljan za izazivanje refleksa. Međutim, kad šapu kronične spinalne mačke uronimo u vodu temperature jednake tjelesnoj, šapa ostaje u vodi. Ali, ako je uronimo u hladnu ili u vrelu vodu, odmah se javi živahan refleks uklanjanja i šapa se brzo izvlači iz vode i snažno otresa vodu s krzna. Pritom je zanimljivo da hladna voda refleks izaziva preko termoreceptora za hladno, dok topla voda refleks izaziva jedino onda kad je toliko vruća da aktivira nociceptore.

Oporavak od spinalnog šoka u majmuna ima sličan slijed, ali je mnogo dugotrajniji, a početni šok je mnogo dublji. Mišići povezani s izoliranim dijelom moždine su nepokretni i mlohavi. Čak niti najbolniji podražaji kože niti izravno električno podraživanje debelog aferentnog živca ne mogu izazvati motoričku reakciju. U nekih majmuna, prvo se oporavi patelarni refleks istezanja (obično tek nakon tjedan

dana), a u drugih se prvo oporavi plantarni refleks (obično do kraja četvrtog dana).

VISCERALNI REFLEKSI – MOKRAĆNI MJEHUR. Odmah nakon presijecanja moždine, javi se potpuna mlohavost (**atonija**) stijenke mokraćnog mjehura. No, istodobno se pojača tonus sfinktera. Stoga se mokraćna nakuplja, a mjehur rasteže sve dok tlak ne nadvlada otpor sfinktera. No i tada tek mala količina mokraće nevoljno isteče iz mjehura (**inkontinencija prepunjenog mjehura**). Usporedno s oporavkom somatskih refleksa, oporavljaju se i refleksne kontrakcije stijenke mokraćnog mjehura (praćene relaksacijom sfinktera), pa dolazi do refleksnog mokrenja. Ali i tada uvijek određena količina mokraće zaostaje u mjehuru, pa je često potrebna kateterizacija mjehura. Refleksne funkcije mokraćnog mjehura u mačke i majmuna se oporave tijekom prvog tjedna, a u čovjeka tek 25 do 30 dana nakon ozljede. Dodirno ili bolno podraživanje kože trbuha, međice ili nogu jako pospješuje (a ponekad čak i izaziva) refleksno pražnjenje mjehura.

CRIJEVNI REFLEKSI. Refleksno pražnjenje crijeva je moguće čak i kad pokusnoj životinji odstranimo cijelu kralježničnu moždinu. To omogućuje enterički živčani sustav, tj. posebni živčani sustav stijenke probavnog trakta. No, tijekom spinalnog šoka to refleksno pražnjenje crijeva nije potpuno (zbog preslabe relaksacije *m. sphincter ani*), a poboljša se nakon oporavka spinalne ekscitabilnosti. tada taj refleks možemo bitno pospješiti dodirnim podraživanjem kože križnog područja ili tako da se prstom proširi analni otvor.

REFLEKSI GLATKIH MIŠIĆA KRVNIH ŽILA. U početnoj fazi spinalnog šoka, bitno se smanji pozadinski tonus mišića stijenke perifernih krvnih žila, pa se smanji krvni tlak (hipotenzija). No, to je stanje privremeno, pa kronična spinalna životinja ima gotovo normalan krvni tlak. Međutim, trajno su prekinute veze između termoregulatorskih središta u mozgu i autonomnih motoneurona kralježnične moždine, pa životinje s presječenim vratnim dijelom kralježnične moždine (simpatički motoneuroni su u grudno-slabinskim segmentima) postaju gotovo potpuno poikilotermne. Dakle, tjelesna temperatura im se mijenja ovisno o temperaturi okoline, kao u guštera.

Nakon presijecanja kralježnične moždine, fazu spinalnog šoka obilježava mlohava kljenut, a fazu oporavka razvoj spastične kljenuti

U mirnodopskim uvjetima, bolesti ili ozljede rijetko potpuno prekinu kralježničnu moždinu. Nažalost, to nije rijetkost u ratnim okolnostima. Svaki rat mnogim mladim ljudima u naslijeđe ostavi **trajnu paraplegiju**, pa je rehabilitacija takvih veterana bitno pitanje i za liječnike i za širu zajednicu. Valja odmah istaknuti da je tijekom oporavka od spinalnog šoka promjenljiv u različitim bolesnika, pa sljedeći opis smatrajte uobičajenim (ali ne i nužnim!) slijedom (za definiciju glavnih pojmova vidjeti Dodatni okvir 33-1).

STADIJ SPINALNOG ŠOKA. Spinalni šok nastaje odmah nakon ozljede, a to se prepoznaje po sljedećim obilježjima (sve se odnosi na dijelove tijela povezane s izoliranom moždinom, tzv. pojave ispod razine ozljede):

- 1) Potpuna mlohava kljenut svih skeletnih mišića;
- 2) Gubitak svih spinalnih refleksa;
- 3) Gubitak osjeta boli, temperature, dodira, pritiska i kinestezije;
- 4) Gubitak visceralnog osjeta;

- 5) Nepostojan i snižen krvni tlak zbog gubitka vazomotoričkog tonusa;
- 6) Gubitak sposobnosti znojenja;
- 7) Poremećena funkcija mokraćnog mjehura i crijeva;
- 8) Moguća pojava prijavizma (abnormalnih, bolnih i trajnih erekcija) u muških pacijenata.

STADIJ OPORAVKA OD SPINALNOG ŠOKA. Spinalni šok obično traje 1 do 6 tjedana nakon ozljede (no može se protegnuti i mjesecima), a oporavak je postupan proces tijekom kojeg se ekscitabilnost spinalnih neurona postupno obnavlja. Kad moždina nije posve presječena, moguć je postupan oporavak motoričkih, osjetnih, refleksnih i autonomnih funkcija. No, kad je moždina potpuno prekinuta, izolirani dio moždine razvije vlastitu refleksnu aktivnost. Ta se autonomna aktivnost izolirane moždine pojavljuje kroz niz faza raznolikog trajanja:

- 1) Faza minimalne refleksne aktivnosti;
- 2) Faza spazma fleksora (površinski refleks);
- 3) Faza izmjeničnih spazama fleksora i ekstenzora,
- 4) Faza u kojoj prevladavaju spazmi ekstenzora (duboki refleks).

HIPERREFLEKSIJA. Prvo se oporave refleksni istezanja, a potom i složeniji fleksorni refleks. Nakon toga se oporave i refleksni ekstenzora. Refleksne funkcije oporavljaju se u smjeru od stopala prema glavi. Isprva je za izazivanje refleksa potrebno vrlo snažno podraživanje, a kasnije već i pasivno povijanje nožnih prstiju ili dodirivanje stopala i noge može izazvati silovitu fleksiju noge.

