



FAKULTET ZA SPECIJALNU EDUKACIJU I REHABILITACIJU  
**Medicinska fiziologija - predavanja**

# Senzorni nervni sistem

Doc. dr Maja Milovanović

# Sadržaj prezentacije

- Senzorni receptori
- Somatski osećaji
- Somatosenzorni nervni putevi
- Bol

**SENZORNI RECEPTORI**

# Senzorni receptori

- **Senzorni receptori** su strukture koje odgovaraju na promene kako u unutrašnjem, tako i u spoljašnjem svetu.
- To su **modifikovani** neuroni ili epitelijalne ćelije koje su sposobne da odgovore na stimulus.
- **Pretvaraju** različite forme energije iz spoljašnjeg sveta u receptorski potencijal u aferentnim neuronima.

- Senzorni receptori obezbedjuju ulaz senzornih informacija u nervni sistem (dodir, zvuk, svetlost, bol, hladnoća, toplota).
- **Svaki tip receptora je veoma osetljiv na jednu vrstu draži za koju je stvoren i gotovo je potpuno neosetljiv na normalnu jačinu drugih tipova senzornih draži.**

# Modalitet osećaja

- Svaki od osnovnih tipova osećaja koje doživljavamo (bol, dodir, zvuk...) nazivamo modalitetom osećaja.
- Tip osećaja koji se doživi pri stimulaciji nervnog vlakana određen je **mestom u nervnom sistemu do kojeg to vlakno vodi.**
- Stimulacijom nervnog vlakana za bol, čovek oseća bol bez obzira na to koji tip draži deluje na vlakno.
- Ova specifičnost nervnih vlakana za prenos samo jednog modaliteta osećaja naziva se **principom “označenog puta”**

# Receptorski potencijal

- Svi senzorni receptori imaju jedno zajedničko svojstvo:
  - Bilo koja draž da deluje na receptor njen neposredni efekat se sastoji u promeni membranskog potencijala receptora koji se naziva **receptorski potencijal.**

# Receptorski potencial može nastati na više načina:

- **Mehaničkom deformacijom** receptora koja isteže membranu i otvara jonske kanale;
- Delovanjem **hemijskih supstanci** na membranu receptora koja takodje otvara jonske kanale;
- **Promenom temperature membrane** što remeti propustljivost membrane;
- Uticajem **elektromagnetskih talasa (svetlost)**, što direktno ili indirektno menja karakteristike membrane i dozvoljava jonima da a protiču kroz jonske kanale.



# Senzorna jedinica i receptivno polje

- **Senzorna jedinica** je pojedinačno senzorno (afherentno) nervno vlakno sa svim svojim perifernim granama.
- **Receptivno polje** je određeni region (koža) koju pokriva jedna senzorna jedinica, tj. receptivno polje za jednu senzornu jedinicu je prostor sa koga se generiše receptorski potencijal.

# Receptivno polje i senzorna jedinica

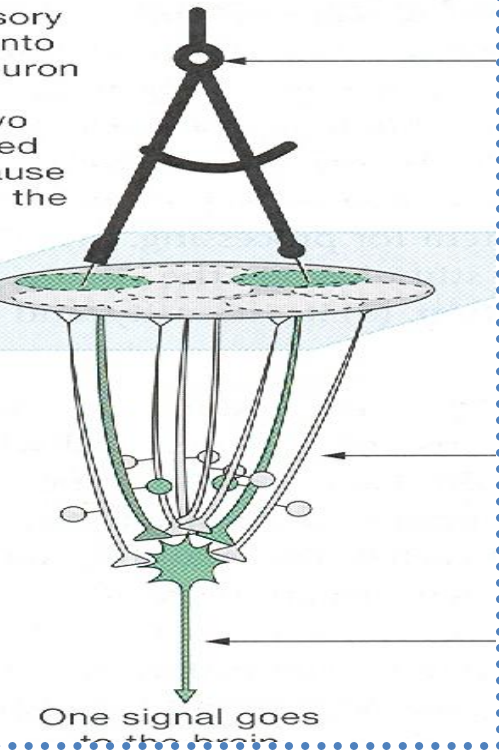
- Prema tome, **jedno receptivno polje je povezano sa jednim primarnim (prvim) senzornim neuronom**, kojim se prenose signali u centralni nervni sistem.

