



FAKULTET ZA SPECIJALNU EDUKACIJU I REHABILITACIJU
Medicinska fiziologija - predavanja

Motorni nervni sistem (1)

Doc. dr Maja Milovanović

Sadržaj prezentacije

- Kičmena moždina, refleksi
- Motorna kora velikog mozga
- Moždano stablo

Motorni sistem

- Uloga: vremenski usklađuje, podešava i prenosi mišićima obrasce za izvođenje pokreta.

Neuronska kola odgovorna za kontrolu pokreta: 4 različita sistema

- 1. Donji motoneuroni i lokalna neuronska kola u sivoj masi kičmene moždine i moždanog stabla** (“zajednički završni put za izvršenje pokreta”)
- 2. Descendentni putevi iz:**
 - **moždanog stabla** - regulacija tonusa mišića, održavanje uspravnog položaja, orijentacija očiju, glave i tela u skladu sa vestibularnim, somatskim, auditivnim i vizuelnim senzornim informacijama
 - **moždane kore** (kortikospinalni i kortikobulbarni put) započinjanje voljnih pokreta i izvođenje složenih sekvenci veštih pokreta
- 3. Cerebellum** – servomehanizam koji detektuje razliku između nameravanog i izvršenog pokreta
- 4. Bazalne ganglije** – suprimiraju neželjene pokrete i pripremaju gornje motoneuronske puteve za započinjanje pokreta.

SOMATSKI MOTORNI SISTEM

GORNJI
MOTORNI
NEURON

MOŽDANO
STABLO

Finalni motorni put:
Donji motoneuron
- kičmena moždina

- ✓ Rubrospinalni put
- ✓ Tectospinalni put
- ✓ Vestibulospinalni put
- ✓ Retikulospinalni put

**VOLJNA
MOTORIKA**

Kortikospinalni put

**AUTOMATSKA
KONTROLA**

EFEKTORI
skeletni mišići

REFLEKS

Funkcionalna organizacija kičmene moždine i uloga

KIČMENA MOŽDINA

Motorne funkcije kičmene moždine – spinalni refleksi

- Bez posebnih neuronskih krugova kičmene moždine, čak i najkompleksniji motorni kontrolni sistemi u mozgu ne mogu izazvati nikakav svrsishodan mišićni pokret. Na primer, **krugovi za pokrete hodanja su u kičmenoj moždini, a mozak jednostavno šalje komandne signale u kičmenu moždinu da se pokrene proces hodanja** kroz analitičke i komandne signale generisane u mozgu.
- **Siva masa kičmene moždine je integrativno područje za spinalne reflekse.**

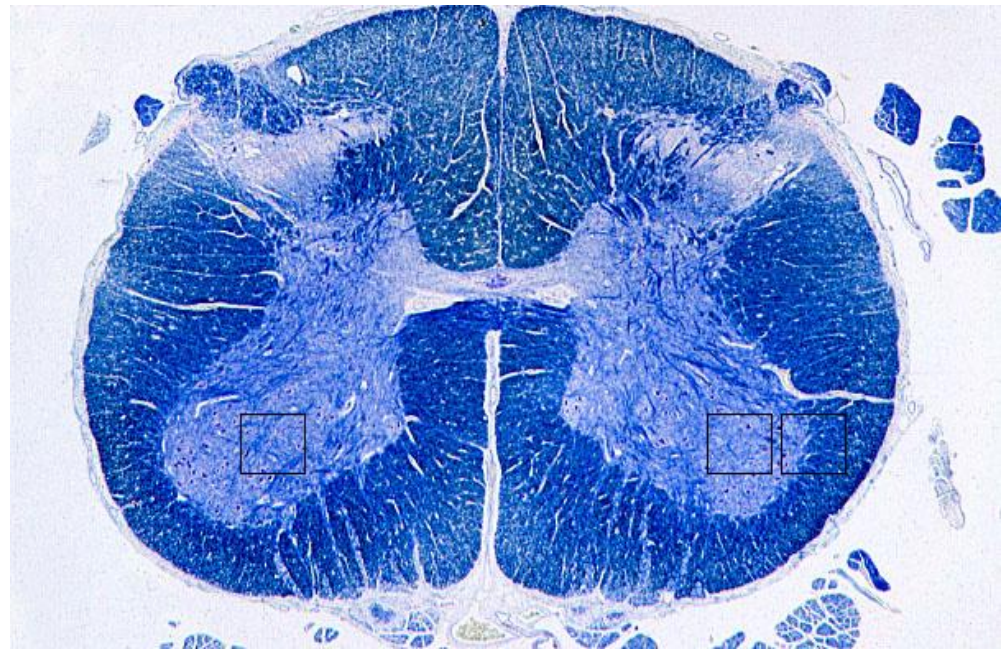
Kičmena moždina: podsećanje

- Deo CNS
- Smeštena u kičmenim kanalu
- Od prednjeg luka atlasa do L2



Kičmena moždina

- Sastoji se od bele i sive mase
- Siva masa ima oblik slova H
 - **Prednji rogovi** (motorne ćelije-motoneuroni)
 - **Zadnji rogovi** (senzorne ćelije)
 - Središnji deo (u prednje lateralnom delu neuroni čiji aksoni čine preganglijska vlakna autonomnog nervnog sistema)



Kičmena moždina

- ***Funkcije***

- Provodna

- **Refleksna (kretanje)**

- Centar važnih refleksa

- Autonomna uloga

- Uticaji iz viših delova CNS

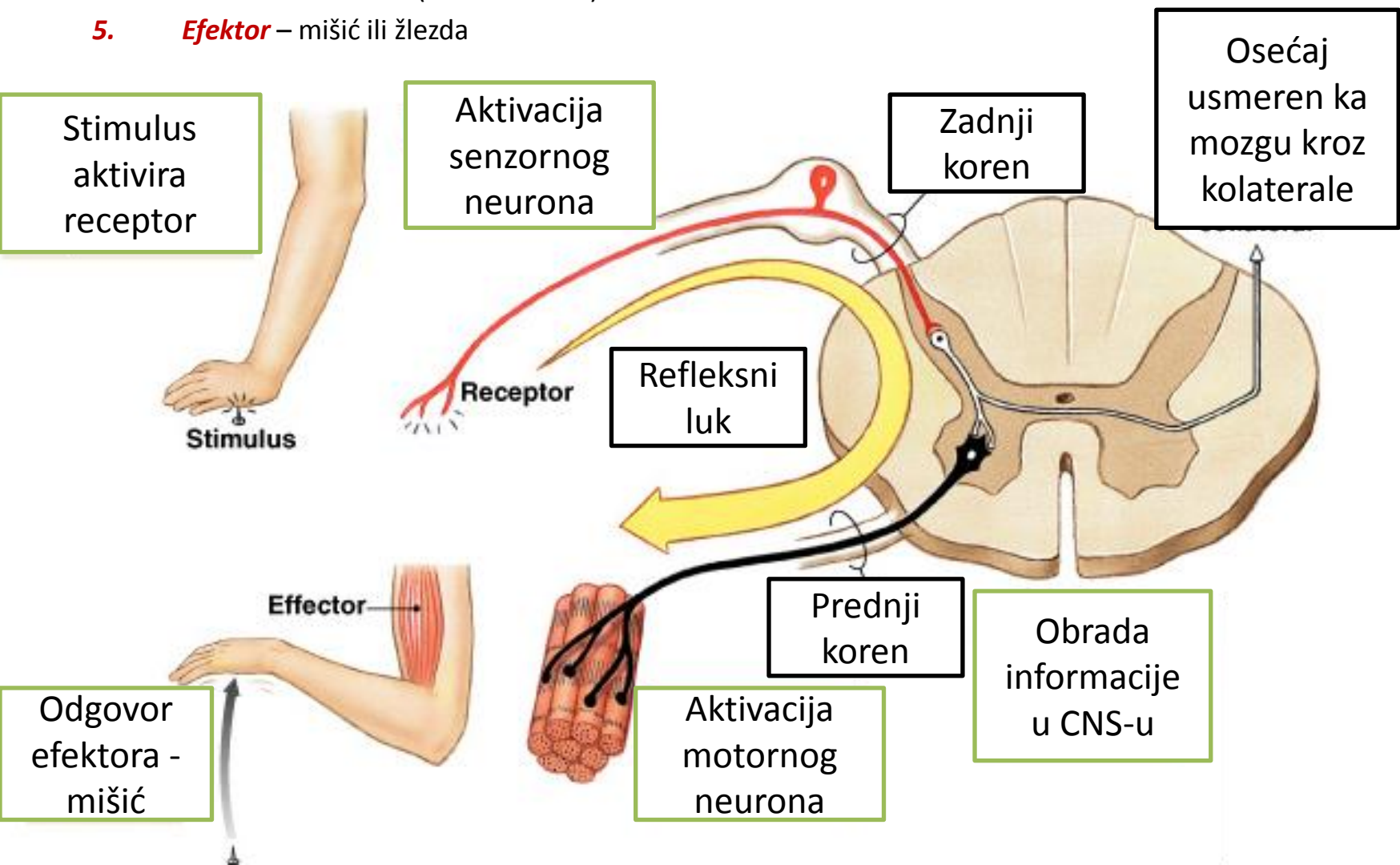
REFLEKSI

Refleks

- Nevoljni, stereotipan odgovor organa ili tkiva na draži, koji se ostvaruje posredstvom nervnog sistema
- Odgovor efektor na draženje receptora
- Refleksna reakcija je specifična za određenu i odgovarajuću draž

Refleksni luk: osnovna jedinica refleksne aktivnosti

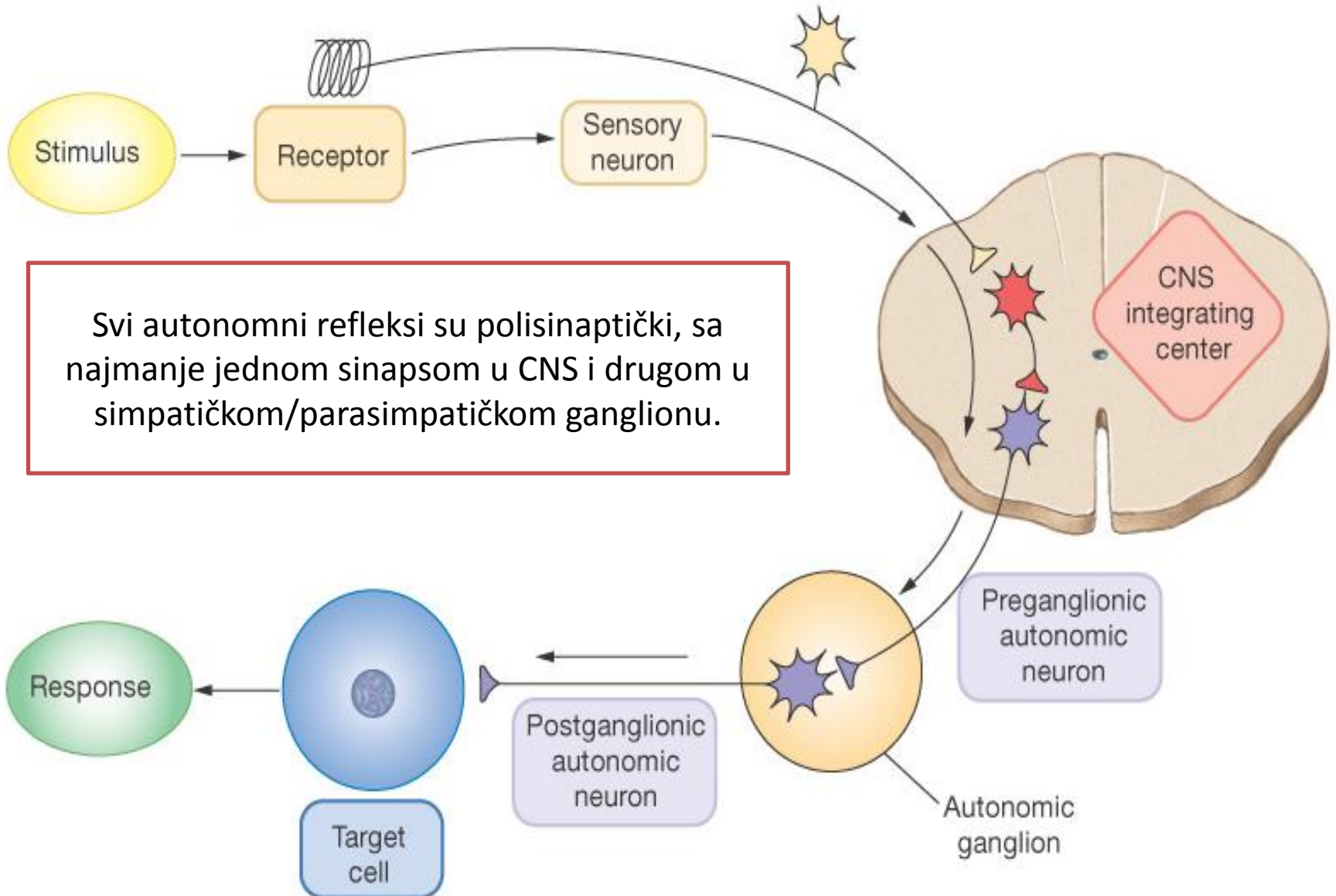
- 1. **Receptor** – mesto gde deluje draž
- 2. **Senzorni neuron** – prenosi draž od receptora (koža, duboka tkiva, čulni organi) pomoću aferentnih nerava (spinalnih ili kranijalnih) do CNS
- 3. **Integrativni centar, centralna sinapsa i ili interneuron** – monosinaptički ili polisinaptički region u CNS
- 4. **Eferentni neuron** – prenosi impuls preko prednjih korenova kičmene moždine ili odgovarajućih kranijalnih nerava do efektor (mišići i žlezde)
- 5. **Efektor** – mišić ili žlezda