SPASTIČNOST. Oporavak može biti "pretjeran", pa su hiperaktivne sve (ili gotovo sve) funkcije izolirane moždine – u stadiju spinalnog šoka radilo se o mlohavoj kljenuti (*paralysis flaccida*), a sada se javlja zgrčena kljenut (*paralysis spastica*). Nakon 1 do 2 godine, bolesnika možemo svrstati u jednu od sljedećih skupina (obzirom na vrstu spastičnosti):

- 1) **Paraplegija u ekstenziji** (oko 2/3 bolesnika, a često je posljedica ozljede vratnog dijela moždine) – spazam ekstenzora je izraženiji od spazma fleksora;
- 2) **Paraplegija u fleksiji** (obično nastaje nakon ozljeda srednjeg grudnog dijela moždine) – spazam fleksora je izraženiji od spazma ekstenzora;
- 3) **Trajna mlohava kljenut** – manje od 20% bolesnika.

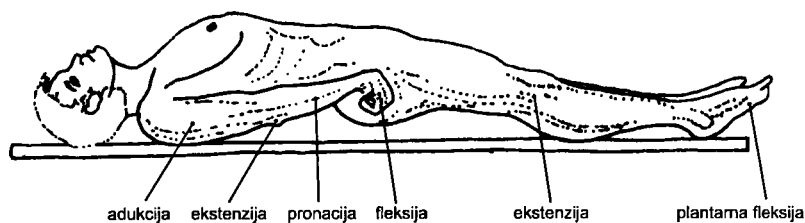
Posljedice presijecanja kralježnične moždine pogadaju brojne fiziološke sustave

Nakon potpunog presijecanja kralježnične moždine i oporavka od spinalnog šoka, javljaju se mnogobrojni trajni (a dijelom i privremeni ili povremeni) poremećaji različitih fizioloških funkcija.

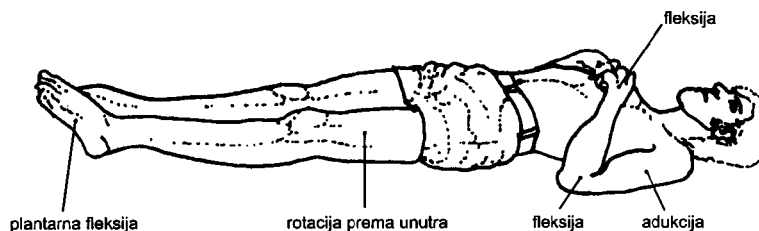
DIŠNI SUSTAV. Stupanj poremećaja funkcija dišnog sustava ovisi o razini ozljede kralježnične moždine. Ozljeda vratnog dijela poremeti funkcije ošita i međubrebnih mišića, pa često izazove zastoj disanja i smrt. Takav bolesnik izložen je velikom riziku plućnih komplikacija nakon anestezije i operacije. Nadalje, mnogi bolesnici s visokim ozljedama moždine ne mogu iskašljati ili ispljunuti nakupljeni sekret, pa su izloženi stalnoj opasnosti od infekcije ili poremećaja disanja.

SRČANO-KRVOŽILNI SUSTAV. Posebice nakon ozljede vratnog dijela moždine, prekinuti su silazni putovi za spinalne simpatičke neurone. Često se javi usporenje srčanog bila (*bradycardia*), paraliza mišića krvnih žila (vazomotorička paraliza) i zbog toga proširenje krvnih žila (vazodilatacija) ispod razine ozljede. Sniži se krvni tlak i

A) DECEREBRACIJSKA RIGIDNOST



B) DEKORTIKACIJSKA RIGIDNOST



Slika 33-1. Decerebracijska (A) i dekortikacijska (B) rigidnost u čovjeka. Za pojedinosti vidi odgovarajuće odlomke teksta.

uspori krvni optok (tim više što je bolesnik nepokretan!), krv zaostaje u perifernim venama (*stasis*), pa se mogu javiti srčane aritmije ili srčani zastoj, tromboze i upale vena, plućna embolija i druge komplikacije.

AUTONOMNA HIPERREFLEKSIJA. To je vrlo ozbiljan problem u fazi rehabilitacije bolesnika – dolazi do iznenadnih naglih porasta krvnog tlaka (**paroksizmalna hipertenzija**). Sistolički tlak može dosegnuti vrijednosti od 240-300 mm Hg. To je praćeno jakim glavoboljom, vazodilatacijom, obilnom znojenjem, mučninom, začepljenjem nosa, navalama crvenila i ježenjem dlaka iznad razine ozljede. Taj se poremećaj pojavi samo u bolesnika s ozljedom iznad razine T6 segmenta (naravno, ne u svih takvih bolesnika). Poremećaj se pojavi tek kad prođe stadij spinalnog šoka i oporavi se refleksna aktivnost.

Za razumijevanje te pojave, valja se prisjetiti da su centralni simpatički neuroni smješteni u torako-lumbalnim segmentima moždine, a parasimpatički u moždanom deblu i sakralnom dijelu moždine. Nadalje, većina parasimpatičkih refleksa je vrlo specifična (npr. erekcija), dok često dolazi do istodobne aktivacije velikih dijelova simpatičkog sustava (pojava “masovnog okidanja”). Autonomna hiperrefleksija se javi nakon podraživanja osjetnih receptora u dijelu tijela ispod razine ozljede, pa (obično posredstvom spinotalamičkog puta) dođe do refleksnog podraživanja simpatičkih neurona. Stoga se pojave spazmi zdjeličnih organa i arteriola – vazokonstrukcija ispod razine ozljede. To dovodi do hipertenzije, a na to reagiraju baroreceptori luka aorte i karotidnog sinusa. Posljedice su vazodilatacija površinskih žila, navale crvenila, obilno znojenje i ježenje dlaka iznad razine ozljede. Osjetni receptori (presoreceptori) što bilježe povišen krvni tlak aktiviraju vazomotoričko središte produljene moždine, pa se uspori rad srca (bradikardija – učinak n. vagusa).

Najčešći uzrok autonomne hiperrefleksije su bolni podražaji, obično prekomjerno rastegnut mokraćni mjehur zbog začepljenog katetera ili spazma sfinktera.

MISIĆNA SPASTIČNOST. Spastičnost se razvija tek u fazi oporavka od spinalnog šoka i to je jedna od najnezgodnijih posljedica paraplegije. Spazmi fleksora ili ekstenzora (ispod razine ozljede) ometaju proces rehabilitacije. Spastičnost je stanje pojačanog tonusa oslabljenih mišića, a može biti izazvana (ili bitno pojačana) i naizgled beznačajnim podražajima – pseudospontani spazmi. Primjerice, već mali pomak kreveta (kad ga liječnik nehotice dotakne nogom) može izazvati snažnu spastičnu fleksiju podlaktice. U većine bolesnika, spastičnost se javlja nekoliko mjeseci nakon ozljede, najjače je izražena 18-24 mjeseci nakon ozljede, a potom postupno slabi.