# Receptivno polje i senzorna jedinica

- Malo receptivno polje:
  - Na jagodicama prstiju i usnama, gde je gustina receptora velika.
- Veliko receptivno polje:
  - Na dlanu,  $1\text{cm}^2$  kože jagodice prsta, sadrži oko 2500 mehanoreceptora.
  - Na leđima i nogama.

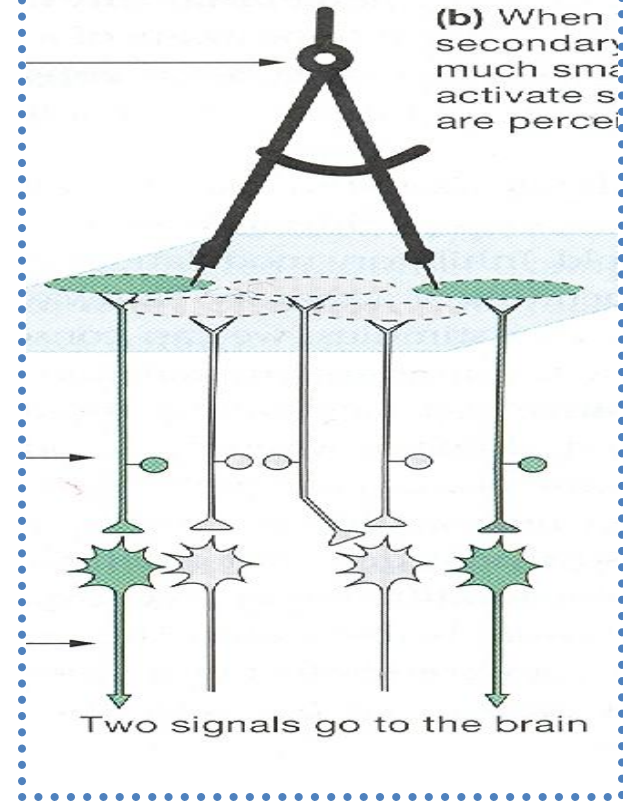
sory  
into  
uron

vo  
ed  
use  
the



**Lateralna inhibicija** je mehanizam kojim se povećava **kontrast** između aktiviranih receptorskih polja i njihovih inaktivnih suseda i na taj način se određuje položaj stimulusa.

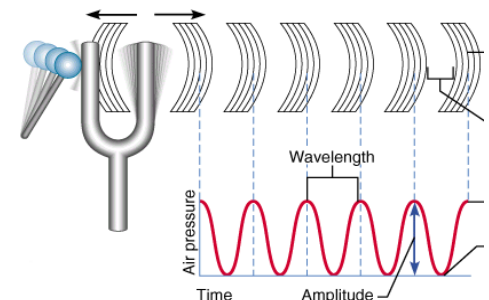
(b) When secondary much smā activate s are perce



**Lateralnom inhibicijom** se pojačava sposobnost mozga da **lokalizuje** senzorni stimulus jer se pravi velika razlika između centralnog dela (ekscitacija) i perifernih (inhibicija) dela stimulisano područja.

# Adekvatna draž

- Draž za koju receptor ima najniži prag aktivacije;
- Receptori su biomehanički pretvarači senzornog stimulusa iz spoljnog sveta (mehanički, hemijski, termički) u gradirane (lokalne potencijale).



# Podela receptora (1)

- **Prema modalitetu draži:**

- Hemoreceptori (ukus, miris, hemijski sastav krvi)
- Mehanoreceptori (dodir, pritisak, vibracija)
- Nociceptori (bol)
- Elektromagnetski (fotoreceptori)

- **Prema mestu receptora:**

- Eksteroreceptori (stimulus sa kože i sluzokože)
- Proprioreceptori (ligamenti, tetive, drugo)
- Visceroreceptori (iz unutrašnjih organa)

# Podela receptora (2)

- **Prema adaptaciji receptora:**
  - Fazički (receptori brzine)
  - Tonički (receptori inteziteta)
- **Prema morfologiji:**
  - Slobodni nervni završeci ( aferentna vlakna)
  - Korpuskuli (slobodni nervni završeci+vezivni omotač)
  - Specijalizovane ćelije (čepići, štapići, makule utrukulusa...