Vrste refleksa

- ***Autonomni refleksi, visceralni***
 - Promena tonusa krvnog suda zbog lokalne toplote kože
 - Znojenje
 - Intestino-intestinalni refleksi
 - Peritoneointestinalni refleksi
 - Pražnjenje mokraćne bešike i kolona (evakuacioni)
- ***Somatski refleksi***
 - Uključuju skeletne mišiće, održavaju položaj i ravnotežu tela, omogućavaju hodanje

Autonomni- visceralni refleksi



Podela refleksa prema lokalizaciji receptora

1. Proprioceptivni

duboki mišićni, miotatički, tetivni

2. Eksteroceptivni

draž deluje na kožu ili sluzokožu;

površinski ili kožni refleksi

3. Visceralni – vegetativni

prenos draži preko autonomnih nervnih vlakana

Podela refleksa prema mestu integracije

- *Spinalni – kičmena moždina*
- *Kranijalni - mozak:*
 - *Moždano stablo*
 - *Srednji mozak*
 - *Kora mozga*

Podela refleksa prema broju sinapsi

- ***Monosinaptički*** (refleks na istežanje)
- ***Polisinaptički*** (refleks uklanjanja)

Monosinaptički refleksi

Refleks na istežanje (miotatski)

Inverzni refleks na istežanje

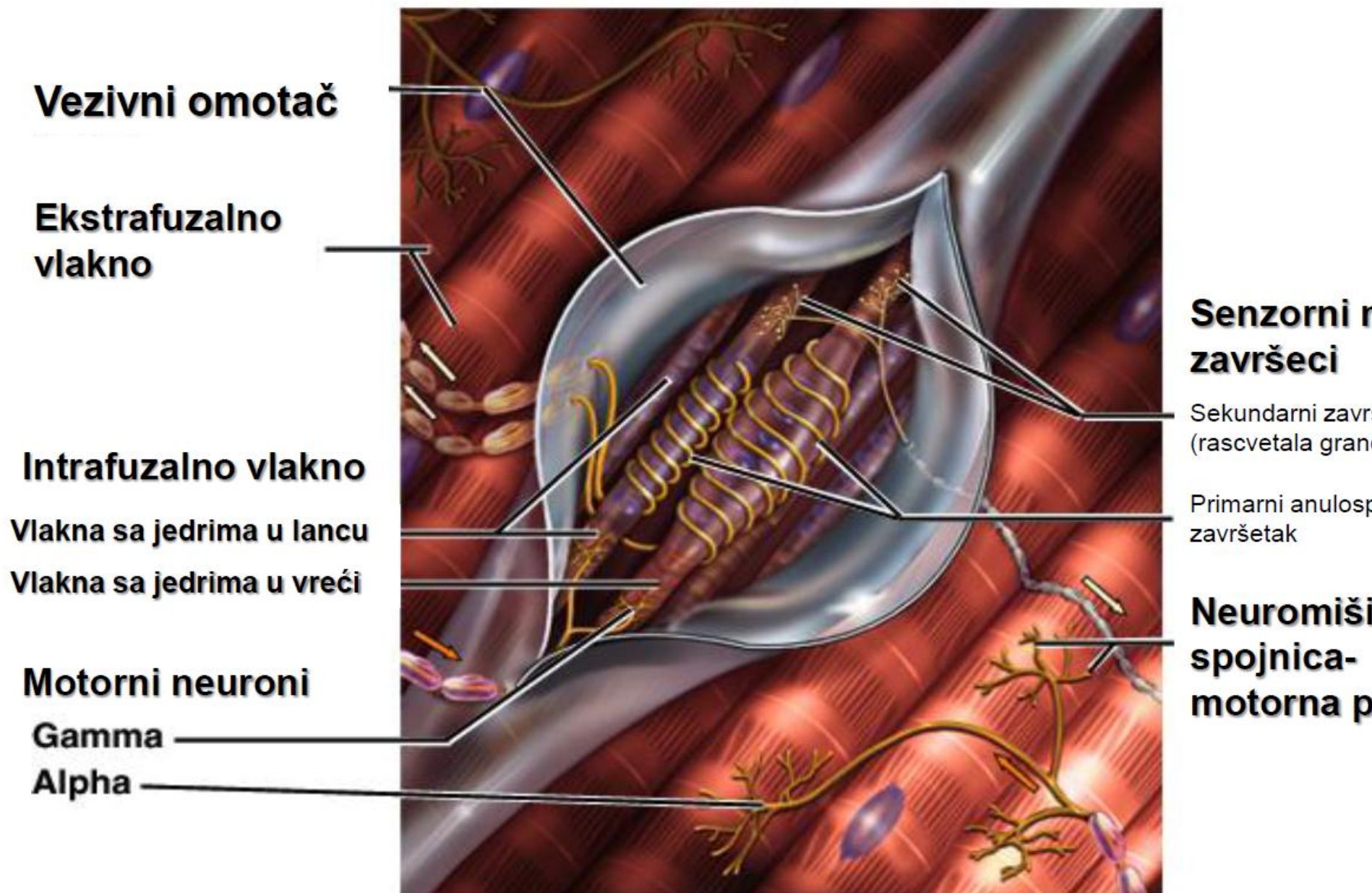
Refleks fleksora

Ukršteni refleks ekstenzora

Mišićni senzorni receptori

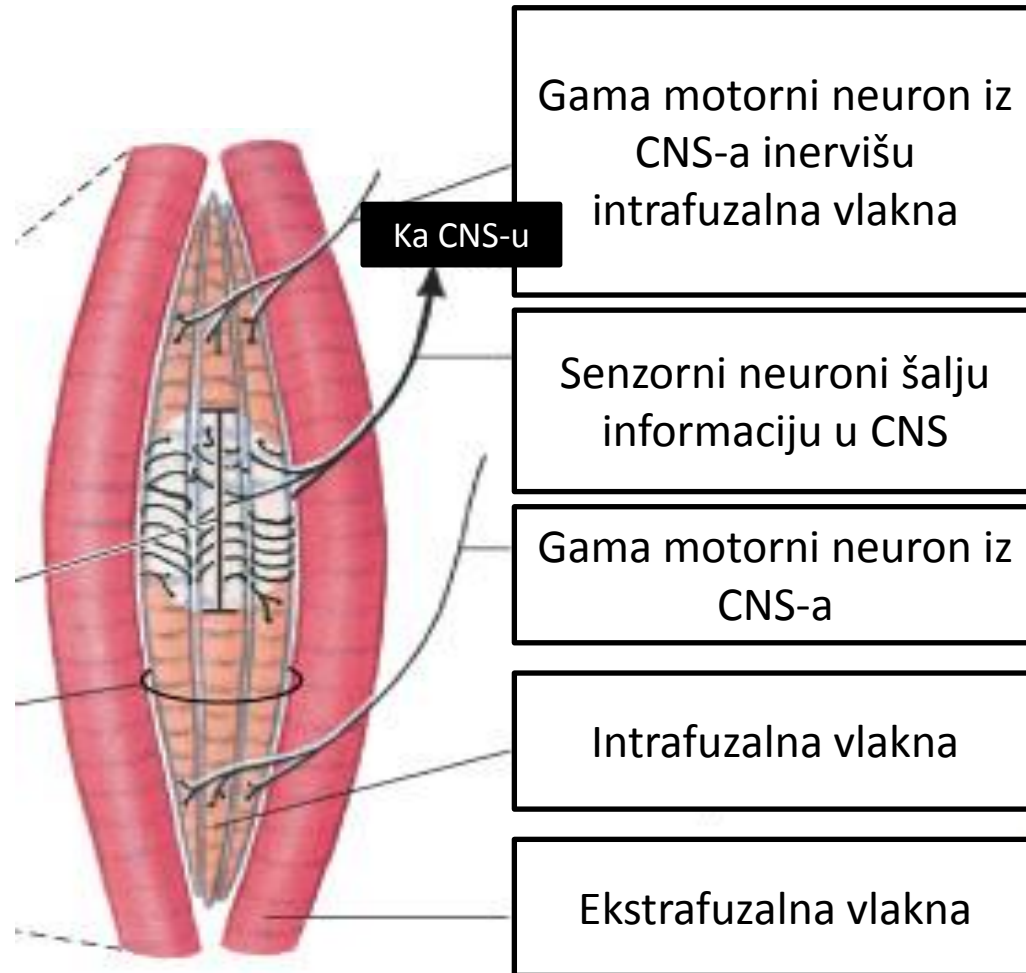
- Daju informacije o mišićima:
 - **Koja je dužina mišića**
 - **Trenutni tonus (napetost)**
 - **Koliko brzo se menjaju dužina ili tonus mišića**
- 1. Mišićna vretena** (u mišiću) – registruju informaciju o dužini mišića i brzini promene dužine
- 2. Goldžijevi tetivni organi** (na spoju mišića i tetiva) – registruju informaciju o napetosti tetive ili veličini promene napetosti, detektuju silu koju mišić razvija
- 3. Ruffinijeva telašca, Pačinijevi korpuskuli i slobodni nervni završeci** (u zglobovima i zglobnim kapsulama)

Mišićna vretena



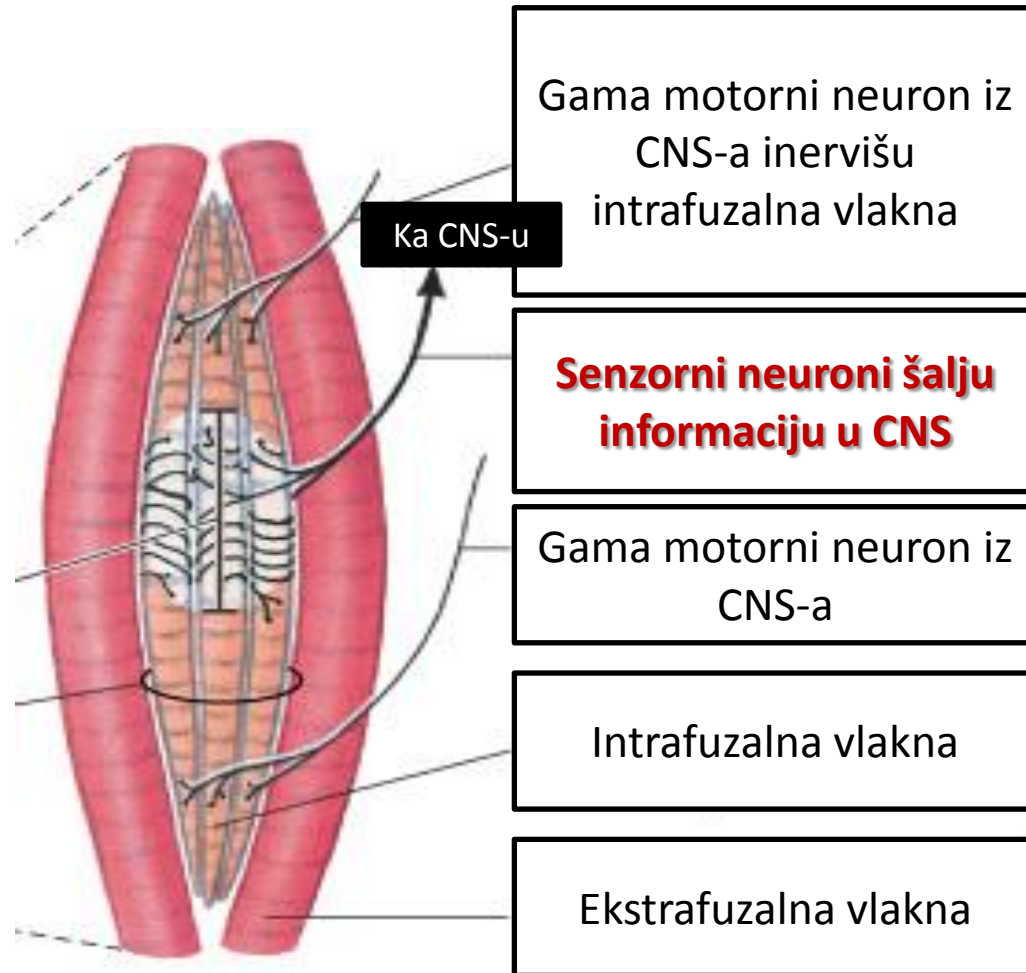
Mišićna vretena

- **Struktura i motorna inervacija**
 - Dugačko 3-10 mm
 - Izgrađeno od 3-12 intrafuzalnih vlakana
 - Pričvršćena za ekstrapuzalna mišićna vlakna
 - Središnji deo se NE kontrahuje, funkcioniše kao senzorni receptor
 - Inervisani su od strane malih gama motornih vlakana- ***gama eferentna vlakna***