SPOLNOST. Važno pitanje spolnih odnosa često se posve neopravdano zanemaruje u takvih bolesnika. Iako spolni problemi uglavnom bitno opterećuju bolesnika, mnogi bolesnici i mnogi liječnici prave se kao da to više nije važno. Spolne funkcije i reflekse nadziru spinalni segmenti S2-S4. Poremećaje spolnih funkcija u bolesnika s ozljedom kralježnične moždine ili silaznih putova možemo sažeti u tri skupine:

- 1) **Ozljede gornjeg motoneurona u muškaraca:** 70% muških bolesnika s potpunom ozljedom i 80% onih s nepotpunom ozljedom mogu obaviti spolni čin. Većina njih nema ejakulacije niti orgazma, pa nema niti djece.
- 2) **Ozljede donjeg motoneurona u muškaraca:** 75% muških bolesnika s potpunom ozljedom ne mogu imati erekciju bilo koje vrste, dok 25% imaju psihogene erekcije. No, ni jedni ni drugi nisu sposobni obaviti spolni čin, nema ejakulacije, nema orgazma, nema djece. Međutim, 83% bolesnika s nepotpunom ozljedom ima psihogene erekcije, a od njih je 90% sposobno obaviti spolni čin (i u toj skupini 70% ima ejakulaciju, a oko 10% može imati djecu).
- 3) **Žene s bilo kojom vrstom ozljede:** žene s ozljedom kralježnične moždine nemaju nikakvog osjeta tijekom spolnog odnosa, ali mogu ostati trudne. Kod većine takvih žena obnove se menstruacije (a u oko 50% su normalne i redovite). Moguće je i porođaj kroz vaginalni

kanal, a carskim rezom u drugih, npr. onih što pate od autonomne hiperrefleksije. Kako je već spomenuto da su takvi bolesnici izloženi povećanom riziku tromboze i upale vena, oralna kontracepcija ne dolazi u obzir.

Decerebracijska i dekortikacijska rigidnost imaju različite uzroke i različita obilježja

Decerebracijska rigidnost nastaje nakon presijecanja ili razaranja rostralnog dijela moždanog debla: bulbospinalna i mezencefalička mačka

Potpuno presijecanje moždanog debla mačke na različitim razinama ima različite posljedice. Opisat ćemo dva najvažnija primjera što dovode do **decerebracijske rigidnosti**:

- Bulbospinalnu (nisko decerebriranu) mačku:** rez ide kroz rostralni dio ponsa; vestibularne jezgre i medijalna retikularna formacija ostanu povezani s kralježničnom moždinom, ali *nucleus ruber* i moždana kora su odvojeni;
- Mezencefaličku (visoko decerebriranu) mačku:** rez ide kroz rostralni mezencefalon ili uz kaudalni rub nukleus rubera ili uz kaudalni rub mamilarnih tijela (mezodiencefalička granica); posebno nas zanima taj posljednji rez, nakon kojeg *nucleus ruber* ostane povezan s kralježničnom moždinom, ali je moždana kora odvojena.

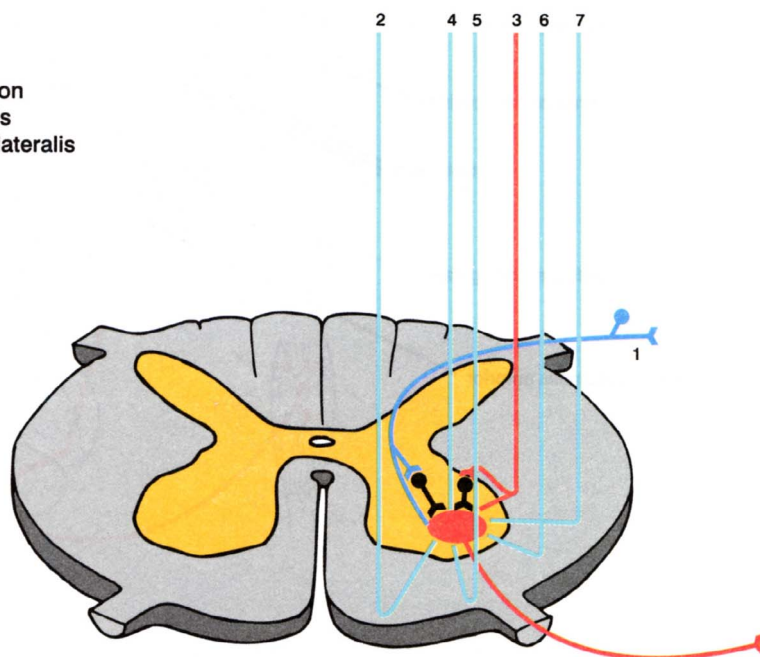
BULBOSPINALNA MAČKA. Za razliku od spinalne mačke (poprečni presjek između segmenta C1 i kaudalnog kraja produljene moždine), nema depresije spinalnih refleksa niti mlohave kljenuti. Odmah nakon operacije (u kunića, mačke, psa, majmuna) mogu se podraživanjem izazvati svi refleksi opisani u prethodnom poglavlju. Štoviše, svi refleksi ekstenzora su pojačani (a prag izazivanja fleksornih refleksa je povišen). Bulbospinalna mačka ima vrlo "živahne" baš one reflekse što su najteže pogođeni u spinalnom šoku! I

kad nema vanjskih podražaja, ekstenzori su trajno kontrahirani. Pažljivim pregledom životinje ustanovit ćemo da je pojačana tonička aktivnost cijelog sustava posturalnih mišića što se odupiru djelovanju sile teže i tako održavaju uspravan stav tijela (antigravitacijski mišići, tj. fiziološki ekstenzori – uočite da je npr. podizanje na prste anatomska plantarna fleksija, ali fiziološka ekstenzija stopala; mišići djeluju nasuprot sile teže). Stav tijela, što je posljedica takve toničke aktivnosti, nazivamo **decerebracijska rigidnost**.

Tonus ekstenzora je postojano pojačan, neovisno o položaju mačjeg tijela. Ako mačku postavimo na noge, ona stoji, osim ako ne izgubi ravnotežu. No, ako je okrenemo na leđa, noge su i dalje kruto ispružene, a glava zabačena unazad! Nadalje, podraživanjem specifičnih dijelova tijela možemo izazvati specifične i stereotipne refleksne odgovore (**refleksne figure** – toga nema u spinalne mačke!), npr. nalik koračanju. Ipak, bulbospinalna mačka ili pas ne mogu se sami posve uspraviti, sjesti ili stajati, niti mogu trčati, hodati ili skakati. Valja istaknuti da to nije posljedica nekakvog "bulbarnog šoka", jer stanje ostaje nepromijenjeno i u kronične bulbospinalne mačke. Očigledno, strukture zadužene za te oblike motoričkog ponašanja su smještene rostralnije (u velikom mozgu – stoga decerebrirana mačka). Mačke se nikad spontano ne uspravljaju. Kad ih polegnemo na bok, mirno leže ukočeno ispruženih stražnjih nogu i mlitavih ili blago povijenih prednjih nogu.

