

## NASTAVNI TEKST

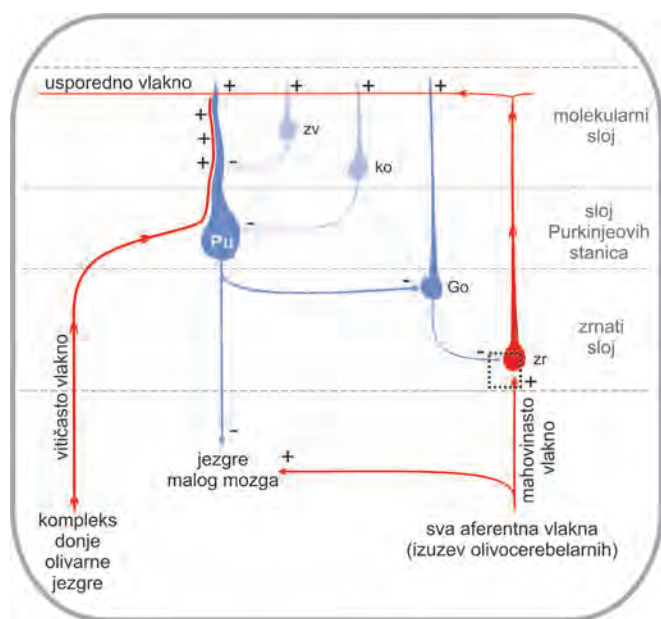
# Mali mozak – ustrojstvo i funkcija – prvi dio

Autor: **Marko Čuljat, dr.med.,**

Hrvatski institut za istraživanje mozga,  
Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Ovaj tekst je temeljen na 35. poglavlju knjige “Temelji neuroznanosti” te je zamišljen kao dodatno gradivo, koje bi vam trebalo pomoći u savladavanju nastavne jedinice o malom mozgu. Nemojte ga shvatiti kao samostalno štivo, već ga koristite zajedno s navedenim poglavljem knjige. Tekst se sastoji od niza shema, koje prate gradivo u knjizi, a svrha mu je shematski prikazati ustrojstvo i funkciju maloga mozga.

U ovom ćemo broju obraditi ustrojstvo neuronskih krugova maloga mozga i aferentne putove maloga mozga.



SLIKA 1.

Shematski prikaz neuronskih krugova kore maloga mozga (Inhibicijski neuroni i aksoni su prikazani plavom bojom, ekscitacijski su prikazani crvenom bojom. **Pu** - Purkinjeova stanica, **zr** - zrnata stanica, **Go** - Golgijeva stanica, **ko** - košarasta stanica, **zv** - zvijezdasta stanica. Svjetlo plavom bojom su označene zvijezdasta i košarasta stanica, jer nisu uključene u glavni krug prijenosa signala od mahovinastog vlakna do Purkinjeove stanice. Purkinjeova stanica na slici je prikazana vrlo pojednostavljeno. U stvarnosti ona ima bogato razgranato dendritičko stablo, koje se grana u ravnini okomitoj na uzdužnu os folia cerebelli)

Kora maloga mozga se sastoji od tri sloja (Slika 1.). Gledano od površine prema bijeloj tvari malog mozga to su: 1. molekularni sloj, 2. sloj Purkinjeovih stanica, 3. zrnati sloj.

**Kompleks donje olivarne jezgre**, koji uključuje donju olivarnu i akcesorne jezgre, projicira se u koru maloga mozga putem **vitičastih vlakana**. Jedan olivarni neuron šalje nekoliko vitičastih vlakana koja idu na različite Purkinjeove stanice. No, na jednu Purkinjeovu stanicu završava samo **jedno** vitičasto vlakno. Sinapsa kojom oni komuniciraju je jaka ekscitacijska.