Struktura i motorna inervacija mišićnog vretena

- **Receptor** u centralnom delu vretena razdražuje:
 1. **Istezanje celog mišića** (ekstrafuzalnih vlakana)
 2. **Kontrakcija krajeva intrafuzalnih vlakana** pri konstantnoj dužini mišića



Mišićna vretena

Dva tipa senzornih završetaka:

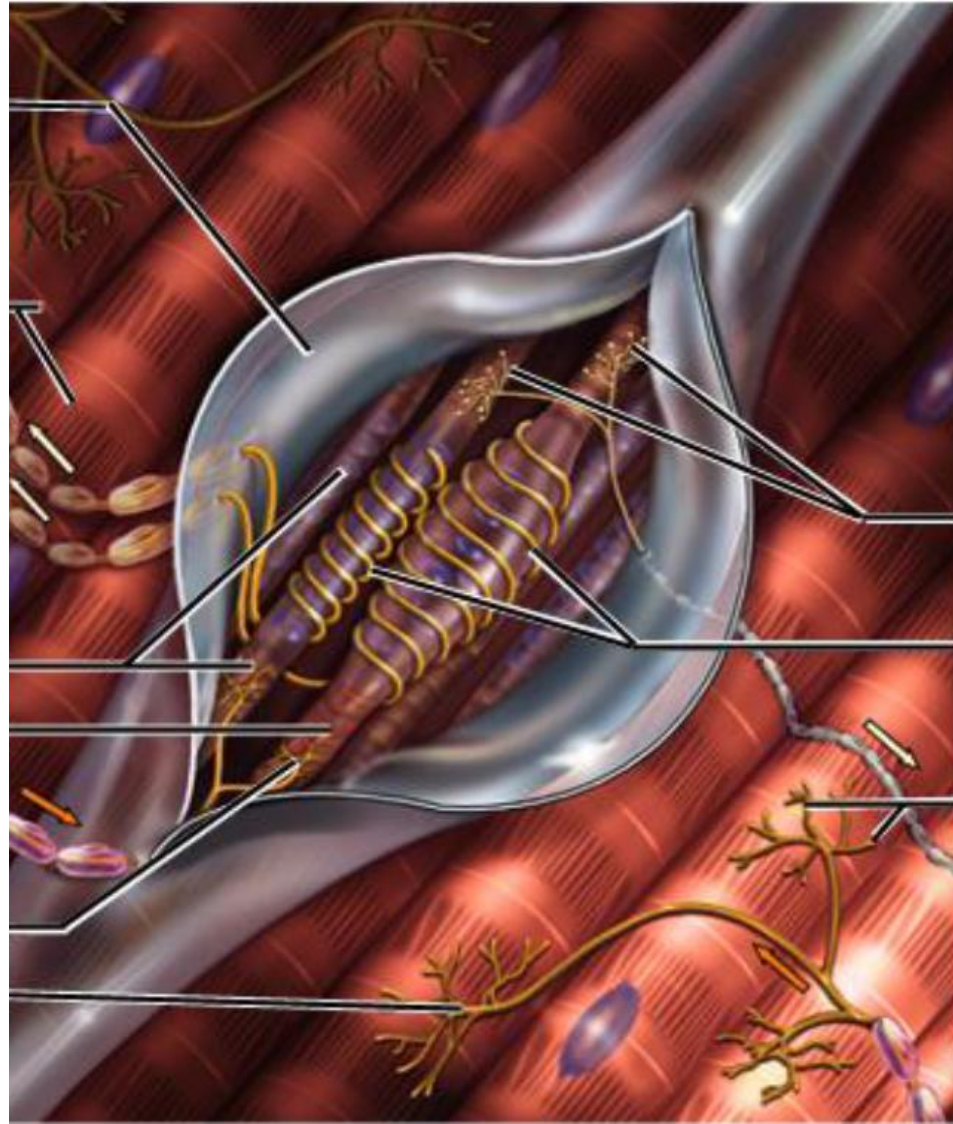
1. Primarni završetak anulospiralni:

debelo senzorno vlakno tipa Ia, jedno od najbržih nervnih vlakna u telu, 70-120 m/s

- Okružuje svako intrafuzalno mišićno vlakno

2. Sekundarni završetak:

jedno ili dva tanja vlakna tipa II, obično "rascvetale grančice"



Senzorni nervni završeci

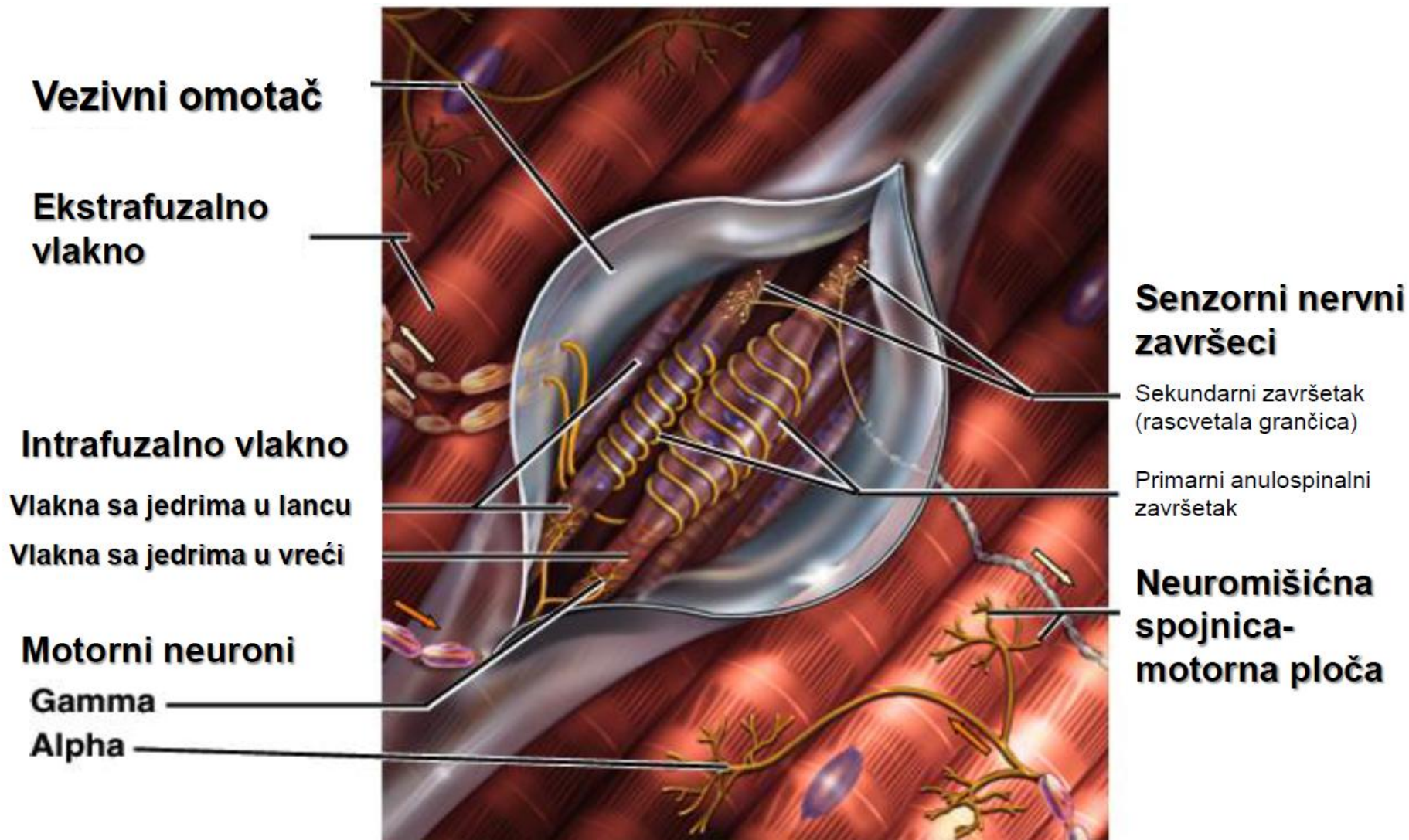
Sekundarni završetak (rascvetala grančica)

Primarni anulospiralni završetak

Neuromišićna spojnicamotorna ploča

Mišićna vretena

- Intrafuzalna vlakna
 - *Vlakna sa jedrima u vreći* (1-3)
 - *Vlakna sa jedrima u lancu* (3-9)
- Primarni nervni završetak inerviše obe vrste intrafuzalnih vlakana
- Sekundarni nervni završetak inerviše vlakna sa jedrima u lancu



Mišićna vretena

- ***Statički odgovor***

- Odgovor primarnih i sekundarnih završetaka za koji su odgovorna intrafuzalna vlakna sa jedrima **u lancu**

ako se mišićno vlakno istegne **polako**, broj impulsa srazmeran je stepenu istežanja i impulsi se prenose više minuta. Pri konstatnim dužinama mišića tonička aktivnost aferentnih Ia i II vlakana daju informaciju o dužini mišića (statički odgovor)

- ***Dinamički odgovor***

- Odgovor primarnih, ali ne i sekundarnih završetaka za koji su odgovorna intrafuzalna vlakna sa jedrima **u vreći**

ako se mišićno vlakno **istegne naglo**, veliki broj impulsa se prenosi ali samo dok se dužina vlakna aktuelno povećava,

ako se mišićno vlakno **skraćuje**, smanjuje se broj impulsa.

Mišićna vretena

- Gama motorni neuroni kontrolišu intenzitet odgovora
 - **γ dinamički**- razdražuju intrafuzalna vlakna sa jedrima u vreći
 - **γ statički**- razdražuju intrafuzalna vlakna sa jedrima u lancu

Mišićna vretena

- Kontinuirano okidanje mišićnih vretena pod normalnim uslovima
 - ***Pozitivni signali*** – povećava se broj impulsa što ukazuje na istežanje mišića
 - ***Negativni signali***- smanjuje se broj impulsa što ukazuje da mišić nije istegnuto

Mišićni refleks na istežanje - miotatski refleks

- Istežanje mišića izaziva njegovu kontrakciju.
- Receptor je mišićno vreteno.
- Monosinaptički refleks
 - aferentno Ia vlakno prenosi impuls direktno u prednji rog sive mase kičmene moždine,
 - sinapsa direktno sa prednjim motoneuronima, do mišića

Mišićni refleks na istežanje

- ***Dinamički refleks na istežanje-*** brz odgovor na istežanje, koji izaziva kontrakciju mišića iz kog je signal potekao, sprečava nagle promene u dužini mišića
- ***Statički refleks na istežanje-*** duže traje, održava kontrakciju, dokle god postoji prekomerna dužina mišića
- ***Negativan refleks na istežanje-*** kad se mišić naglo skрати, nastaje dinamička i statička mišićna inhibicija: ***mišić teži da održi nepromnjenu dužinu.***

Mišićni refleks na istežanje – uloge:

- Održavanje stalne dužine mišića i mišićnog tonusa
- Održavanje uspravnog položaja tela
- Regulacija mišićne kontrakcije tokom voljnih pokreta

Uloga mišićnog vretena u voljnoj motornoj aktivnosti

- ***Istovremena aktivacija A α i A γ motornih neurona***, aktivacija ektrafuzalnih i intrafuzalnih mišićnih vlakana pod uticajem silaznih motornih puteva:
 - Silazni putevi istovremeno aktiviraju ***A α i A γ motorne neurone, te aktivnost mišićnog vretena ne prestaje tokom trajanja mišićne kontrakcije*** - održava se dužina receptorskog dela mišićnog vretena (ne suprotstavlja se kontrakciji)
 - Ovim vreteno ne gubi sposobnost reagovanja na istežanje i refleksnu kontrolu aktivnosti A alfa motoneurona – ***prigušivačka uloga mišićnog vretena se održava.***

Uticaj viših centara na A γ motoneurone

- **Bulboretikularni facilitacijski region moždanog stabla:**
 - Uloge: antigravitacija, stabilizuje položaj tela u toku motornih aktivnosti
 - Na koji način: šalje signal do intrafuzalnih vlakana, skraćuje krajeve vretena, isteže centralne delove receptora, dovodi do **zategnutosti mišića i stabilizacije zgloba. Stabilizacija položaja glavnih zglobova omogućava izvođenje složenijih pokreta**
- Bulboretikularni region moždanog stabla prima impulse iz:
 - malog mozga
 - bazalnih ganglija
 - moždane kore