MEZENCEFALIČKA MAČKA. Nakon presijecanja kroz mezencefalon uz kaudalni rub nukleus rubera, mačka isprva nalikuje bulbospinalnoj. No, nakon desetak dana javljaju se bitne razlike. Mačka se postupno opet može sama uspraviti, stajati i hodati. Štoviše, mačke s presjekom uz kaudalni rub mamilarnih tijela (*nucleus ruber* ostaje povezan s kralježničnom moždinom!) mogu čak i trčati ili se penjati na drvo. Nadalje, iako je decerebracijska rigidnost nazočna dok god mačka živi, javlja se tek ako mačka ne izvodi neke specifične (fazne) pokrete udova – kad mačku okrenemo na

- 1 - primarni aferentni neuron
- 2 - tractus vestibulospinalis
- 3 - tractus corticospinalis lateralis
- 4 - tractus rubrospinalis
- 5 - tractus olivospinalis
- 6 - tractus tectospinalis
- 7 - tractus reticulospinalis



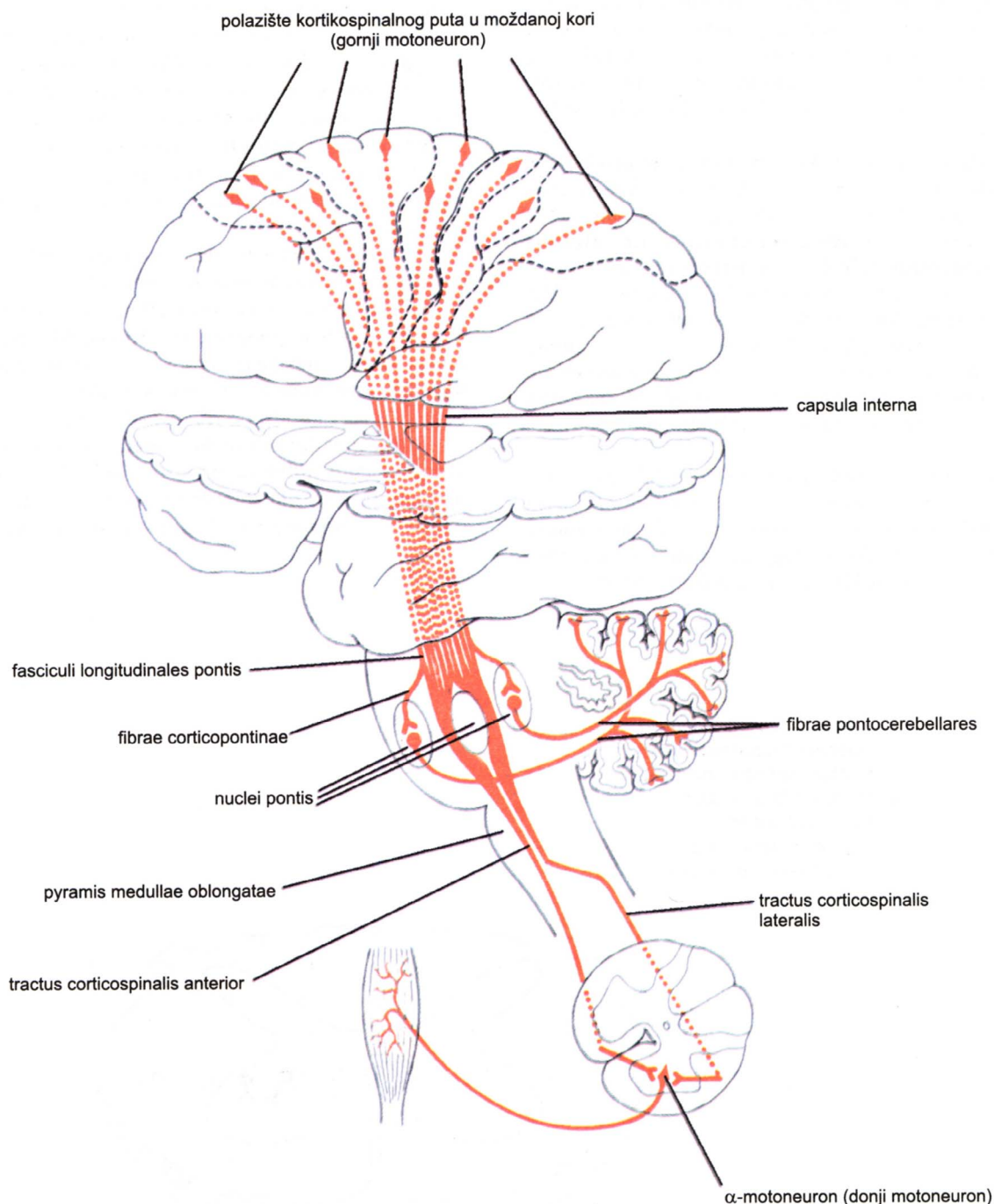
Slika 33-2. Na α -motoneuron djeluju četiri velike skupine sustava aferentnih aksona: a) primarna aferentna vlakna (1), b) izvorni kortikospinalni put (3), c) silazni motorički putovi iz moždanog debla – npr. vestibulospinalni (2), retikulospinalni (7), rubrospinalni (4); d) silazni monoaminski (rafespalni i ceruleospinalni) putovi (nisu prikazani na slici).

leđa (a ona pri tom ne nastoji mlatiti nogama), noge se ukočeno ispruže i odupiru pasivnom povijanju jednako snažno kao i u netom decerebrirane životinje. Takve mačke rijetko leže na boku, a ako ne stoje ili ne hodaju, skutre se i umire i utonu u san. Štoviše, takve mačke su sposobne pri defekaciji ili parenju zauzeti karakteristični položaj kakav opažamo u zdravih mačaka.