# Receptor – karakteristike stimulusa

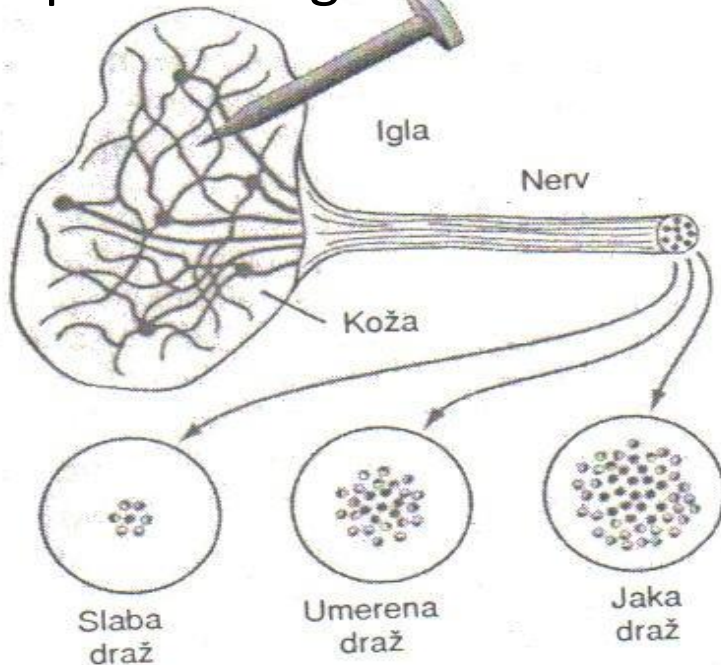
- Svi senzorni receptori određuju **četiri** elementarne karakteristike stimulusa:
  - 1. modalitet**
  - 2. lokaciju**
  - 3. intenzitet**
  - 4. trajanje stimulusa**



# Gradacija intenziteta signala – prostorna i vremenska sumacija

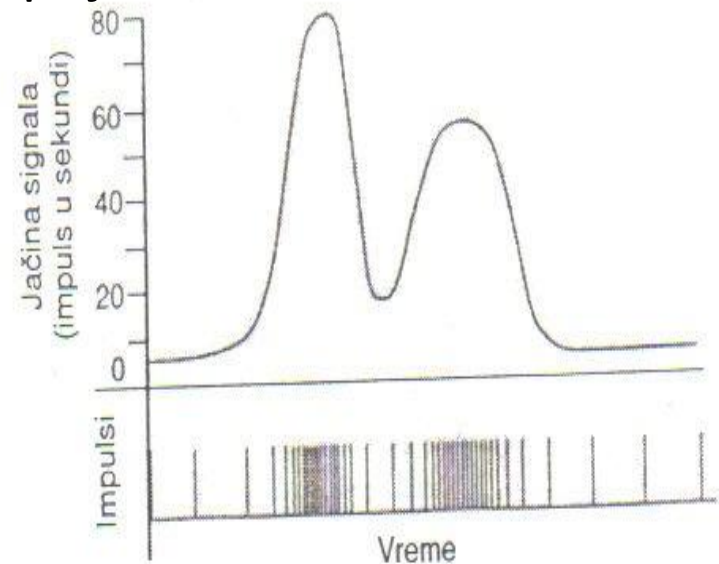
## Prostorna sumacija-uključivanje različitog broja vlakana

- prenos rastuće jačine se obezbeđuje povećavanjem broja vlakana u nervu koja prenose signal



## Vremenska sumacija- menjanje frekvencije AP u jednom vlaknu

- prenos rastuće jačine se obezbeđuje povećavanjem učestalosti odašiljanja nervnih impulsa u svakom pojedinačnom vlaknu