Klinička primena refleksa na istežanje

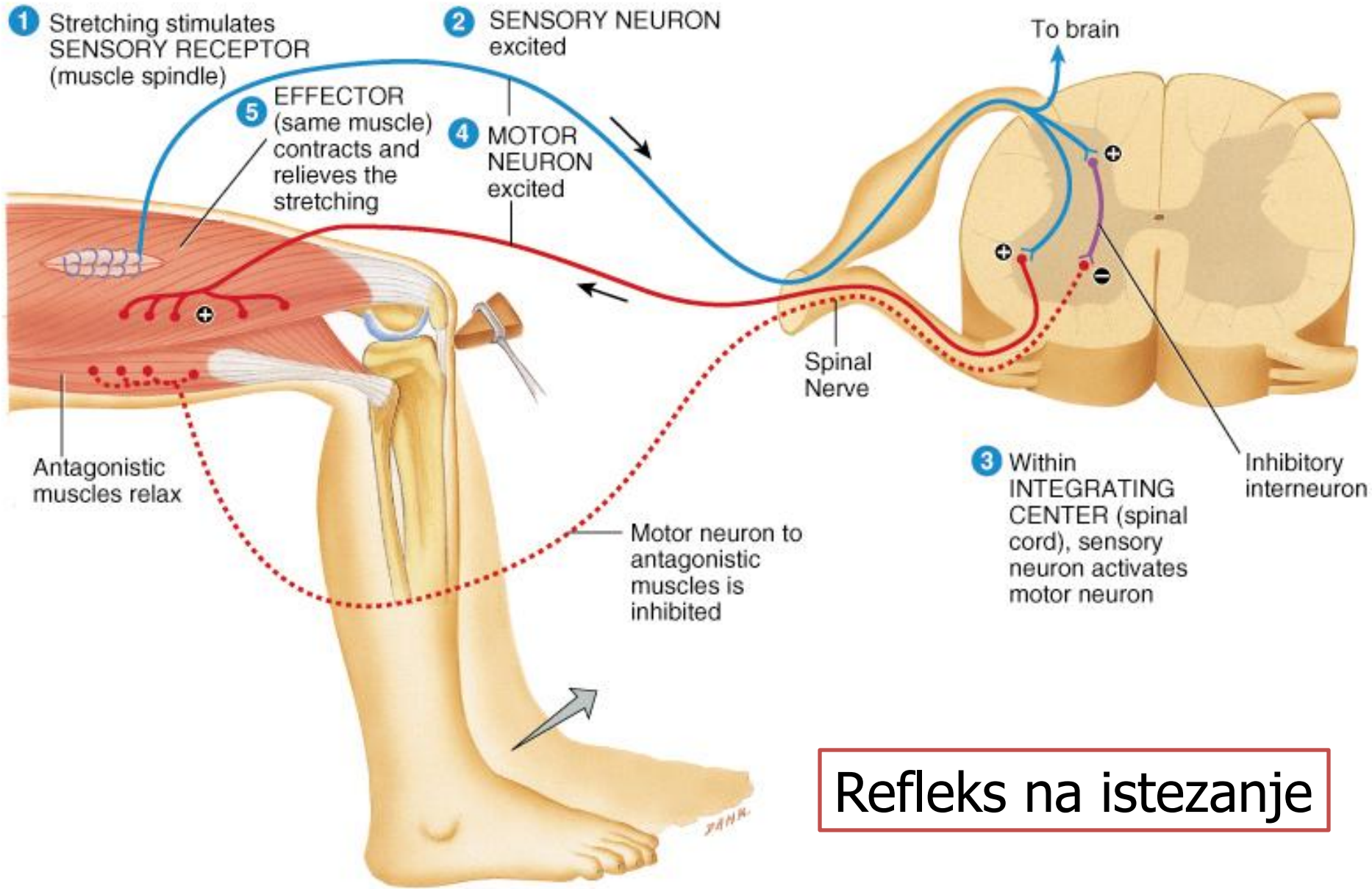
- Izaziva se udarcem neurološkog čekića po tetivi ili trbuhu gotovo svakog mišića
- Koristi se za procenu stepena facilitacije kičmene moždine
- *Klonus*- osciliranje mišićnog refleksa

Gradacija refleksnog odgovora

- Kvantitativno i kvalitativno
- Gradacija refleksnog odgovora:
 - Odsutan
 - Smanjen-niži
 - Normalan
 - Pojačan
 - Klonus

Recipročna inervacija

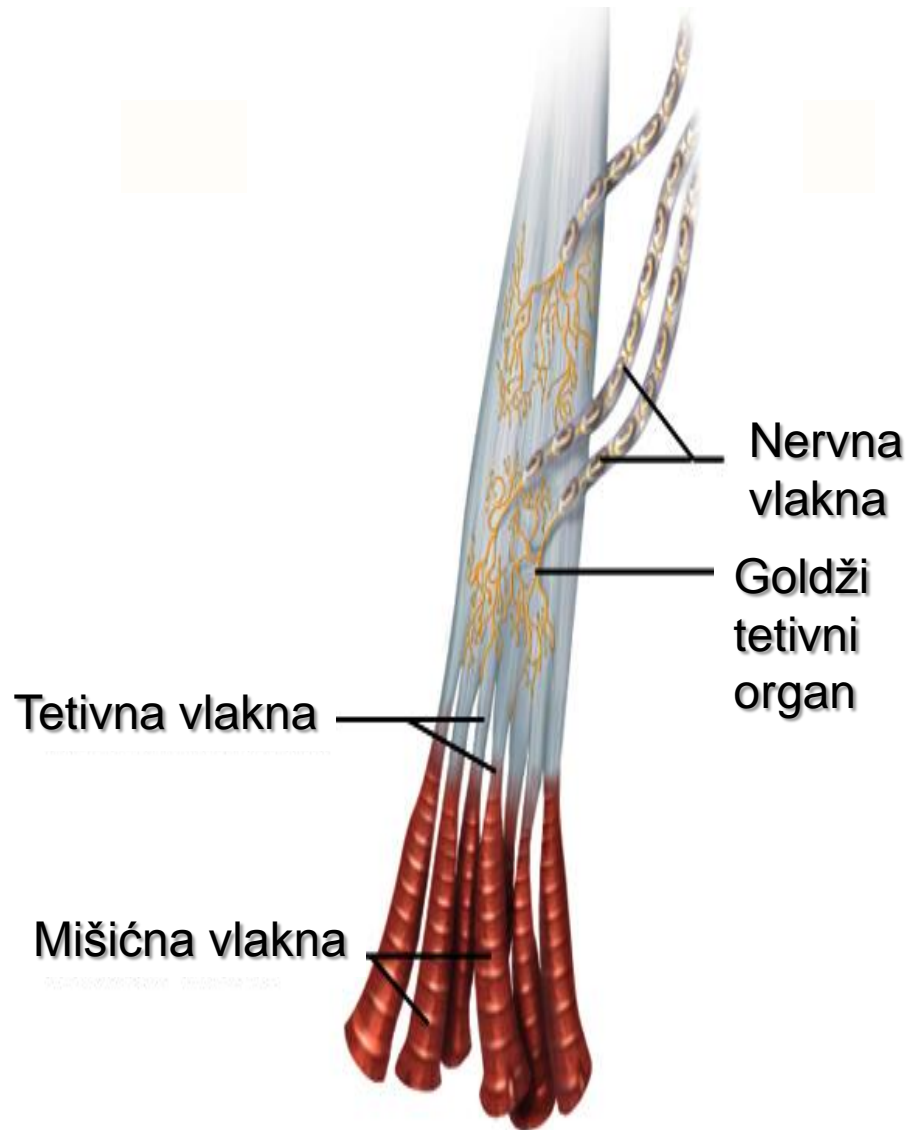
- Pri miotatskom refleksu, antagonistički refleksi se relaksiraju mehanizmom recipročne inervacije:
 - Impulsi iz Ia vlakana mišićnih vretena istegnutog mišića ekscitiraju inhibicijski interneuron, koji inhibira alfa motoneuron antagonističkog mišića.



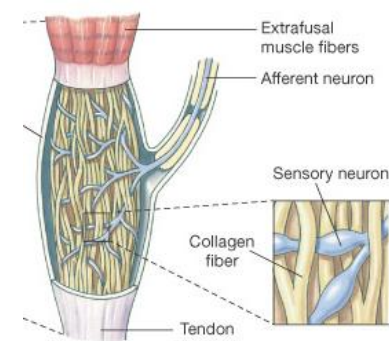
Refleks na istežanje

Goldžijev tetivni organ

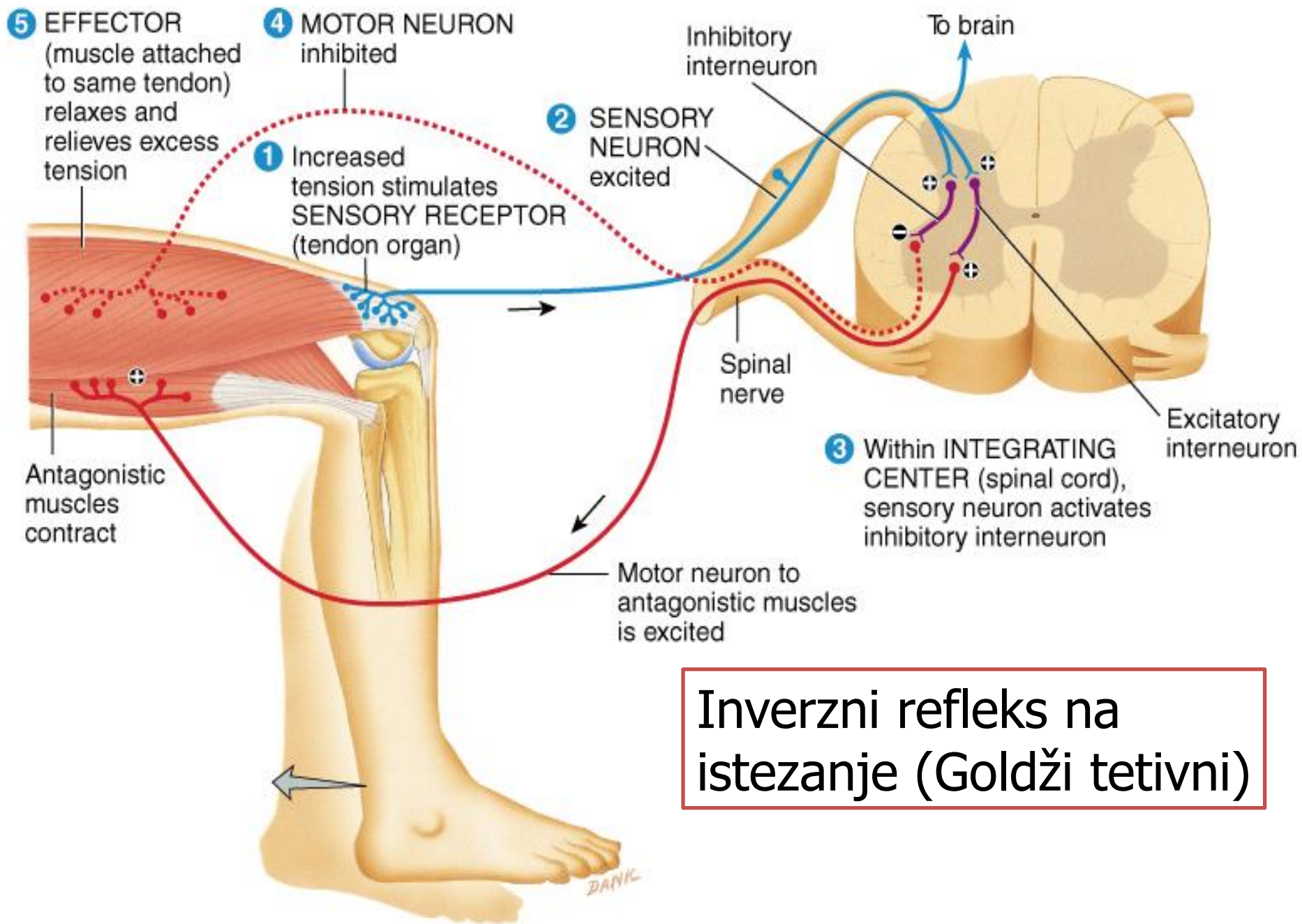
- Inkapsuliran senzorni receptor
- Serijski povezan sa 10-15 ektrafuzalnih mišićnih vlakana
- Detektuje **napetost mišića**
- Prenosi signal velikim, brzopropagirajućim Ib vlaknima
- Razvija dinamički i statički odgovor



Inverzni refleks na istezanje (Goldžijev tetivni refleks)



- Povratna sprega koja reguliše napetost u mišiću
- Kontrakcija mišića izaziva istezanje tetivnog organa i generisanje akcionog potencijala u Ib vlaknima.
- Ib vlakna preko inhibicijskih interneurona (polisinaptički refleksni luk) inhibiraju α -motoneurone i dovode do relaksacije mišića i njegovih agonista.