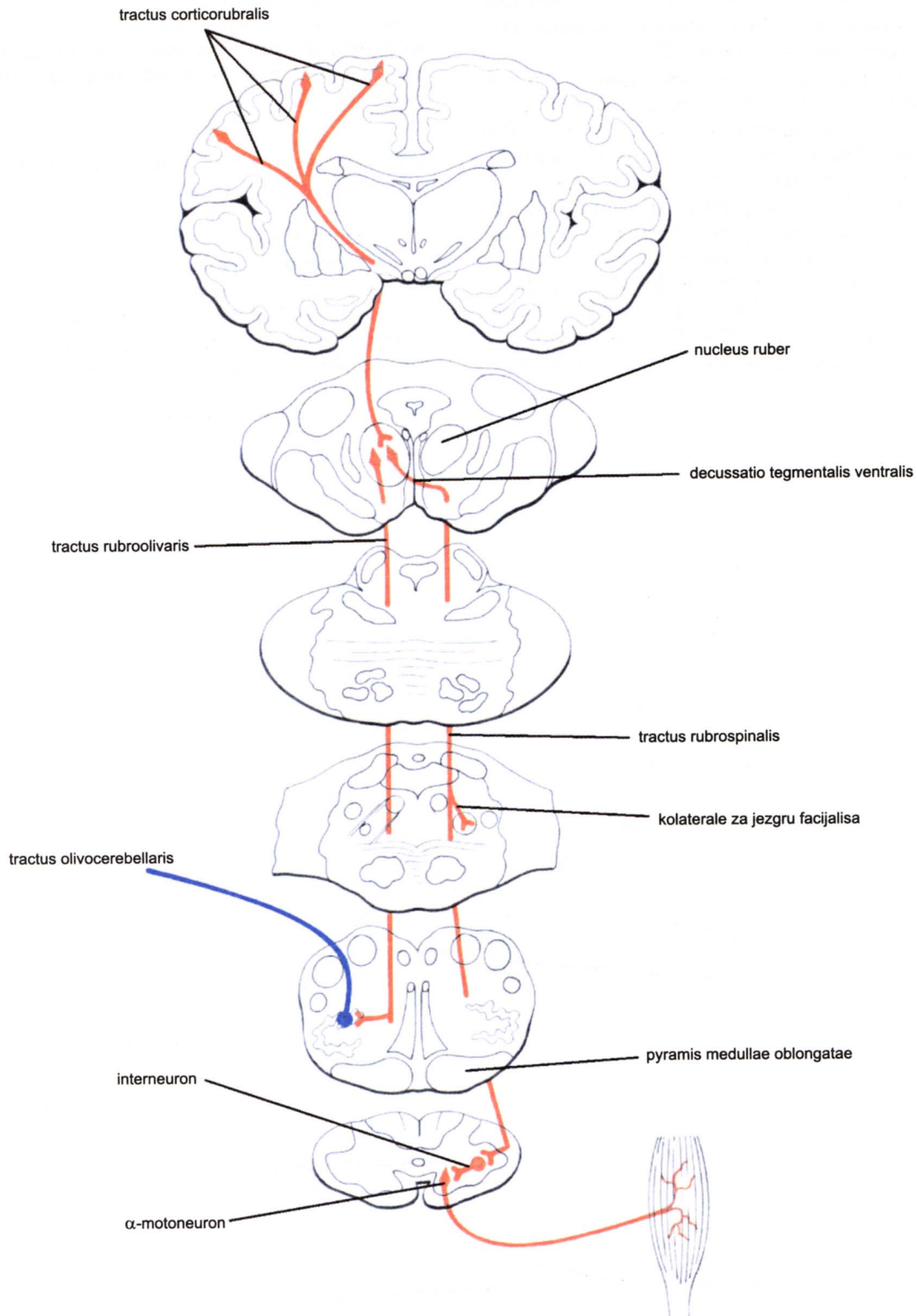
Dekortikacijska rigidnost nastaje nakon ozljeda velikog mozga: dekortikirana mačka

Dekortikirana mačka je ona kojoj smo odstranili samo moždanu koru i bijelu tvar. U takve mačke motorički

poremećaji još su manje izraženi nego u bulbospinalne ili mezencefaličke mačke. Doduše, mačka zaboravi sve uvježbane kretnje, npr. da prednjom šapom pritisne pločicu ako želi dobiti mlijeka, a vrlo teško uči nove stvari. No, poremećaji se poglavito odnose na "mačji duhovni život", a ne na temeljne oblike motoričkog ponašanja. Dekortikirani pas ili mačka mogu se lako i brzo uspraviti, stajati i hodati (mezencefalička mačka to može tek 7 do 30 dana nakon operacije, a bulbospinalna to uopće ne može). Naravno, postoje poremećaji nekih posturalnih refleksa, npr. reakcija postavljanja šape ili reakcija poskakivanja, no to nije značajno za svrhu ovog poglavlja. Bitno je jedino istaknuti da i takve mačke imaju ukočeno ispružene noge i pojačan



Slika 33-3. U ljudskom mozgu, glavni dio lateralnog sustava silaznih motoričkih putova čine kortikospinalni putovi (*tractus corticospinalis ventralis* i *tractus corticospinalis lateralis*). Pored toga, u ljudskom je mozgu posebno dobro razvijen sustav što povezuje koru velikog i malog mozga (*fibrae corticopontinae* – *nuclei pontis* – *fibrae pontocerebellares*). Uloga tog sustava potanko je opisana u zasebnom, 34. poglavlju.



Slika 33-4. Moždana kora modulira aktivnost rubrospinalnog puta. *Tractus corticorubralis* polazi iz primarnog motoričkog polja M1 i sinaptički završava u magnocelularnom dijelu crvene jezgre (Rmc). Odatle polazi *tractus rubrospinalis*, što križa stranu u ventralnom tegmentumu mezencefalona (*decussatio tegmentalis ventralis*), a u ventralnom rogu (preko interneurona) facilitira fleksore i inhibira ekstenzore, djelujući poglavito na distalne mišiće. Parvocelularni dio (Rpc) crvene jezgre prima moćnu projekciju iz premotoričkog polja MII (i drugih područja moždane kore) i iz malog mozga (nije prikazano na slici), a šalje ipsilateralni *tractus rubroolivaris* u donji olivarni sklop; odatle *tractus olivocerebellaris* odlazi u mali mozak i tako se zatvara neuronski krug *cerebellum* – *nucleus ruber* – *nucleus olivaris inferior* – *cerebellum*.

tonus ekstenzora (to se vidi kad ih primimo oko trupa i podignemo u zrak: ako mačka mirno visi u našim rukama, odmah se noge izrazito ukoče i ispruže) – riječ je o pojavi **dekortikacijske rigidnosti**.

U čovjeka su posljedice ozljeda moždanog debla i kortikospinalnog puta mnogo teže, a moždana kora preuzima mnogo veću ulogu u motoričkom ponašanju.

Decerebracijska rigidnost u čovjeka: ukočena ispruženost ruku, nogu i stopala, zabačenost glave, stisnuta čeljust i stisnute šake

Bolesnik s potpuno razvijenom decerebracijskom rigidnošću ima prepoznatljiv stav tijela (sl. 33-1A): *opisthotonus* (tetanički spazam u kom su leđa izvijena u luku, glava zabačena unazad, a stopala ispružena – plantarna fleksija, a učinak fizioloških ekstenzora), adukcija, ekstenzija i prekomjerna pronacija ruku (ruke kruto ispružene, priljubljene uz tijelo, podlaktica prekomjerno okrenuta prema unutra, šake stisnute i okrenute prema van), noge ispružene i ukočene. Obično su i usta čvrst zatvorena (stisnuta čeljust).

Jednostavno rečeno, **decerebracijska rigidnost je hiperekstenzija ruku i nogu**. Takav stav tijela može se javiti spontano ili nakon vanjskih podražaja (svjetla, buke, boli). Uzrokovan je lezijom u području diencefalona, mezencefalona ili ponsa (a ponekad i teškom hipoksijom ili hipoglikemijom). Kad je rigidnost izražena samo na jednoj strani tijela (zbog ozljede suprotne moždane polutke), taj stav tijela nazivamo **kronična spastična hemiplegija**.