Ostale strukture središnjeg živčanog sustava, koje se projiciraju u koru maloga mozga (pontine jezgre, neuroni kralježnične moždine, jezgre retikularne formacije, vestibularne jezgre, vestibularni gangliji i ostale aferentne projekcije) to čine putem **mahovinastih vlakana**, koja predstavljaju brojčano najveći ulaz u koru maloga mozga. Završavaju u zrnatom sloju, u strukturi nazvanoj **glomerulus cerebelli** (označen kvadratićem na Slici 1.). Strukturu glomerula čine završeci mahovinastih vlakana, dendriti zrnatih stanica te dendriti i aksoni Golgijevih stanica. Glavni put ekscitacijskog signala koji se prenosi mahovinastim vlaknom ide preko **zrnate stanice**, koja amplificira ulazni signal. Ona je ekscitacijski interneuron, koji šalje svoj akson u molekularni sloj, gdje se on grana pod kutom od 180 stupnjeva te postaje **usporedno vlakno** (dobilo je takvo ime jer prolazi molekularnim slojem usporedno s uzdužnom osi *folia cerebelli*). Jedno usporedno vlakno prolazi kroz dendritička stabla Purkinjevih stanica (poput kabela dalekovoda koji prolazi kroz šumu), i stvara ekscitacijske sinapse sa **stotinama** Purkinjevih stanica. Tako ekscitirane Purkinjeove stanice inhibiraju svoju duboku jezgru maloga mozga. Da bi se ograničilo trajanje signala koji pristiže mahovinastim vlaknom, zrnata stanica ekscitira i **Golgijevu stanicu**, koja je zauzvrat inhibira, prekidajući tako prijenos signala.

Na svom putu prema zrnatoj stanici mahovinasta vlakna daju kolaterale koje odlaze izravno na duboke jezgre maloga mozga, stvarajući tako **pozitivnu povratnu spregu**. Signal koji putuje od mahovinastih vlakana, preko zrnatih i Purkinjevih stanica do dubokih jezgara maloga mozga, inhibira te jezgre, i čini dio **negativne povratne sprege**. Njome se podešava izlazni signal dubokih jezgara maloga mozga.

**Kada izvodimo neki pokret u kojem smo već vješti, na aksonu Purkinjeove stanice možemo bilježiti jednostavne šiljke** (= jedan akcijski potencijal), koji su posljedica aktivacije mahovinastim vlaknima. Kada učimo novi pokret, aktiviraju se neuroni kompleksa donje olivarne jezgre

Kada izvodimo neki pokret u kojem smo već vješti, na aksonu Purkinjeove stanice možemo bilježiti **jednostavne šiljke** (= jedan akcijski potencijal), koji su posljedica aktivacije mahovinastim vlaknima. Kada učimo novi pokret, aktiviraju se neuroni kompleksa donje olivarne jezgre. Odgovor Purkinjeove stanice koji sada bilježimo ima oblik **složenog šiljka** (= jedan veliki akcijski potencijal) praćen visokofrekventnim rafalom manjih akcijskih potencijala), koji je posljedica aktivacije vitičastim vlaknom. Zato se signali koji pristižu iz donje olivarne jezgre nazivaju **signalima pogreške**, jer nužno radimo greške kada učimo novi pokret. Kako savladavamo novi pokret i postajemo u njemu vještiji, broj složenih šiljaka postepeno pada i naposljetku u potpunosti nestane.

**Aferentne putove maloga mozga** možemo podijeliti u sljedeće skupine:

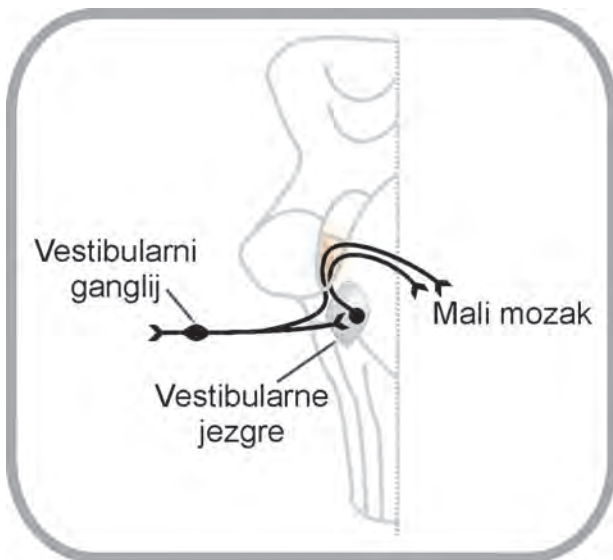
- 1) vestibulocerebelarni putovi
- 2) izravni spinocerebelarni putovi
- 3) neizravni spinocerebelarni putovi:
  - a) retikulocerebelarni putovi
  - b) olivocerebelarni put
- 4) pontocerebelarni put.