Inverzni refleks na istežanje (Goldži tetivni)

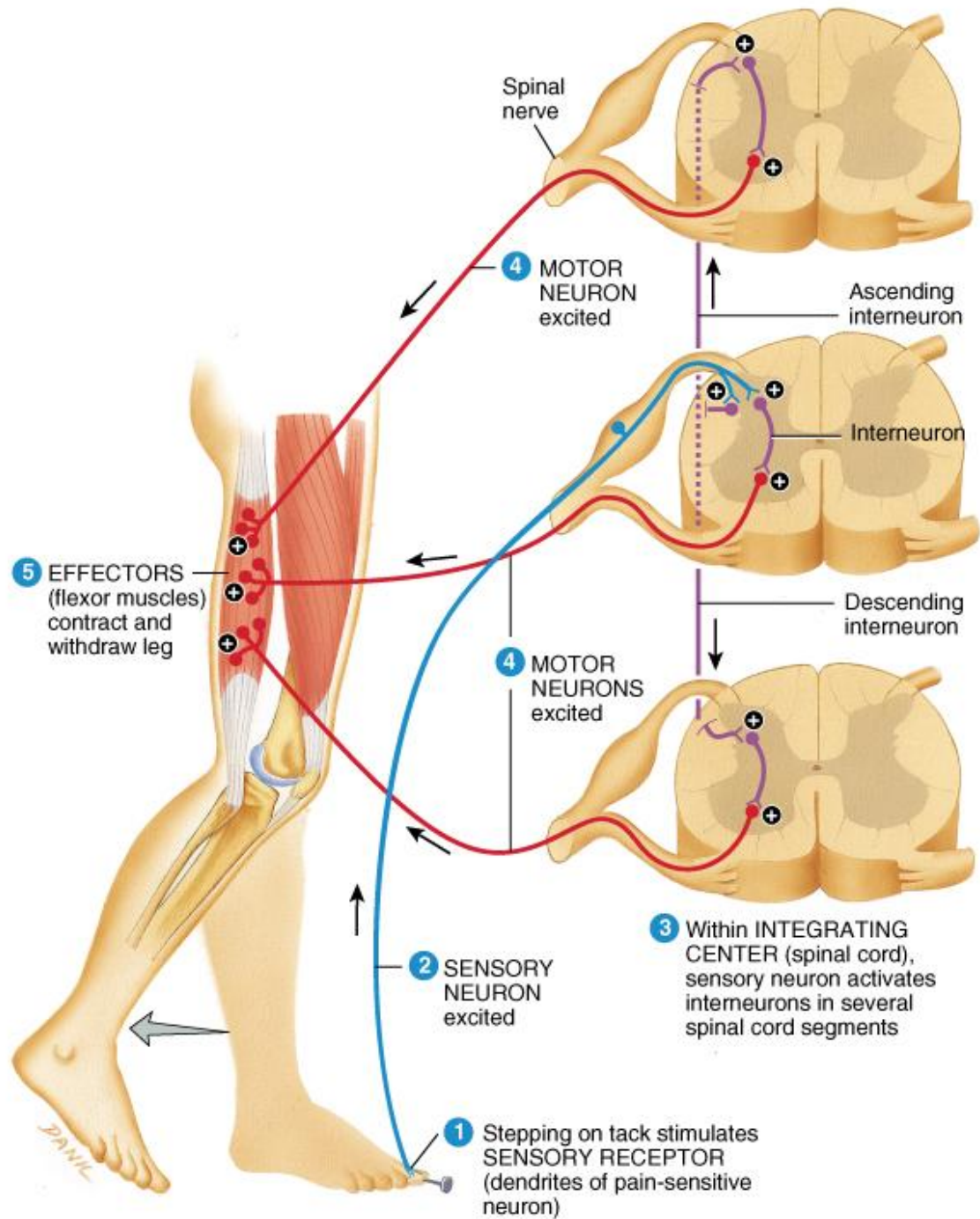
Goldžijev tetivni organ

- Inhibicijska priroda tetivnog refleksa i njegov značaj
 - “Negativna povratna sprega” koja sprečava nastajanje prekomerne napetosti mišića
 - **Reakcija izduživanja** – štiti od mogućeg kidanja mišića, otgrnuća tetive od kosti pri jakim kontrakcijama.

Refleks fleksora i refleksi uklanjanja

- ***Nocioceptivni refleks ili refleks na bol-*** izaziva se stimulacijom receptora za bol, ubod, toplotu, izazivaju ga “rane”, mada ga može izazvati i dodir
- Neuronski mehanizam: obično uključuje 3-4 neurona;
 - divergentni krugovi, krugovi recipročne inhibicije, krugovi koji uzrokuju prolongirano, kontinuirano, naknadno okidanje
- ***Obrazac uklanjanja:*** npr. kombinacija refleksa fleksora i kontrakcije aduktora kod bolnog stimulusa ekstremiteta

Refleks fleksora (uklanjanja)



Kičmena moždina – generator centralnih obrazaca

- Nezavisni generator centralnih obrazaca kretanja koji generiše osnovne elemente pokreta koračanja u odsustvu kontrole iz viših delova CNS-a.
- U vratnom i slabinskom delu kičmene moždine.

Kontrola motorne funkcije od strane kore mozga i moždanog stabla

- Svi voljni pokreti koji počinju u moždanoj kori ostvaruju se kortikalnom aktivacijom obrazaca uskladištenih u nižim moždanim područjima:
 - kičmena moždina
 - moždano stablo
 - bazalne ganglije
 - cerebelum
- Za nekoliko tipova pokreta, korteks ima gotovo direktan put do prednjih motoneurona kičmene moždine – naročito za kontrolu vrlo veštih pokreta prstiju i šake.

SOMATSKI MOTORNI SISTEM

GORNJI
MOTORNI
NEURON

MOŽDANO
STABLO

Finalni motorni put:
Donji motoneuron
- kičmena moždina

- ✓ Rubrospinalni put
- ✓ Tectospinalni put
- ✓ Vestibulospinalni put
- ✓ Retikulospinalni put

**VOLJNA
MOTORIKA**

Kortikospinalni put

**AUTOMATSKA
KONTROLA**

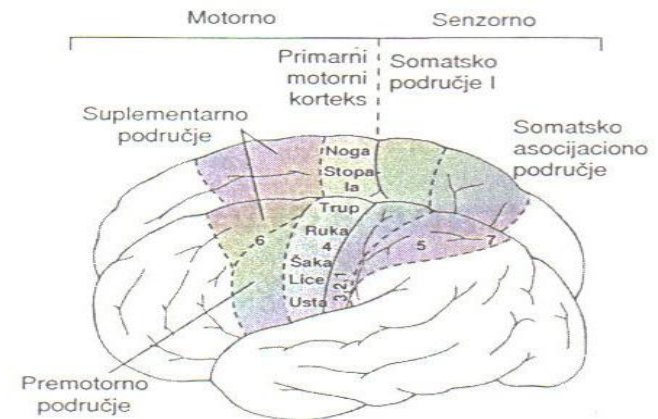
EFEKTORI
skeletni mišići

REFLEKS

MOTORNA KORA MOZGA

Delovi motorne kore mozga

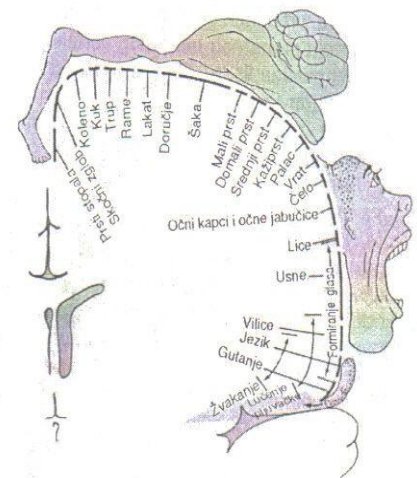
- Primarna motorna kora
- Premotorni region
- Suplementarna motorna kora



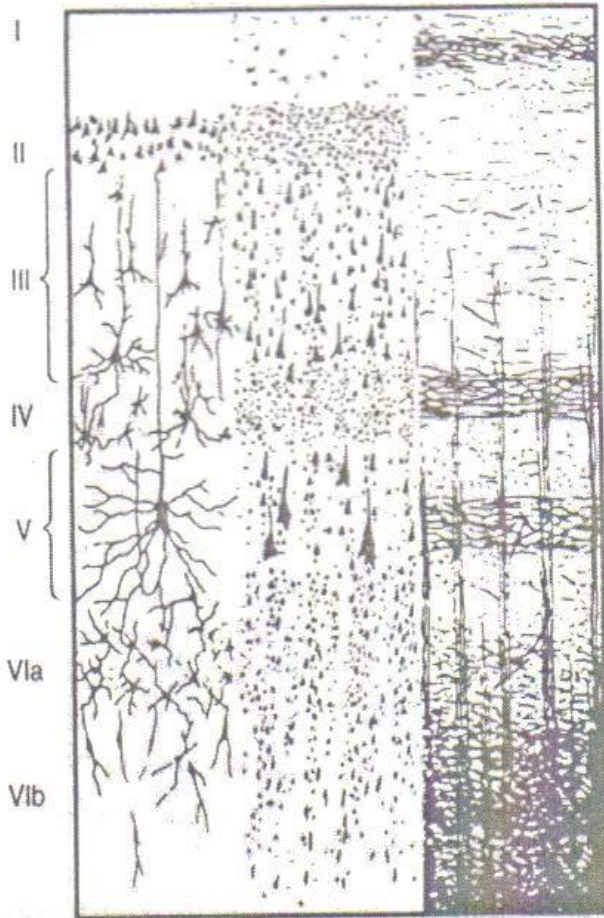
Motorna i somatosenzorna funkcionalna područja cerebralnog korteksa. Brojevi 4, 5, 6 i 7 su Brodmanova kortikalna područja

Primarni motorni korteks

- Primarna motorna kora odgovara regionu 4 u Brodmanovoj klasifikaciji i ima preciznu topografsku reprezentaciju različitih mišićnih regiona u telu:
 - više od polovine ovog područja odnosi se na kontrolu mišića šaka i mišića za govor



Veličina reprezentacije različitih mišića tela u motornom korteksu.



Struktura cerebralnog korteksa prikazuje: I, molekularni sloj, II, spoljni granularni sloj, III, sloj piramidalnih ćelija, IV, unutrašnji granularni sloj, V, sloj velikih piramidalnih ćelija, i VI, sloj fuziformnih ili polimorfnih ćelija.

- Čelije u motornom korteksu (kao i u somatosenzornom) su organizovane u vertikalne kolumne, dijametra dela milimetra sa hiljadama neurona u svakoj kolumni.
- Svaka kolumna funkcioniše kao funkcionalna jedinica stimulišući obično grupu sinergističkih mišića (ponekad i pojedinačni mišić). Svaka kolumna ima šest slojeva ćelija). Sve ćelije koje daju kortikospinalna vlakna leže u petom sloju dok ulazni signali dolaze u slojeve od 2 do 4. Iz sloja 6 potiču vlakna koja uglavnom komuniciraju sa ostalim regionima samog korteksa.
- Neuroni svake kolumne funkcionišu kao integrativni sistem za obradu (upotrebljavajući informacije iz brojnih izvora), pri čemu svaka kolumna može funkcionisati kao sistem amplifikacije. Stimulacija pojedinačne piramidalne ćelije retko može da razdraži mišić, obično je potrebno razdražiti oko 50 do 100 ćelija istovremeno da se postigne mišićna kontrakcija.
- Kada nervni signali iz motornog korteksa izazovu mišićnu kontrakciju, somatosenzorni signali se vraćaju iz aktivisanog regiona do neurona u motornom korteksu koji su uzrokovali akciju, često uzrokujući povećanje kontrakcije pozitivnom povratnom spregom. Većina ovih somatosenzornih signala potiče iz:
 - mišićnih vretena
 - tetivnih organa
 - taktilnih receptora kože.

Premotorna kora

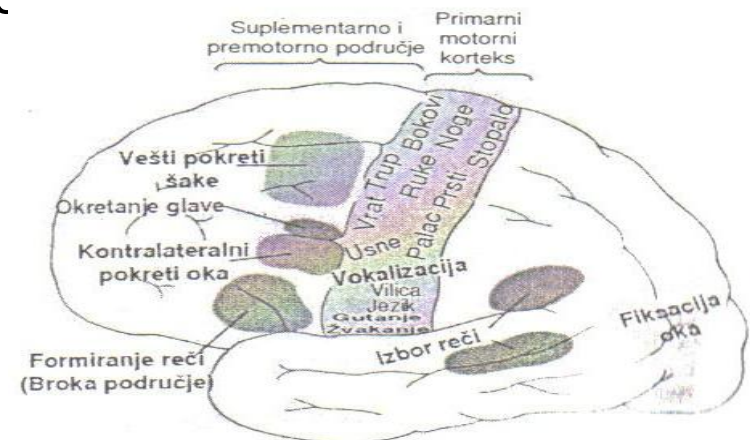
- Nervni signali u ovom regionu uzrokuju mnogo kompleksnije obrasce pokreta od diskretnih obrazaca koji nastaju u primarnom motornom korteksu.
- Prednji deo premotornog regiona prvo razvija “motornu sliku” celog mišićnog pokreta koji treba da se izvede. Ova slika ekscitira svaki sledeći obrazac u zadnjem delu ovog regiona odakle se signali šalju bilo **direktno u primarnu motornu koru** ili često, **do bazalnih ganglija** i onda nazad kroz **talamus** do **primarne motorne kore**.
- Tako, **premotorna kora, bazalne ganglije, talamus i primarna motorna kora sačinjavaju kompleksan zajednički sistem za kontrolu kompleksnih obrazaca koordinisane mišićne aktivnosti.**

Suplementarni motorni region

- Kontrakcije izazavane stimulacijom ovog regiona su češće **obostrane** nego jednostrane.
- Ovaj region funkcioniše zajedno sa premotornim regionom da bi se obezbedili:
 - **posturalni pokreti**
 - **fiksacioni pokreti različitih segmenata tela**
 - **položajni pokreti glave i očiju.**

Specijalizovani regioni motorne kore

- **Broka region i govor** – odgovoran za formiranje reči, kod oštećenja, nije moguće da osoba izgovara cele reči, već je govor nekoordinisan i povremeno izgovara samo proste reči ka što su “da” ili “ne” (motorna afazija).
- **Polje za voljne pokrete oka** – oštećenje ovog regiona sprečava osobu da voljno pokreće oči prema različitim objektima
- **Region za okretanje glave** – usko je povezan sa poljem za pokrete očiju; on usmerava glavu prema različitim objektima.
- **Region za vešte pokrete šake** – kod oštećenja, pokreti šake postaju nekoordinisani i besciljni; stanje nazvano motorna apraksija



Putevi za prenos signala iz kore u kičmenu moždinu

- Motorni signali se prenose iz korteksa u kičmenu moždinu:
 - **Direktno - kroz kortikospinalni put**
 - **Indirektno - kroz brojne puteve koji uključuju bazalne ganglije, cerebelum i razna jedra moždanog stabla.**
- Direktni putevi kontrolišu diskretne i detaljne pokrete, naročito distalnih delova udova, naročito šaka i prstiju.