Dekortikacijska rigidnost u čovjeka: ukočena ispruženost nogu i stopala, a povijenost ruku u laktu i stisnute šake

Kad je kortikospinalni put prekinut zbog ozljede moždane polutke ili kapsule interne, bolni podražaji mogu izazvati rigidnost i karakterističan abnormalan stav tijela.

Dekortikacijska rigidnost ima sljedeća obilježja (sl. 33-1B): nadlaktice su priljubljene uz tijelo, ruke su povijene u laktu, šake su stisnute i pritisnute na grudni koš, a noge su kruto ispružene, stopala ispružena (plantarna fleksija) i okrenuta prema unutra. Jednostavno rečeno, **dekortikacijska rigidnost je hiperfleksija ruku s hiperekstenzijom nogu**.

Decerebracijska rigidnost je posljedica pojačane toničke aktivnosti lateralnog vestibulospinalnog i medijalnog retikulospinalnog puta

Primarna aferenta Ia vlakna iz mišićnih vretena tonički facilitiraju motoneurone

Primarna aferentna Ia vlakna iz mišićnih vretena tonički facilitiraju motoneurone, a refleksi istezanja imaju bitnu ulogu u održavanju mišićnog tonusa. Decerebracijska rigidnost mišića udova mačke nestaje kad presiječemo dorzalne korjenove kralježnične moždine. Time je zapravo onemogućena uloga primarnih aferentnih Ia vlakana, tj. refleksa istezanja u održavanju mišićnog tonusa. Lateralni vestibulospinalni i medijalni retikulospinalni put facilitiraju aktivnost i alfa- i gama-motoneurona što inerviraju ekstenzorne mišiće. U decerebracijskoj rigidnosti pojača se tonička aktivnost ta dva puta, pa se povisi ekscitabilnost motoneurona. Zbog toga se pojača učinak refleksa istezanja i pojača mišićni tonus.

Vestibulospinalni i retikulospinalni putovi nadziru aksijalne i proksimalne mišiće, inhibiraju fleksore, a facilitiraju ekstenzore i refleks istezanja

VESTIBULOSPINALNI PUTOVI. Iz lateralne vestibularne jezgre polazi **lateralni vestibulospinalni put** (*tractus vestibulospinalis lateralis*), kroz cijelu moždinu u ventralnom funikulu, a ekscitira i alfa- i gama-motoneurone i to primarno one za aksijalne mišiće i proksimalne mišiće udova (kao i medijalni retikulospinalni put). Lateralni vestibulospinalni put modulira aktivnost antigravitacijskih mišića – facilitira motoneurone ekstenzora i inhibira motoneurone fleksora i ruku i nogu (naravno, djelujući preko interneurona i propriospinalnih neurona).

Medijalni vestibulospinalni put (*tractus vestibulospinalis medialis*) ide samo u vratne i gornje grudne segmente i poglavito je bitan za refleksne pokrete glave u odgovoru na vestibularne podražaje. Većina tih aksona su inhibicijski (njihov je neurotransmiter vjerojatno glicin). Za razliku od većine drugih jezgara moždanog debla, vestibularne jezgre ne primaju aferentne aksone iz moždane kore. No, moždana kora na njih ipak utječe neizravno, preko retikularne formacije.

RETIKULOSPINALNI PUTOVI. Retikulospinalni sustav usklađuje pokrete sa stavom tijela tako što integrira ulazne osjetne signale (vestibularne i ostale) sa silaznim zapovjednim signalima iz moždane kore. Retikulospinalni putovi su važni za održavanje uspravnog stava tijela, pokrete što tijelo usmjeravaju prema vanjskim događajima, te za prilično grube i stereotipne voljne pokrete udova, npr. ispružanje ruke prema predmetu. Prve dvije vrste pokreta su uglavnom automatski, refleksni pokreti (posturalni refleksi) i na njih kortikoretikularna projekcija nema neki poseban utjecaj.

Električno podraživanje medijalne retikularne formacije ponsa facilitira spinalne reflekse, a električno podraživanje retikularne formacije produljene moždine inhibira spinalne reflekse.

Medijalna retikularna formacija (*formatio reticularis medialis*) ima tri glavne magnocelularne jezgre: *nucleus reticularis gigantocellularis*, *nucleus reticularis pontis caudalis* i *nucleus reticularis pontis oralis*. Njima je funkcionalno srodna *nucleus cuneiformis* u mezencefalonu.

Dvije glavne jezgre **retikularne formacije ponsa** su *nucleus reticularis pontis oralis* i *nucleus reticularis pontis caudalis*. Aksoni neurona tih jezgara silaze u istostranu polovicu kralježnične moždine kao *tractus reticulospinalis medialis* (= *tractus pontospinalis*) kroz medijalni dio prednjeg funikula. Taj silazni put završi uglavnom u Rexedovim slojevima VII i VIII, te dijelu IX. sloja u kojem su motoneuroni mišića trupa, a facilitira motoneurone aksijalnih mišića i mišića ekstenzora udova.

Glavna jezgra **retikularne formacije produljene moždine** je *nucleus reticularis gigantocellularis*. Aksoni neurona te jezgre silaze u obje polovice kralježnične moždine kao *tractus reticulospinalis lateralis* (= *tractus bulbospinalis*). Taj silazni put monosinaptički inhibira motoneurone vratnih i leđnih mišića (dakle, djeluje slično kao i medijalni vestibulospinalni put), a također polisinaptički inhibira motoneurone ekstenzora i facilitira motoneurone fleksora. No, valja naglasiti da manji broj tih aksona ima obrnut učinak: ekscitira motoneurone ekstenzora, a inhibira motoneurone fleksora.

Medijalni retikulospinalni put djeluje na motoneurone mišića udova, a lateralni retikulospinalni put djeluje na aksijalne mišiće (vrat, leđa, abdomen). Osobito mnogo aksona tog puta djeluje na motoneurone vratnih mišića, važne za pokrete glave.

Rubrospinalni put nadzire distalne mišiće, facilitira fleksore i inhibira ekstenzore

Nucleus ruber je velika motorička jezgra u tegmentumu mezencefalona, sastavljena od dva dijela:

- a) *nucleus ruber, pars parvocellularis* (Rpc) i
- b) *nucleus ruber, pars magnocellularis* (Rmc).