# Adaptacija receptora

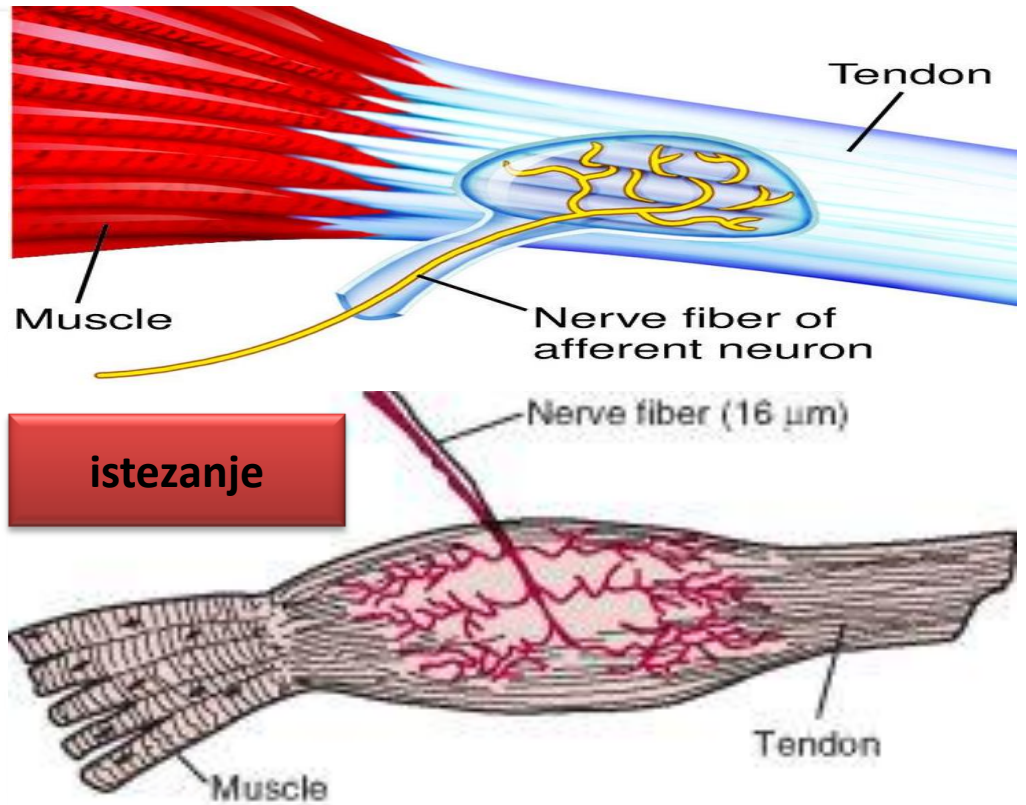
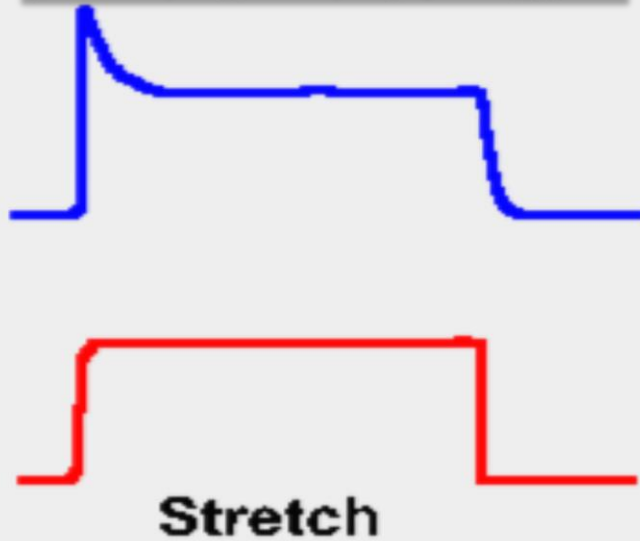
- Tokom primene stalne senzorne draži, u početku nastaje veliki broj impulsa a zatim učestalost impulsa opada, ponekad do potpunog gašenja.
- Svi senzorni receptori imaju sposobnost da se na svaku draž posle izvesnog vremena delimično ili potpuno adaptiraju.
- Najduže izmereno vreme za kompletnu adaptaciju mehanoreceptora iznosi oko dva dana (karotidni i aortni baroreceptori)