**Vestibulocerebelarni putovi** (Slika 2.) imaju dva izvora. Centralni nastavci bipolarnih stanica **vestibularnog ganglija** većinom završavaju u vestibularnim jezgrama, ali jedan manji dio odlazi izravno kroz **donji pedunkul** iste strane u **lobus flocculonodularis**. To je jedan od rijetkih primjera u kojem centralni nastavak bipolarne stanice osjetnog ganglija ne završava u odgovarajućoj jezgri, već odlazi izravno u neku drugu strukturu središnjeg živčanog sustava (u ovom slučaju koru maloga mozga).

### Vestibularne jezgre šalju svoje projekcije bilateralno kroz donje pedunkule te završavaju u vermisu i lobus flocculonodularis

**Vestibularne jezgre** šalju svoje projekcije bilateralno kroz **donje pedunkule** te završavaju u vermisu i **lobus flocculonodularis**.

**Izravnih spinocerebelarnih putova** (Slika 3.) ima ukupno pet. Prema informacijama koje primaju možemo ih podijeliti u dvije podskupine.



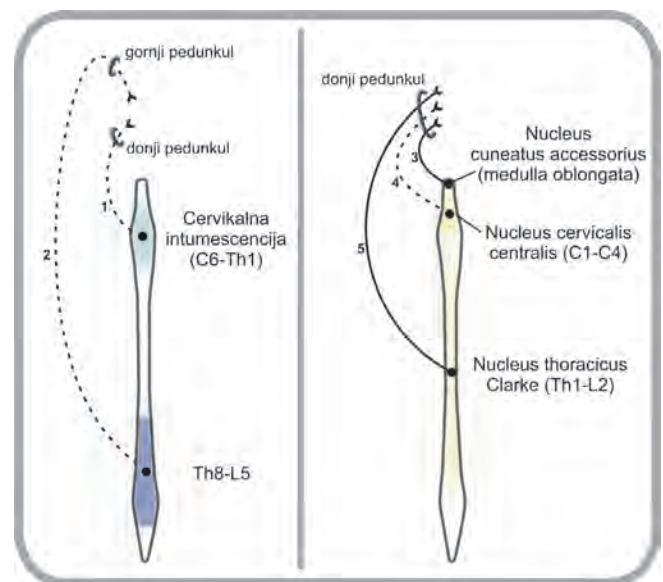
SLIKA 2. Tractus vestibulocerebellaris

Dva izravna spinocerebelarna puta primaju informacije od interneurona VII Rexedovog sloja. **Tractus spinocerebellaris rostralis** polazi iz cervikalne intumescencije između šestog vratnog i prvog prsnog segmenta. **Tractus spinocerebellaris ventralis** polazi od donjih prsnih i svih lumbalnih segmenata

Dva izravna spinocerebelarna puta primaju informacije od interneurona VII Rexedovog sloja. **Tractus spinocerebellaris rostralis** (1) polazi iz cervikalne intumescencije između šestog vratnog i prvog prsnog segmenta. **Tractus spinocerebellaris**

**ventralis** (2) polazi od donjih prsnih i svih lumbalnih segmenata. Ostala tri izravna spinocerebelarna puta primaju informacije izravno od aferentnih osjetnih vlakana. **Tractus cuneocerebellaris** (3) polazi od **nucleus cuneatus accessorius**, jezgre smještene uz **nucleus cuneatus** u produljenoj moždini te prenosi informacije iz ruku i gornjeg dijela trupa. **Tractus cervicalis centralis** (4) polazi od **nucleus cervicalis centralis**, smještene između prvog i četvrtog vratnog segmenta, i prenosi informacije iz vrata. **Tractus spinocerebellaris dorsalis** (5) polazi od **nucleus thoracicus Clarke**, koja se proteže od prvog prsnog do drugog slabinskog segmenta, i prenosi informacije iz nogu i donjeg dijela trupa. Primijetite da jedino **tractus spinocerebellaris ventralis** prolazi kroz gornje pedunkule, dok svi ostali putovi prolaze kroz **donje pedunkule**.