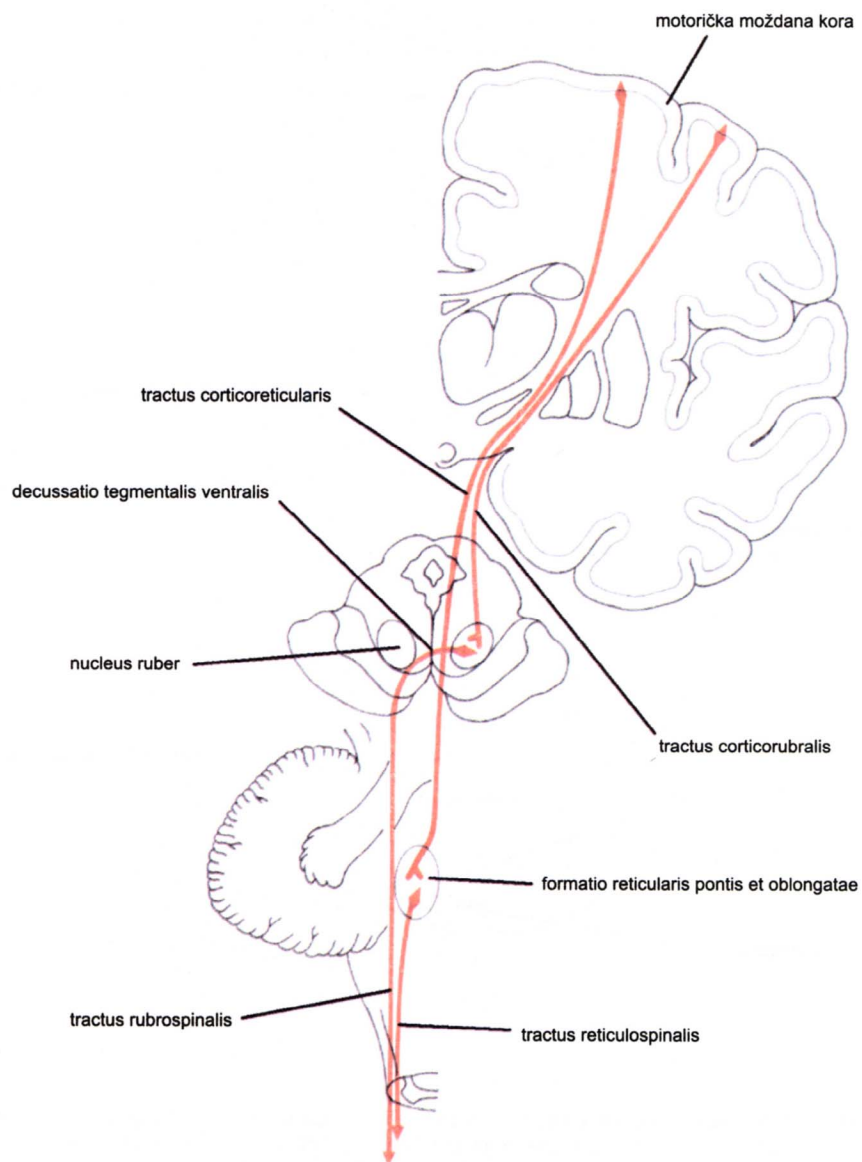
Rubrospinalni put (*tractus rubrospinalis*) polazi iz Rmc, što je u majmuna manja nego u mačke, a u čovjeka još manja nego u majmuna. Stoga se vjeruje da je u ljudi rubrospinalni put slabo razvijen.

Rpc prima moćnu aferentnu projekciju iz malog mozga (*nucleus dentatus cerebelli*), a eferentne aksonse šalje u donju olivu (ta opet šalje moćnu projekciju u koru malog mozga

suprotne strane). Stoga se čini da je Rpc vezan uz motoriku neizravno, svojim utjecajem na mali mozak. I obrnuto, projekcijom u Rmc mali mozak može modulirati aktivnost kortikoretikulospinalnog puta.

Tractus rubrospinalis križa stranu tik ispod rubera u ventralnom tegmentumu (*decussatio tegmentalis ventralis*) i potom silazi kroz moždano deblo u lateralni funikul, gdje je smješten uz bočni kortikospinalni put (sl. 33-4). U mačke i majmuna, rubrospinalni aksoni sinaptički završavaju uglavnom u istim Rexedovim slojevima u kojima završava i kortikospinalni put.

Rubrospinalni put djeluje poglavito na motoneurone distalnih mišića (kao i kortikospinalni put), pa nadopunjava kortikospinalne aksonse u voljnim pokretima – no, nije sigurno da tu ulogu ima i u ljudi.



Slika 33-5. Moždana kora modulira i aktivnost retikulospinalnih putova. Uz kortikorubrospinalni sustav (vidi sl. 33-4), pokazan je *tractus corticoreticularis*, što sinaptički završava na neuronima medijalne retikularne formacije ponsa i produljene moždine. Iz ponsa polazi *tractus reticulospinalis medialis*, a iz produljene moždine polazi *tractus reticulospinalis lateralis*. Za pojedinosti vidi tekst.

Kora velikog mozga modulira aktivnost rubrospinalnog i retikulospinalnih putova

Aksioni piramidnih neurona V. sloja primarnog motoričkog polja MI sinaptički završavaju i u Rmc i u Rpc. No, aksioni piramidnih neurona V. sloja premotoričkog polja MII sinaptički završavaju samo u Rpc. Kako u Rpc sinaptički završavaju i brojni aksioni neurona duboke jezgre malog mozga (*nucleus dentatus cerebelli*), projekcija iz polja MII djeluje poglavito na protok informacija između rubera i malog mozga, a ne na rubrospinalni put. Na rubrospinalni put, tj. Rmc, djeluju projekcije iz polja MI (sl. 33-5), te iz emboliformne jezgre malog mozga. Pritom je značajno da se u Rmc projiciraju poglavito oni dijelovi polja MI u kojima je predstavljena inervacija ruke i šake te noge i stopala (dakle, za distalne mišiće). U majmuna i posebice u čovjeka, kortikorubrospinalni put je slabo razvijen, jer njegove funkcije velikim dijelom preuzima moćno razvijeni kortikospinalni put (sl. 33-3).

S druge strane, projekcija iz moždane kore u Rpc rezus majmuna je vrlo dobro razvijena. Rmc ima oko 1.000 neurona (pa rubrospinalni put ima oko 1.000 aksiona), dok Rpc ima oko 3.000 neurona. Međutim, u jednoj hemisferi ima 10.000 do 20.000 piramidnih neurona V. sloja što se projiciraju u Rmc, ali čak 250.000 do 300.000 piramidnih neurona V. sloja što se projiciraju u Rpc! No, dok projekcija za Rmc polazi gotovo isključivo iz polja MI (i najkaudalnijeg dijela polja MII), projekcije za Rpc polaze iz sljedećih kortikalnih polja: MI, MII, SMA, 8, 5, 24 (zajedničko obilježje svih tih polja je da su između ostalog uključena u vidno vođeno posezanje ruke prema opaženom predmetu). Kortikalno premotoričko polje MII šalje moćnu eferentnu projekciju u medijalnu retikularnu formaciju (*tractus corticoreticularis* – sl. 33-5). Prema tome, motoneuroni proksimalnih i aksijalnih mišića su zapravo pod nadzorom kortikoretikulospinalnog sustava (sl. 33-5).