# Adaptacija receptora

- Adaptacija nastaje:
  - preraspodelom (promenom) **unutar strukture samog receptora**
  - kao rezultat električnog tipa **prilagođavanja završnog nervnog vlakna (akomodacija)**
- Podela receptora prema brzini adaptacije:
  - **Tonički receptori** - (receptori za brzinu ili pokret) - spora adaptacija.
  - **Fazički receptori** - brza adaptacija

# Tonički receptori

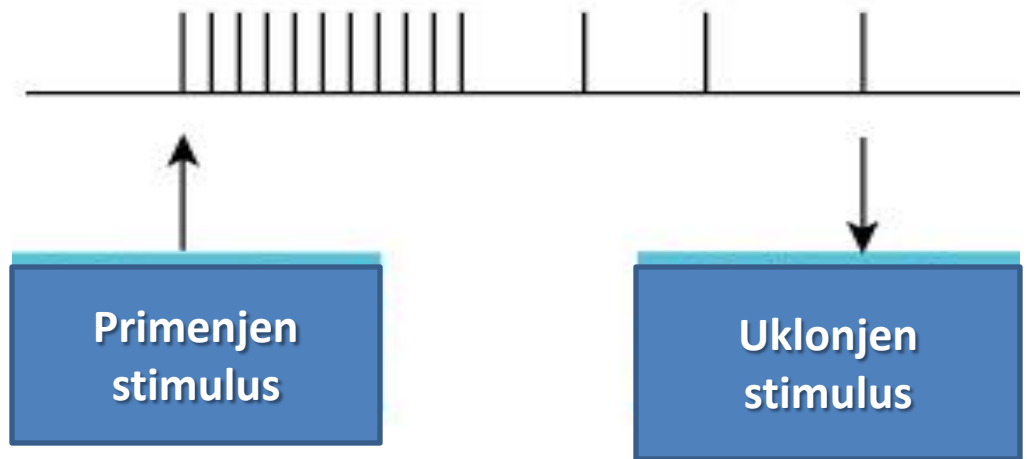
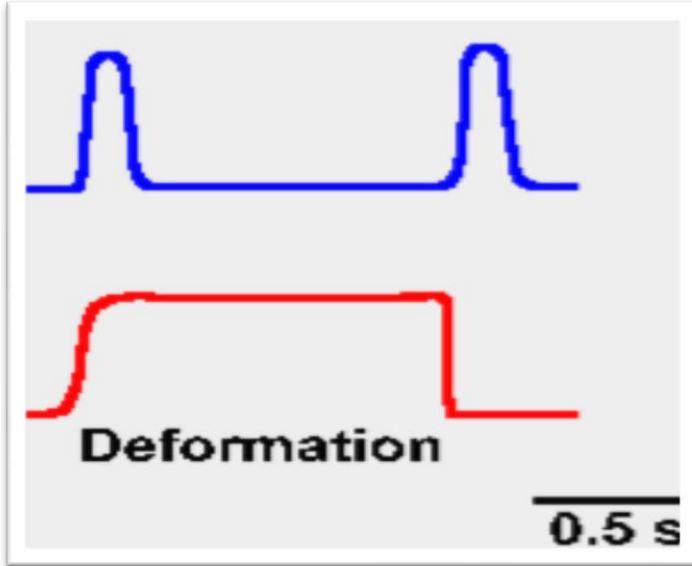
Mišićno vreteno -  
sporoadaptirajuće



- Konstantno izbijanje akcionih potencijala nastaje za sve vreme trajanja stimulusa.
- Ovi receptori se sporo ili se nikada ne adaptiraju

# Fazički "on-off" receptori

Pačini kporpuskul, brza adaptacija



Fazički receptori pomažu telu da ignoriše informacije koje nisu životno važne

**miris** osećamo samo u momentu kada ga nanosimo,  
**odelo** koje ne osećamo kratko posle oblačenja).

# **SOMATSKI OSEĆAJI**

# Podela somatskih senzacija

- **Eksteroceptivne senzacije** koje dolaze sa površine tela
- **Proprioceptivne senzacije** se odnose na fizičko stanje tela:
  - Položaj
  - Pritisak na stopala
- **Visceralne senzacije** koje dolaze iz unutrašnjih organa
- **Duboke senzacije** koje dolaze iz dubokih tkiva kao što su mišići i kosti:
  - Duboki pritisak
  - Bol
  - Vibracije