Na Slici 3. su punom linijom prikazani putovi koji ipsilateralno ulaze u mali mozak. Točkastom linijom su označeni putovi koji križaju stranu i kroz kontralateralnu nožicu ulaze u mali mozak. Zapamtite da putovi koji križaju stranu u kralježničkoj moždini, još jednom križaju stranu u bijeloj tvari malog mozga. Stoga, svi spinocerebelarni putovi naposljetku završe na ipsilateralnoj strani kore maloga mozga.

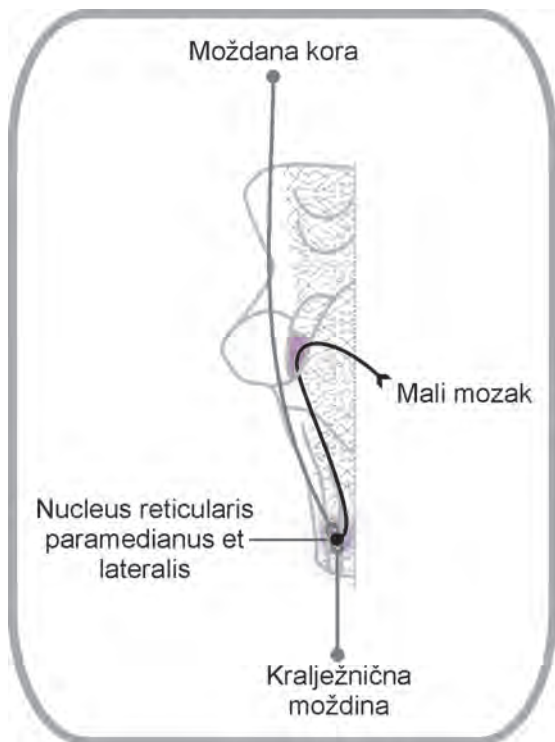


SLIKA 3. Izravni spinocerebelarni putovi

**Retikulocerebelarni put** morfološki možemo svrstati u neizravne spinocerebelarne putove. Polazi od dvije jezgre smještene u kaudalnom dijelu produljene moždine, **nucleus reticularis paramedianus et lateralis**

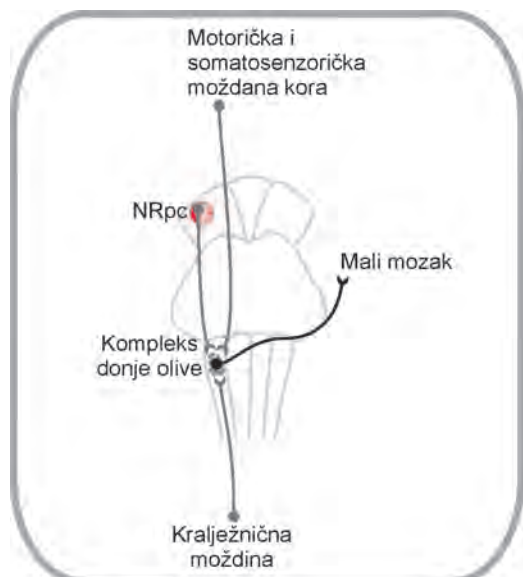
**Retikulocerebelarni put** (Slika 4.) morfološki možemo svrstati u neizravne spinocerebelarne putove. Polazi od dvije jezgre smještene u kaudalnom dijelu produljene moždine, **nucleus reticularis paramedianus et lateralis**. U navedene jezgre se projicira **tractus spinoreticularis**, koji nosi modificirane podatke od **kožnih mehanoreceptora**. Također primaju projekcije iz moždane kore i vestibularnih jezgara. Tractus

reticulocerebellaris prolazi kroz **donje pedunkule** i završava u kori malog mozga spinocerebelluma. Zbog informacija koje prenosi i dijela kore malog mozga u kojem završava, funkcionalno ga pridružujemo izravnim spinocerebellarnim putovima.