Vestibularni sustav i kora malog mozga moduliraju aktivnost vestibulospinalnih putova

Primarna aferentna vlakna iz otolitnih organa tonički ekscitiraju i vestibularne jezgre i retikularnu formaciju, pa time potiču aktivnost vestibulospinalnih i retikulospinalnih putova. S druge strane, Purkinjeove stanice prednjeg režnja malog mozga (preko dubokih jezgara malog mozga) inhibiraju aktivnost vestibularnih neurona, pa time i vestibulospinalnog puta.

Sažetak: za pojavu decerebracijske rigidnosti bitan je poremećaj regulacije toničke aktivnosti lateralnog vestibulospinalnog i medijalnog retikulospinalnog puta

Položaj tijela u decerebracijskog rigidnosti složena je posljedica toničkih učinaka lateralnog vestibulospinalnog i medijalnog retikulospinalnog puta. Ponovimo ukratko dosad iznesene podatke i povežimo ih u funkcionalnu cjelinu.

Primarna aferentna Ia vlakna iz mišićnih vretena (aferentni krak monosinaptičkog refleksa istežanja) tonički facilitiraju aktivnost spinalnih motoneurona. Decerebracijska rigidnost nestaje nakon presijecanja dorzalnih korjenova. Lateralni vestibulospinalni i medijalni retikulospinalni put tonički facilitiraju motoneurone ekstenzora udova te

aksijalnih i proksimalnih mišića, a također tonički facilitiraju refleks istežanja.

Osjetni vestibularni signali potiču toničku aktivnost vestibulospinalnog i retikulospinalnog puta – stoga presijecanje vestibularnog živca bitno ublaži decerebracijsku rigidnost.

Prednji režanj malog mozga inhibira aktivnost vestibulospinalnog puta. Električno podraživanje prednjeg režnja ublažava, a razaranje tog režnja pojačava decerebracijsku rigidnost.

Rubrospinalni put poglavito facilitira motoneurone fleksora i inhibira motoneurone ekstenzora. Tonička aktivnost rubrospinalnog puta ima suprotan učinak od toničke aktivnosti vestibulospinalnog i retikulospinalnog puta.

Iz navedenog zaključujemo sljedeće: **lateralni vestibulospinalni i medijalni retikulospinalni put tonički facilitiraju ekstenzore udova i refleks istežanja i stoga mogu pojačati tonus ekstenzora udova.**

Vestibularne osjetne informacije taj učinak pospešuju, a mali mozak taj učinak inhibira. Rubrospinalni put inhibira ekstenzore, pa se suprotstavlja djelovanju vestibulospinalnih i retikulospinalnih putova. Nadalje, moždana kora moćno modulira toničku aktivnost i retikulospinalnih i rubrospinalnih neurona.

Prema tome, sad možemo shvatiti razliku decerebracijske i dekortikacijske rigidnosti, posebice izraženu u ljudi.

Presijecanje moždanog debla na razini rostralnog ponsa (između vestibularnih jezgara i nukleus rubera) prekine kortikospinalne, kortikoretikularne i rubrospinalne aksone. Stoga se retikulospinalni put oslobodi nadzora moždane kore, a uz to se rubrospinalni put više ne suprotstavlja djelovanju vestibulospinalnog i retikulospinalnog puta.

Posljedica je **decerebracijska rigidnost, tj. pojačana tonička aktivnost lateralnog vestibularnog i medijalnog retikulospinalnog puta, pojačani refleks istežanja i povećan tonus ekstenzornih mišića udova.**

Međutim, presijecanje moždanog debla na razini rostralnog mezencefalona (ili ozljede kortikospinalnih i kortikoretikularnih putova u području telencefalona) prekine kortikorubralni put, ali sad rubrospinalni put ostaje povezan s kralježničnom moždinom. Stoga se tonička aktivnost rubrospinalnog puta i dalje uspješno suprotstavlja aktivnosti vestibulospinalnog i retikulospinalnog puta. No, kako u čovjeka rubrospinalni put seže samo u vratne i gornje grudne segmente kralježnične moždine, **stav tijela u dekortikacijskoj rigidnosti je posljedica prevladavanja toničke aktivnosti rubrospinalnog puta u rukama (fleksija ruku), ali toničke aktivnosti vestibulospinalnog i retikulospinalnog puta u nogama (ekstenzija nogu).**

Dodatni okvir 33-1: Spinalni šok i sindromi gornjeg i donjeg motoneurona – glavni pojmovi

Sindrom gornjeg motoneurona: uzrokovan je ozljedama kortikospinalnog ili kortikonuklearnog puta, a tipična klinička slika je ova: početno razdoblje spinalnog šoka s gubitkom motoričkih, osjetnih i autonomnih funkcija ispod razine ozljede; mišićna mlohavost, gubitak osjeta i gubitak refleksa. Nakon oporavka od spinalnog šoka, mogu se javiti simptomi i znaci spastičnosti: pojačan mišićni tonus (spastičnost), posturalna fleksija ruku i ekstenzija nogu,

pojačani tetivni refleksi, pozitivan refleks Babinskog. Mišićna atrofija nije posebno izražena, kao ni fascikulacije.

Sindrom donjeg motoneurona: uzrokovan je lezijama alfa-motoneurona, ventralnih korjenova ili motoričkih živaca. Znaci i simptomi su: slabost ili kljenut specifičnih skupina mišića i mišićna mlohavost; smanjeni ili izgubljeni tetivni refleksi, nema refleksa Babinskog; izražena atrofija mišića, fascikulacije; trofičke promjene suhe i cijanotične kože na kojoj se mogu javiti vrijedovi (ulceracije).

Monoplegia je kljenut jednog uda (ruke ili noge), a **diplegia** je kljenut obje ruke ili obje noge; no, kljenut donje polovice tijela i obje noge običnog se naziva **paraplegia**.

Hemiplegia je kljenut jedne strane tijela, npr. lijeve ruke i lijeve noge.

Tetraplegia (= *quadriplegia*) je kljenut obje ruke i obje noge.

Potpunu tetraplegiju uzrokuju ozljede iznad šestog vratnog (C6) segmenta, a takav pacijent posve ovisi o drugima. *C6 označuje granicu između trajne potpune ovisnosti i mogućnosti oporavka djelomične samostalnosti bolesnika.* Očuvanost prvih šest vratnih segmenata (C1-C6) prepoznajemo po normalnoj funkciji mišića ramenog pojasa i nadlaktice (humeroskapularni mišići, *m. deltoideus*, *m. biceps brachii*, *m. brachioradialis*), lakatne skupine ekstenzora ručnog zgloba, te djelomično očuvanoj snazi gornjeg pektoralnog mišića. *M. triceps* i mišići šake nemaju snage, ali je pokretnost ruke ipak dovoljna da takvim bolesnicima omogući određen stupanj samostalnosti. Dakle, **nepotpuna tetraplegija** je ona što se javlja nakon ozljeda ispod razine C6.