# Somatski osećaji

Nervni mehanizmi koji sakupljaju senzorne informacije iz tela. Mogu se klasifikovati u tri fiziološka tipa:

## **1. Mehanoreceptivni somatski osećaji:**

1. Dodir
2. Položaj

## **2. Termoreceptivni osećaji:**

1. Toplo
2. Hladno

## **3. Osećaj bola** koji aktivira bilo koji činilac koji oštećuje tkiva.



# **MEHANORECEPTORI**

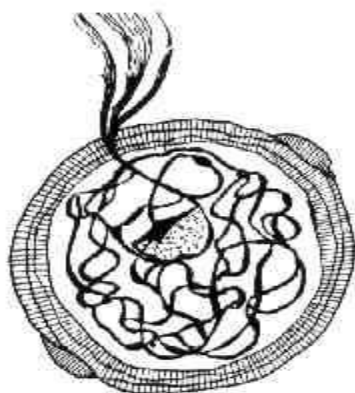
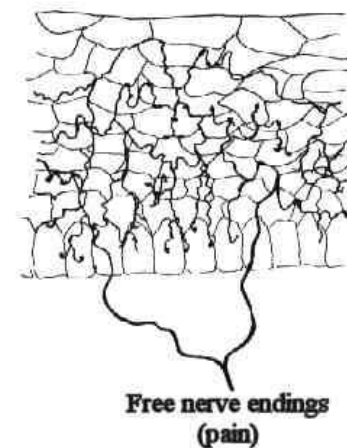
- Iako **dodir, pritisak i vibracija** doživljavamo kao različite osećaje, svi deluju preko **istih tipova receptora**:
  - osećaj dodira uglavnom potiče od stimulacije taktilnih receptora u koži ili tkivu neposredno ispod kože
  - osećaj pritiska obično nastaje usled deformacije dubljih tkiva
  - osećaj vibracije nastaje usled brzog ponavljanja senzornih signala posebno preko onih receptora koji se brzo adaptiraju (Pačinijeva telašca 30-800 ciklusa u sekundi a Majsnerova 2-80).

# Vrste mehanoreceptora

- Slobodni nervni završeci (**A $\delta$**  ili **C** vlakna)
- Korpuskularni u kojima se nalaze **A $\beta$**  vlakna
  - Pačinijeva telašca
  - Majsnerova telašca (u koži bez dlaka)
  - Krauseova telašca
  - Ruffinijeva telašca
  - Merkelove pločice (skup posebnih epiteloidnih ćelija)
  - Receptori oko folikula dlake (u koži sa dlakama)

# KORPUSKULARNI MEHANORECEPTORI u kojima se nalaze A- $\beta$ vlakna

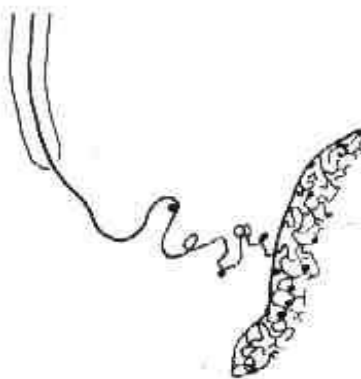
- Pačinijeva
- Majsnerova (u koži bez dlaka) - vibracija
- Krauseova (receptor za hladno)
- Ruffinijeva telašca (dodir, pritisak, položaj zgloba)
- Merkelove pločice - skup posebnih epiteloidnih ćelija (lokalizacija dodira i pritiska)
- receptori oko folikula dlake (u koži sa dlakama)



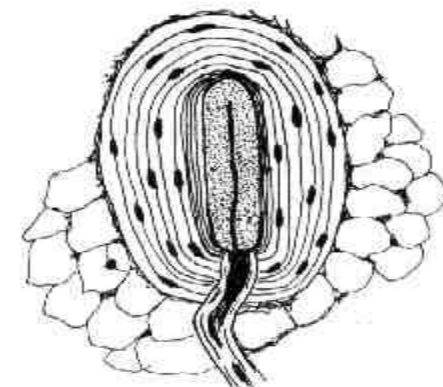
End-bulb of Krause  
(cold)



Meissner's corpuscle  
(tactile)