SLIKA 4. Tractus reticulocerebellaris

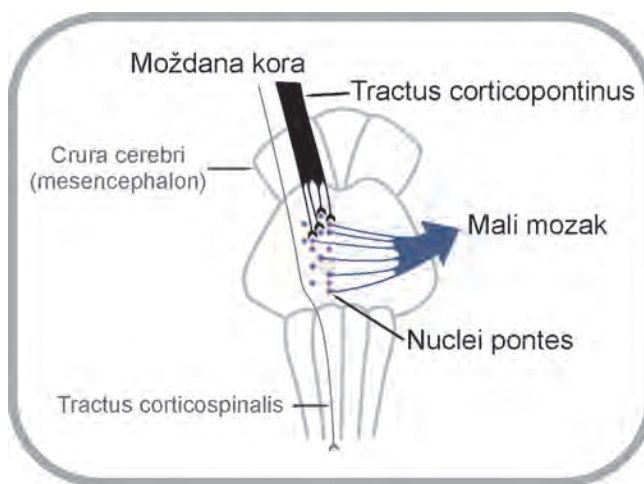
**Kompleks donje olivarne jezgre** (= *nucleus olivaris inferior* + *nuclei olivares accessorii*) šalje svoja vlakna kroz donje pedunkule suprotne strane (Slika 5.) u moždanu koru **cijelog malog mozga**. Vlakna su ustrojena somatotropno te završavaju u malom mozgu u uskim parasagitalnim zonama. Akcesorne olivarne jezgre šalju svoja vlakna u vestibulocerebellum i spinocerebellum, dok donja olivarna jezgra svoja vlakna šalje u područje cerebrocerebelluma. Kompleks donje olivarne jezgre prima projekcije iz motoričkih, premotoričkih i somatosenzoričkih područja **moždane kore** te iz kralježnične moždine preko **tractus spinoolivaris**. Već smo spomenuli (Slika 1.) da neuroni kompleksa donje olivarne jezgre preko svojih aksona, **vitičastih vlakana**, snažno i



SLIKA 5. Tractus olivocerebellaris

precizno ekscitiraju pojedine Purkinjeove stanice. Stoga tractus olivocerebellaris, iako ga morfološki svrstavamo u neizravne spinocerebellarne putove, čini posebnu funkcionalnu skupinu. **Fibrae pontocerebellares** (Slika 6.) polaze od **nuclei pontes**, smještenih u bazi mosta. Vlakna prelaze središnju liniju i ulaze u mali mozak kroz srednji pedunkul. Štoviše, srednji pedunkul se sastoji samo od pontocerebellarnih vlakana.

U **nuclei pontes** se projicira cijela moždana kora preko **tractus corticopontinus**. Glavninu vlakana u **crura cerebri** jedne strane čine upravo ta vlakna (oko 19 milijuna), dok samo manji dio tvore vlakna kortikospinalnog puta (oko jedan milijun)



SLIKA 6. Fibrae pontocerebellares

U **nuclei pontes** se projicira cijela moždana kora preko **tractus corticopontinus**. Primijetite da glavninu vlakana u **crura cerebri** jedne strane čine upravo ta vlakna (oko 19 milijuna), dok samo manji dio tvore vlakna kortikospinalnog puta (oko jedan milijun).

Zahvalio bih profesoru Šimiću i doktoru Ivkiću na konstruktivnoj kritici koju su mi dali za vrijeme pisanja ovog teksta.

#### Literatura:

Miloš Judaš, Ivica Kostović. Temelji neuroznanosti. MD, Zagreb 1997.

John A.Kiernan. Barr's The human nervous system, an anatomical viewpoint. 8.izd. Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore 2005.

MJT FitzGerald, Jean Folan-Curran. Clinical neuroanatomy and related neuroscience: Basic and clinical. 4.izd. Saunders, Edinburgh 2002.

James D.Fox. Board review series, Neuroscience. Harwal Publishing, Philadelphia 1992.

David L.Felten, Ralph F.Jozefowicz. Netter's atlas of human neuroscience. Icon Learning systems, Textboro, New Jersey, 2003.