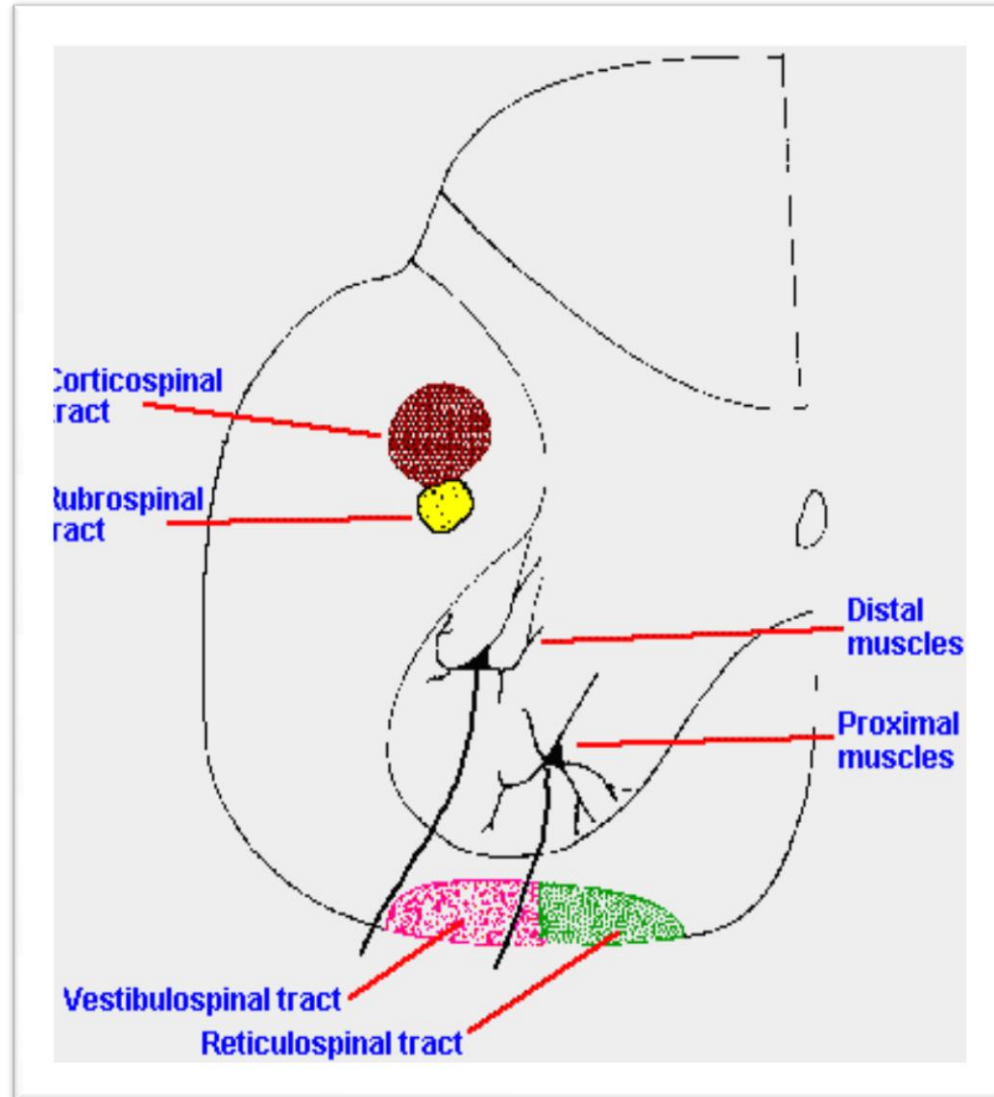
Somatski motorni put

- **Direktan:**

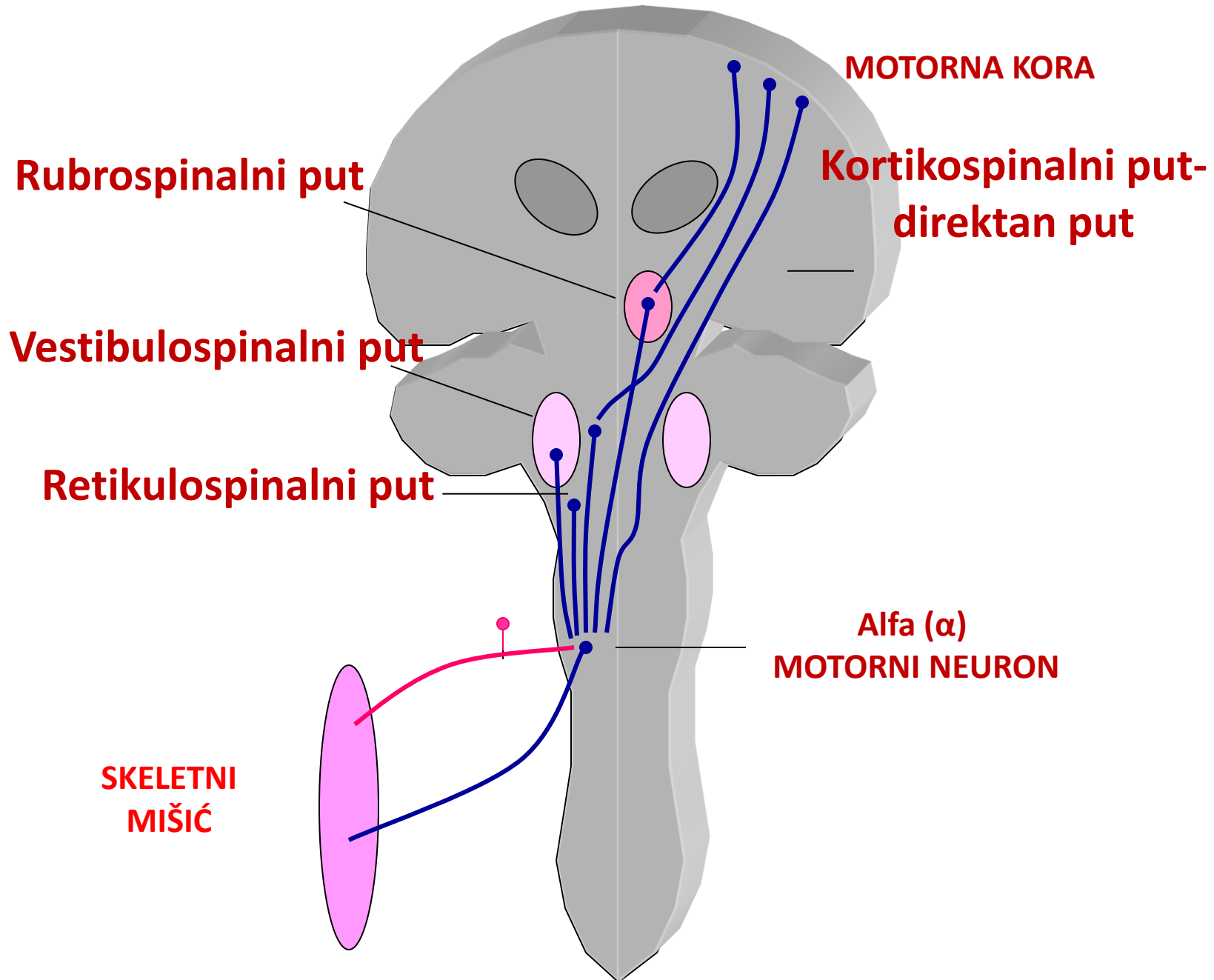
- Kortikospinalni put: od moždane kore do kičmene moždine i mišića

- **Indirektan:**

- uključuje sinapse u bazalnim ganglijama, talamusu, retikularnoj formaciji, cerebelumu



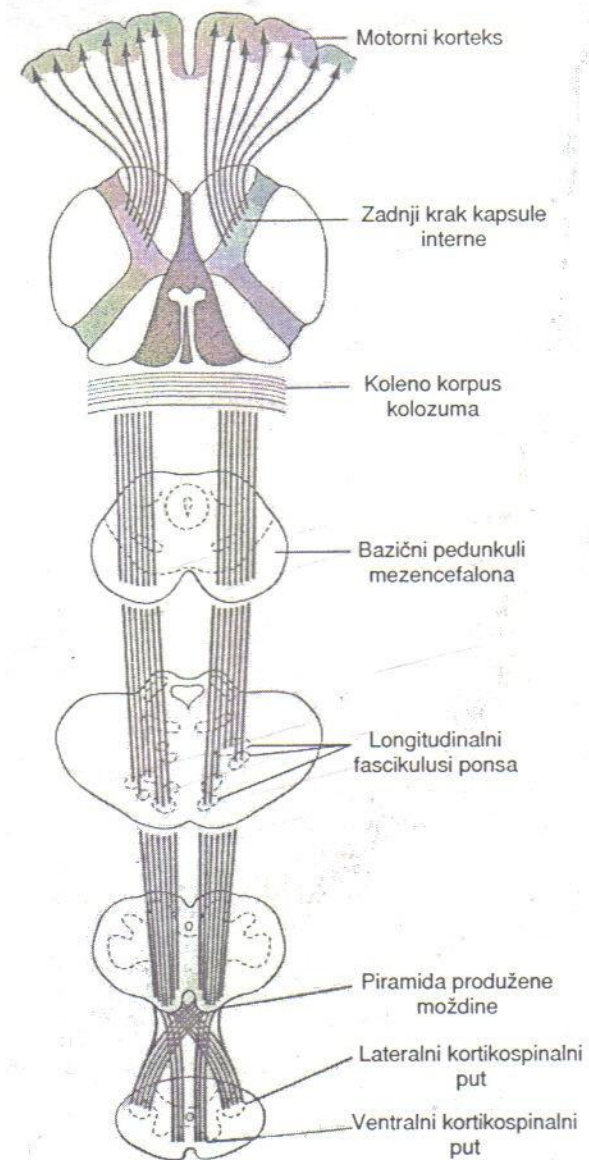
Veze motornih puteva sa donjim motornim neuronom



Kortikospinalni put (piramidni put)

- Najznačajniji eferentni put iz motornog korteksa je kortikospinalni trakt.
- Oko 30% vlakana ovog puta polazi iz primarnog motornog i premotornog regiona, a 40% iz somatosenzornog područja.

- U **donjem delu produžene moždine**, najveći deo piramidalnih vlakana prelazi na suprotnu stranu – ukršta se, i silazi kao **lateralni kortikospinalni putevi** kičmene moždine, da bi se konačno završili uglavnom na interneuronima intermedijarnih regiona sive mase kičmene moždine.
- Jedan mali broj vlakana ne prelazi na suprotnu stranu u meduli, već ipsilateralno ide niz kičmenu moždinu u **ventralnim kortikospinalnim putevima**, ali mnoga, ako ne i najveći deo tih vlakana, takodje prelazi na suprotnu stranu, bilo u vratnom ili u gornjrm torakalnom delu regionu. Ova vlakna se verovatno odnose na kontrolu bilateralnih posturalnih pokreta od strane suplementarnog motornog regiona.
- Oko 3% vlakana u piramidalnom putu potiče od gigantskih piramidalnih ćelija (Bekove ćelije) koje su nadjene samo u motornom korteksu (brza vlakna 70m/s)



Kortikospinalni - piramidalni put

Kortikorubrospinalni put

- **Crveno jedro** – alternativni put za prenos kortikalnih signala do kičmene moždine, lokalizovano je u mezencefalonu i funkcioniše u uskoj vezi sa kortikospinalnim traktom. Kroz **kortikorubralni put** prima veliki broj direktnih vlakana iz primarnog motornog korteksa kao i kolateralna vlakna iz kortikospinalnog trakta.
- Vlakna koja ulaze u crveno jedro se završavaju u donjem delu ovog jedra, odakle se nastavlja **rubrospinalni trakt** koji prelazi na suprotnu stranu u donjem delu moždanog stabla.
- **Rubrospinalna vlakna se završavaju uglavnom na interneuronima u kičmenoj moždini** ali se mali broj završava i **direktno na motoneuronima prednjih rogova**.
- Crveno jedro ima bliske veze i sa cerebelumom, slično vezama između motornog korteksa i cerebeluma.

Ekstrapiramidalni motorni sistem

- Termin koji se često upotrebljava u kliničkoj praksi a obuhvata sve **one delove mozga i moždanog stabla koji učestvuju u motornoj kontroli a nisu deo kortikospinalnog -piramidnog puta.**
- To uključuje puteve kroz:
 - **bazalne ganglije**
 - **retikularnu formaciju moždanog stabla**
 - **vestibularna jedra**
 - **crveno jebro.**

Povrede motornog korteksa:

- Uklanjanje **dela primarnog korteksa** (regiona koji sadrži Bekove ćelije) uzrokuje različite stepene **paralize određenih mišića**.
- Ako nukleus kaudatus (bazalne ganglije) i susedni premotorni i suplementarni motorni regioni nisu oštećeni, grubi posturalni i fiksacioni pokreti udova mogu se još uvek izvoditi, ali se gubi voljna kontrola diskretnih pokreta distalnih segmenata udova naročito prstiju i šaka (**gubi se sposobnost kontrole finih pokreta**).