Ruffini's end organ  
(heat)



Pacinian corpuscle  
(pressure)

# Pačinijevo telašće

- Pačinijevo telašće je inkapsuliran nervni završetak:
  - Nervno vlakno se nalazi centralno i na svom kraju nije mijelinizovano, a okruženo je kapsulom sa multiplim koncentričnim slojevima tako da kompresija spolja na bilo kom mestu telašca deformiše centralno nervno vlakno.
- Deformacija nervnog vlakna dovodi do otvaranja jonskih kanala za natrijum što izaziva lokalnu depolarizaciju tj. **receptorski potencijal**.
- Nastao receptorski potencijal indukuje lokalni krug struje koji se širi do prvog Ranvijerovog čvora gde, ako je dostignut prag, okida akcioni potencijal.

# Mehanoreceptori

(Majsnerovo, Merkelovo, Pačinijevo telašce)

- Aktivni su u vreme promene položaja i odgovaraju na stimulus velikom frekvencijom akcionih potencijala, receptori za brzinu, pokret ili fazički receptori.
- Kada koža neko vreme ostane u istom položaju ti receptori prestanu da reaguju (brza adaptacija).

# Način prenosa različitih informacija

- Brza nervna vlakna (mijelinizovana):
  - Precizniji tipovi informacija (tačna lokalizacija na koži, trenutna gradacija intenziteta, ili brze promene)
- Spora nervna vlakna (nemijelinizovana)
  - Grublji tipovi signala (pritisak, loše lokalizovan dodir golicanje).

# Fiziološka klasifikacija i funkcija nervnih vlakana

---

## *Mijelinska*

Grupa I	A $\alpha$	10 - 20	70 - 120
Grupa II	A $\beta$	5 - 12	30 - 70
	A $\gamma$	3 - 6	15 - 30
Grupa III	A $\delta$	2 - 5	12 - 30
	B	< 3	3 - 15

## *Nemijelinska*

Grupa IV	C	0.1 - 1.5	0.5 - 2
----------	---	-----------	---------

---



# Osećaj položaja – proprioceptivni osećaji

- 1. Osećaj statičkog položaja** (propriocepcija – svest o položaju različitih delova tela u odnosu na druge delove tela).
- 2. Osećaj brzine kretanja** (kinestezijska ili dinamička propriocepcija)
  - **Različiti tipovi receptora** pomažu pri određivanju ugla pod kojim se nalaze zglobovi;
    - Receptori za dodir u koži – kožni eksteroreceptori;
    - Mišićna vretena - za određivanje ugla zgloba u pokretu;
    - Pri ekstremnom savijanju zgloba koriste se proprioceptori u zglobnim čaurama i ligamentima (Pačinijeva telašca, Ruffinijevi završeci, Goldžijevi tetivni receptori)

# **TERMORECEPTORI**

# Osećaj toplote

- Ljudi mogu da osete i razlikuju različite stepene hladnoće i toplote.
- Termalne gradacije se razlikuju pomoću bar tri tipa senzornih receptora:
  - **Receptori za hladno**
  - **Toplo**
  - **Bol (slobodni nervni završeci).**
- Uglavnom postoji tri do deset puta više receptora za hladno nego za toplo.
- Vlakna za toplo su vlakna tipa C (0.4-2m/s) a za hladno A $\delta$  (20m/s) ali se neki osećaji hladnog prenose i vlaknima tipa C.
- **Termički receptori se adaptiraju ali ne u potpunosti** – kada temperatura kože naglo pada, čovek oseća da mu je mnogo hladnije nego kada neko vreme temperatura ostaje na istom nivou (isto i za toplo).

- Obično se termički signali prenose u skoro paralelnim putevima kao i signali za bol.
- Uklanjanje primarne somatosenzorne kore mozga smanjuje ali ne uništava sasvim sposobnost ljudi da razlikuju gradacije temperature.