Povrede motornog korteksa

- Uklanjanje **samo motornog korteksa** uzrokuje **hipotoniju** a ne spastičnost, zato što primarni motorni korteks vrši kontinuiran tonički uticaj na motorne neurone kičmene moždine.

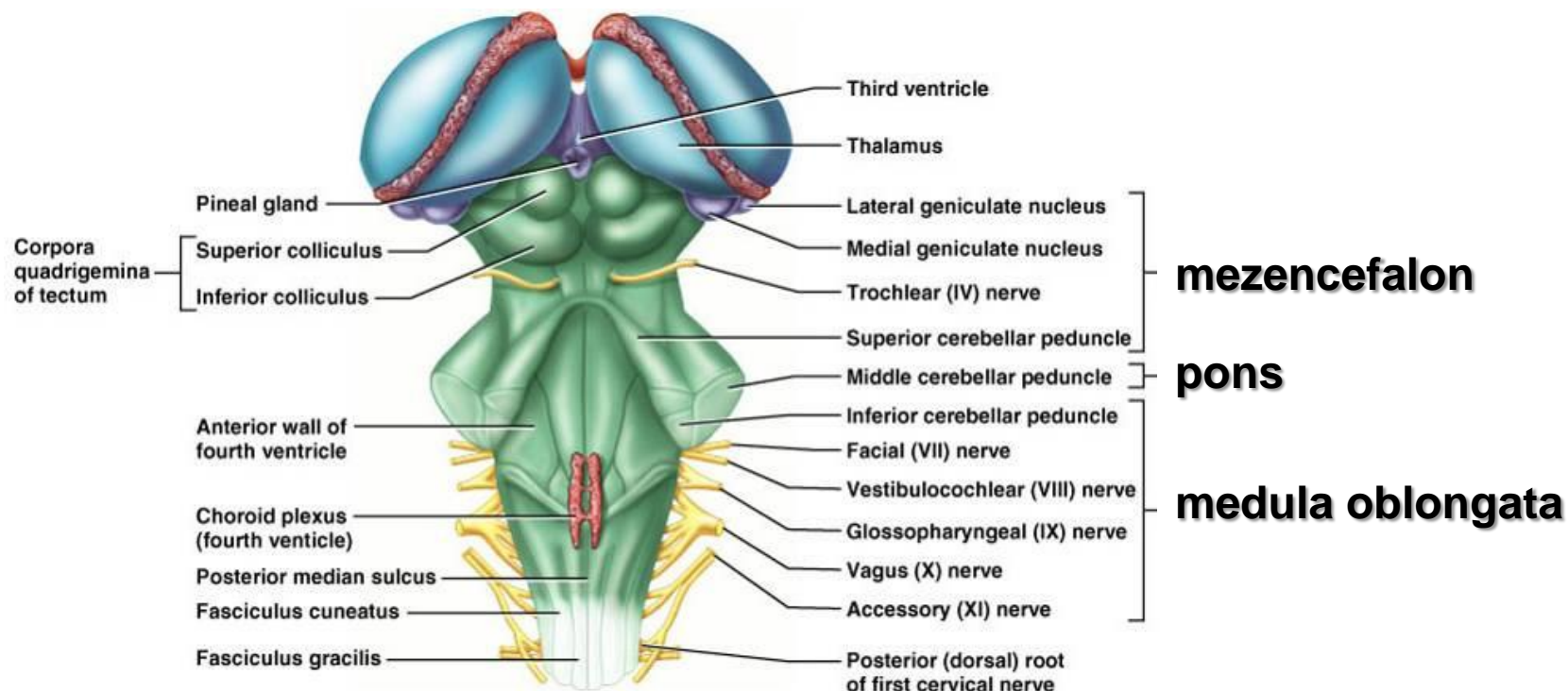
Povrede motornog korteksa

- Oštećenje ne samo **primarnog motornog korteksa već i susednih regiona i dubljih struktura, posebno bazalnih ganglija** (često se događa pri moždanom udaru) dovodi do **spasticiteta (povišenog tonusa) na suprotnoj strani tela.**
- Spazam nastaje zbog oštećenja onih puteva koji **normalno inhibišu vestibularna i retikularna motorna jedra moždanog stabla** koja u tim uslovima postaju spontano aktivna i uzrokuju prekomeran spastički tonus.

MOŽDANO STABLO

Moždano stablo

- Sastoji se iz: mezencefalona, ponsa i medulle oblongate
- Kontrola automatskog ponašanja neophodnog za preživljavanje
- Komunikacija između viših i nižih centara mozga



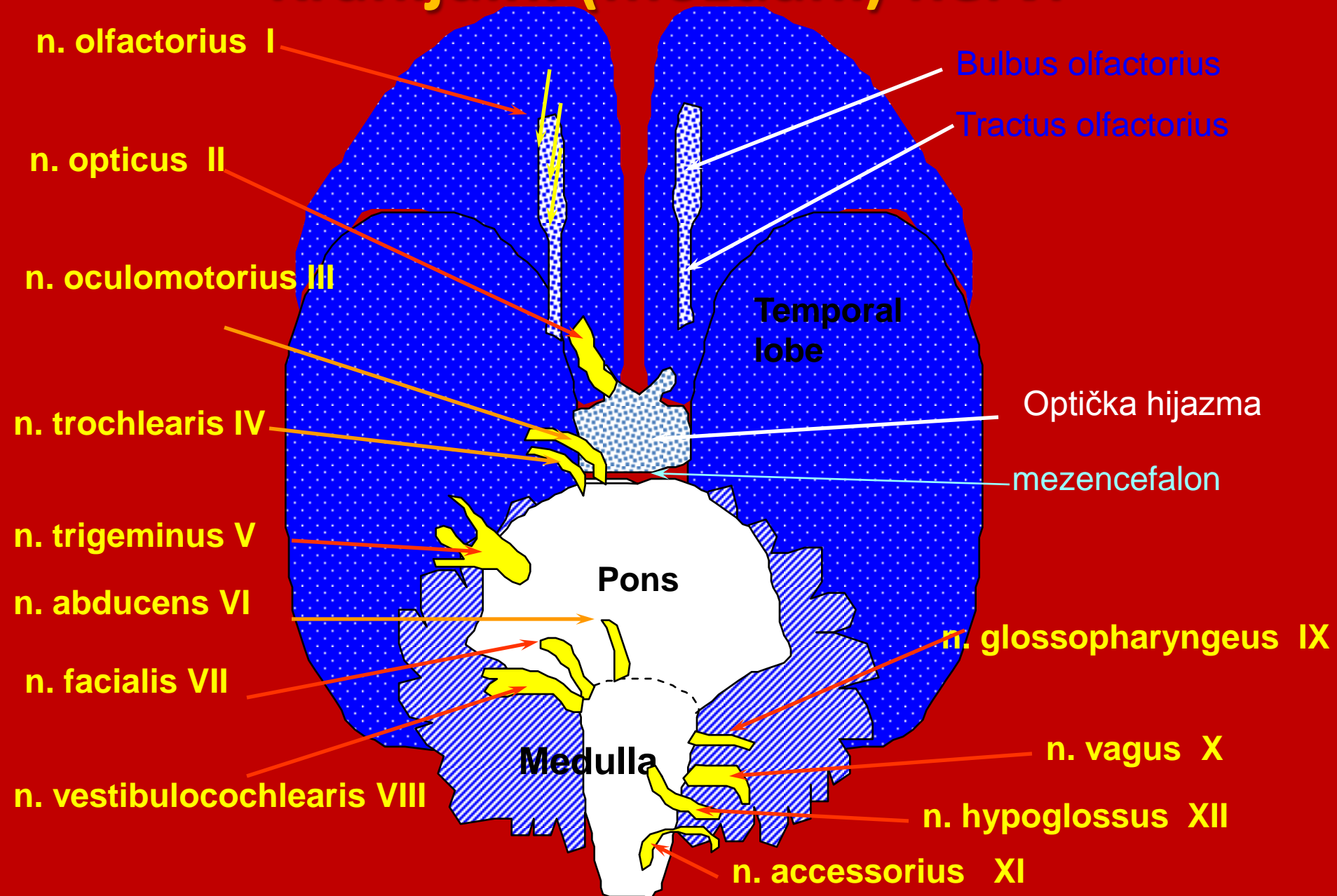
Moždano stablo (medula, pons i mezencefalon)

- Obezbeđuje mnogobrojne **specijalne kontrolne funkcije**:
 - kontrola respiracije
 - kontrola kardiovaskularnog sistema
 - kontrola gastrointestinalnih funkcija
 - kontrola mnogih stereotipnih pokreta
 - kontrola ravnoteže
 - kontrola očnih pokreta
- S druge strane, moždano stablo služi kao **usputna stanica** za komandne signale iz viših nervnih centara koji komanduju moždanom stablu da otpočne ili modifikuje specifične kontrolne funkcije svuda u telu.

Kranijalni (moždani nervi)

- Moždano stablo sadrži **motorne neurone kranijalnih živaca** koji inervišu: mišiće jezika, lica, očiju, neki se projektuju do kičmene moždine.

Kranijalni (moždani) nervi



SOMATSKI MOTORNI SISTEM

GORNJI
MOTORNI
NEURON

MOŽDANO
STABLO

Finalni motorni put:
Donji motoneuron
- kičmena moždina

- ✓ Rubrospinalni put
- ✓ Tectospinalni put
- ✓ Vestibulospinalni put
- ✓ Retikulospinalni put

**VOLJNA
MOTORIKA**

Kortikospinalni put

**AUTOMATSKA
KONTROLA**

EFEKTORI
skeletni mišići

REFLEKS

Silazni motorni putevi moždanog stabla

- **Lateralni sistem**

(mišići šake, prsti ruke i stopala)

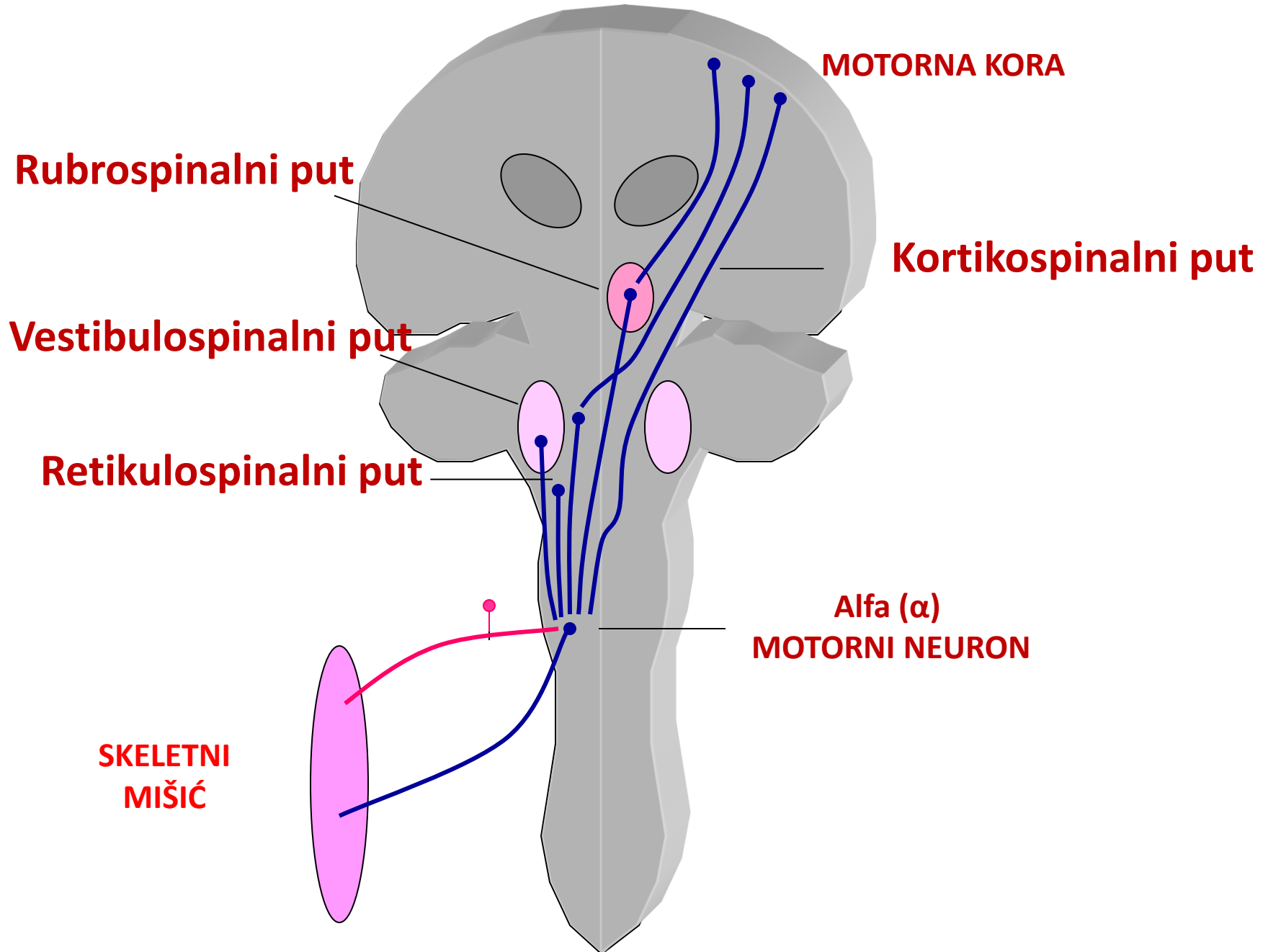
- o Lateralni kortikospinalni put
- o Rubrospinalni put

- **Medijalni sistem**

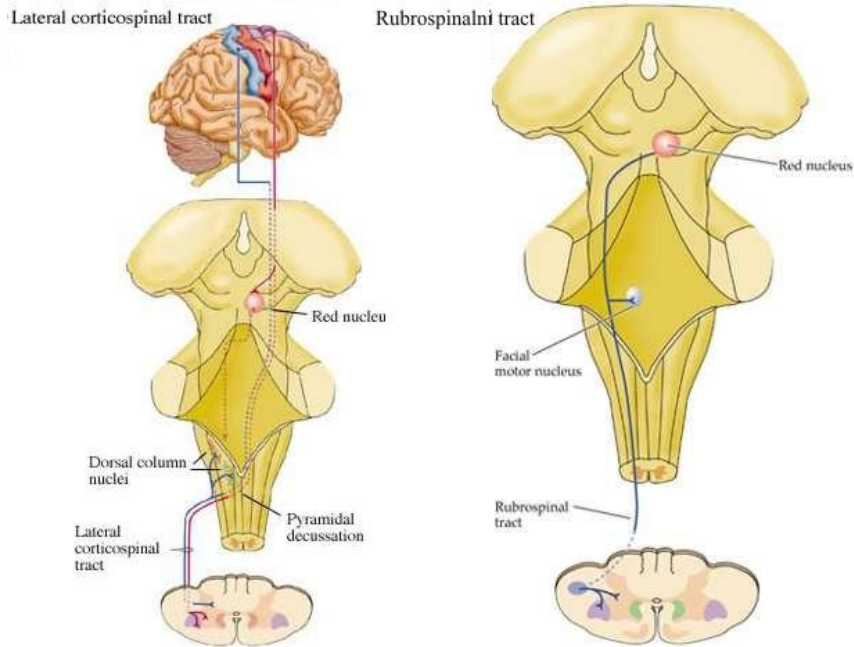
(aksijalna i proksimalna muskulatura)

- o Vestibulospinalni put (lateralni, medijalni)
- o Tektospinalni put
- o Retikulospinalni put
- o Ventralni kortikospinalni put
- o Kortikobulbarni put

Veze motornih puteva sa donjim motornim neuronom



Lateralni sistem - kontrola distalne muskulature



- **Lateralni kortikospinalni put** distalni delovi ekstremita: ruke, šake, prsti, stopala.

- **Rubrospinalni put** - distalna muskulatura gornjih ekstremiteta

Kontralateralno

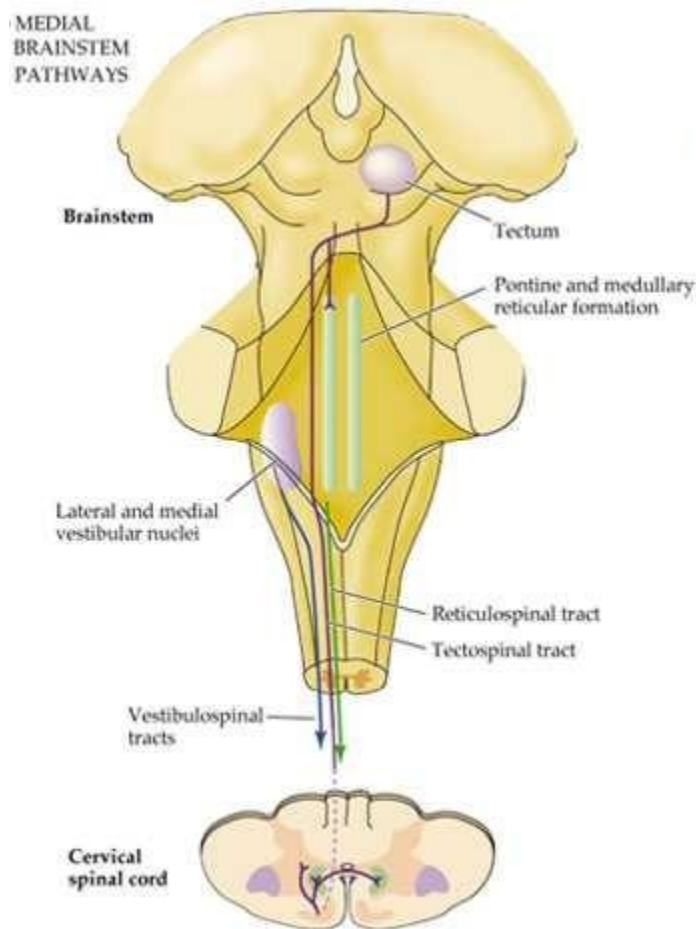
Facilitiraju $A\alpha$ i γ motoneurone fleksora

Inhibiraju motoneurone ekstenzora.

Informacije iz motornih zona kore velikog mozga i cerebeluma.

Medijalni sistem

kontrola aksijalne i proksimalne muskulature

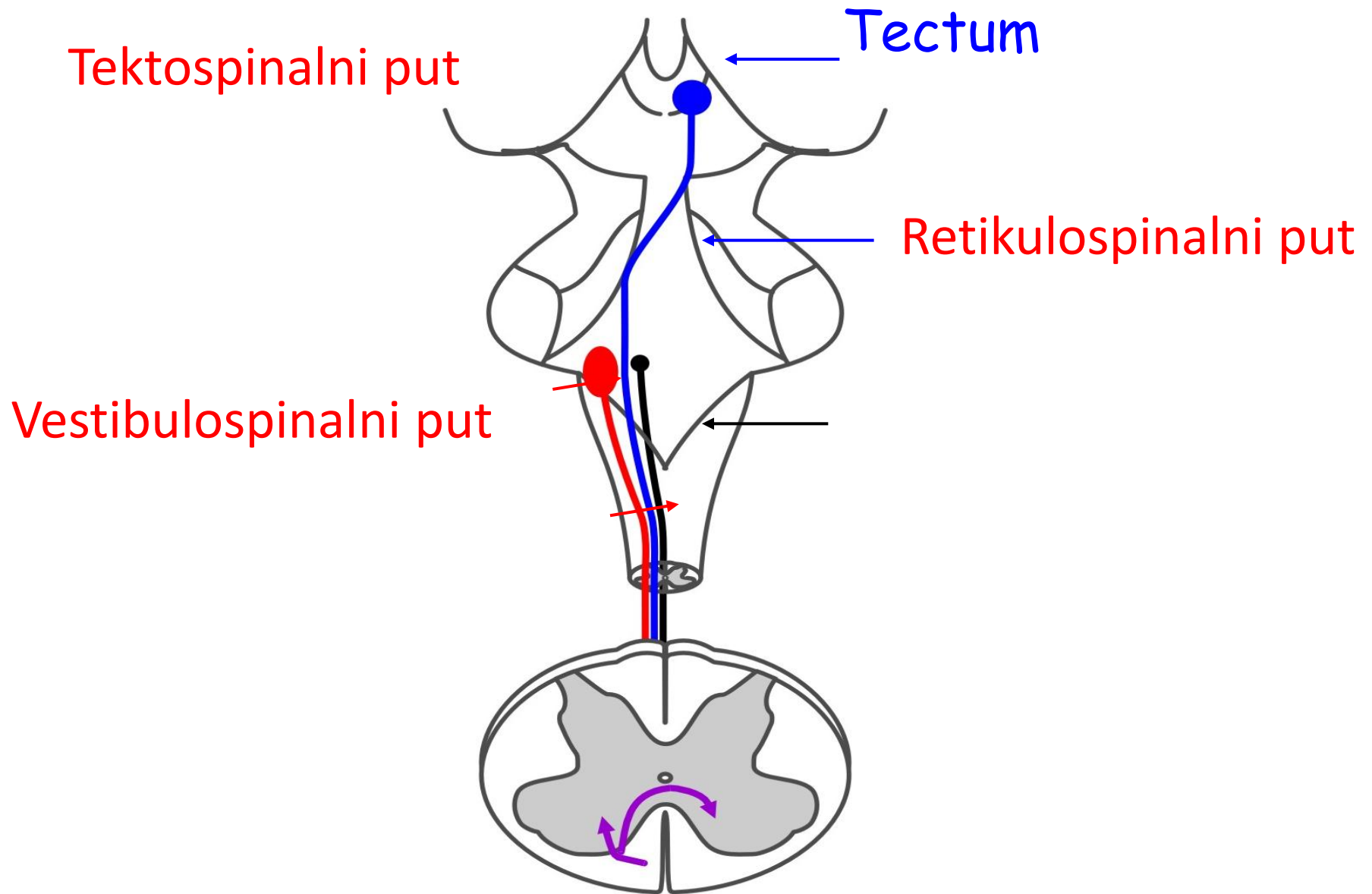


- **Vestibulospinalni put:** informacije iz vestibularnih jedara za refleksnu kontrolu ravnoteže, položaja, tonusa.
- **Tektospinalni put:** iz tektuma, refleksna kontrola položaja glave, vrata (vid, sluh)
- **Medijalni retikulospinalni put:** polazi iz retikularne formacije, odgovoran za održavanje položaja putem aktivacije ekstenzora

Medijalni putevi moždanog stabla

- Bazični posturalni refleksi
- Filogenetski najstariji descedentni motorni putevi
- Pojedinačni aksoni se projektuju na široko i koordiniraju neurone kičmene moždine.
- U ventromedijalnom putu se nalaze interneuroni, propriospinalne ćelije i motoneuroni.
- Utiču na aksijalnu i proksimalnu muskulaturu.

Medijalni putevi moždanog stabla



Vestibulospinalni put

- **Stimulusi iz cerebeluma, vestibularnog aparata i vestibularnih jedara**
- **Inervišu aksijalnu muskulaturu, antigravitacione mišiće, ekstenzore**
- Uloga:
 1. **Kontrola posturalnih refleksa**
 2. **Refleks uspravljanja**
 3. **Kontrola očnih pokreta**

Retikulospinalni put

- Polazi iz različitih neurona retikularne formacije (medularna i pontina retikularna formacija)
- Funkcije:
 - pokreti trupa i udova (okretanje glave kao odgovor na vizuelne, auditorne i somatske stimuluse)
 - refleksna aktivnost
 - **mišićni tonus**

Retikularna formacija moždanog stabla

- Difuzna mreža neurona moždanog stabla koja se prostire od mezencefalona do produžene moždine
- Dva motorna centra retikularne formacije kontrolišu spinalne reflekse:
 1. Pontni retikulospinalni (RS) put
 2. Medularni retikulospinalni (RS) put

- **Pontni RS put razdražuje antigravitacione mišiće** (mišići kičmenog stuba i ekstenzorni mišići udova)
- **Medularni RS put inhibiše antigravitacione mišiće.**

- Medularna retikularna formacija (inhibiše antigravitacione mišice) prima kolaterale iz:
 1. kortikospinalnog trakta
 2. rubrospinalnog trakta
 3. ostalih motornih puteva.
- **Medularna RF se suprotstavlja ekscitacijskim signalima iz pontne RF tako da pod normalnim uslovima mišići nisu patološki napeti.**

Retikularna formacija

- Pontina retikularna formacija prenosi signale kroz pontin retikulospinalni put do motoneurona koji razdražuju aksijalne mišiće tela koji podupiru telo nasuprot zemljinoj teži (mišići kičmenog stuba i ekstenzorni mišići udova).
- Medularna retikularna formacija prenosi inhibicijske signale do istih motoneurona kičmene moždine kroz medularni retikulospinalni put.

Tektospinalni put

- Polazi iz tektuma mezencefalona: gornji i donji kolikuli.
- Završava se na donjim motornim neuronima u kičmenoj moždini.
- Funkcija: podsvesna regulacija položaja očiju, glave, vrata, gornjih ekstremiteta kao odgovor na vizuelni i slušni stimulus.

Decerebrisana rigidnost

- Kada se moždano stablo preseče ispod srednjeg nivoa mezencefalona, ostavljajući neoštećeni pontin i medularni retikularni sistem, kao i vestibularni sistem, životinja razvija stanje nazvano – **decerebrisana rigidnost** (rigidnost antigravitacionih mišića), koja nastaje zbog blokade ulaznih signala iz korteksa, crvenog jedra i bazalnih ganglija i posledične prekomerne aktivnosti pontinog retikularnog sistema -**facilitacija gama motoneurona (gama rigidnost) i vestibulo-spinalnog sistema.**
- **Spastična paraliza, hiperekstenzija u gornjim i donjim ekstremitetima:**
 - ne može da ustane
 - ne može da korača
 - ne može da se uspravi
 - ne može da reguliše temperaturu i endokrine funkcije
- **Decerebracija kod čoveka je često povezana sa komom i spasticitetom ekstenzornih mišića.**