**NOCICEPTORI (RECEPTORI ZA BOL)**

# Receptori za bol (A $\delta$ i C)

- Bol je senzacija koja je karakteristična po grupi neprijatnih osećaja i aktivira somatomotorni odgovor.
- Bol je neprijatno senzorno i emocionalno iskustvo povezano sa aktuelnim ili potencijalnim oštećenjem tkiva.
- **Nocicepcija:** nesvesna aktivnost, nastala štetnim stimulusom koji je primenjen na receptoru”

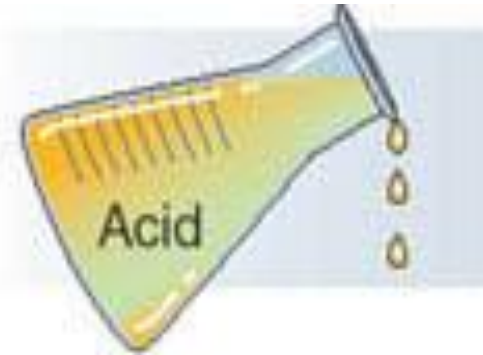
# Receptori za bol (A $\delta$ i C)



mehanički  
nociceptori  
odgovaraju na jak  
pritisak



termički nociceptori  
se aktiviraju na  
temperaturi preko  
45°C ili na jakoj zimi,



hemijski nociceptori  
odgovaraju na razne  
supstance (bradikinin,  
histamin, aciditet),

**Nociceptori su slobodni završeci C nervnih vlakana koji reaguju na raznolike snažne mehaničke, hemijske ili termičke podražaje.**

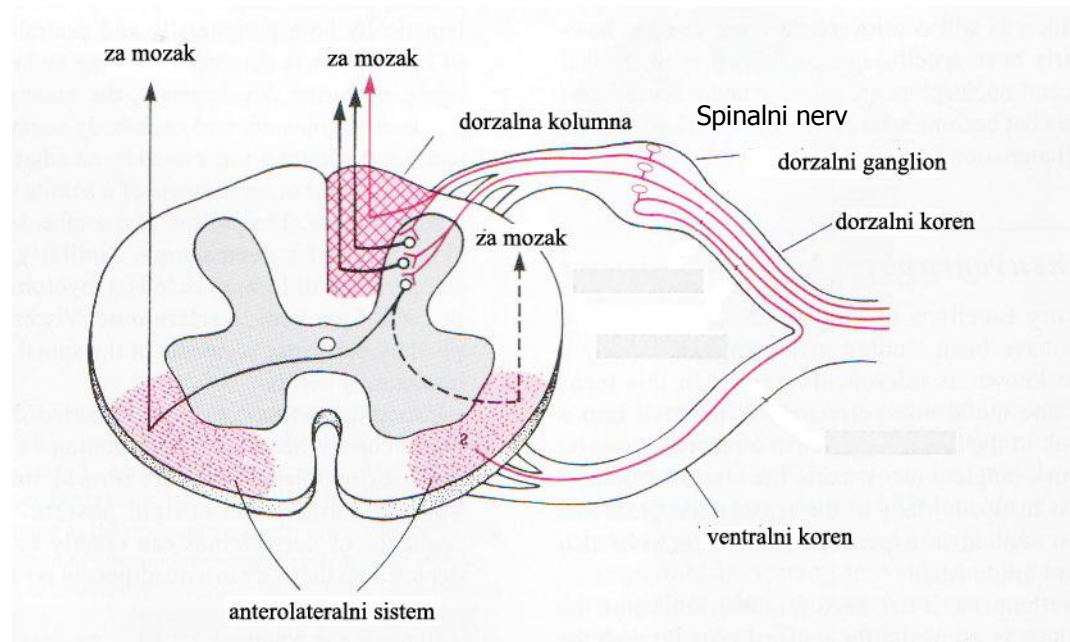
# **SOMATOSENZORNI NERVNI PUTEVI**





**Lokalizacija i percepcija  
stimulusa sa periferije**

- Gotovo sve senzorne informacije iz somatskih segmenata tela ulaze u kičmenu moždinu kroz dorzalne korenove spinalnih nerava i prenose se do mozga jednim od dva senzorna puta:
  - 1. Sistemom dorzalne kolumne – medijalnog lemniskusa: signali iz mehanoreceptora**
  - 2. Anterolateralnim sistemom – spinotalamičkim putem: signali iz termoreceptora i nociceptora**
- Ova dva sistema se delimično spajaju na nivou talamusa.

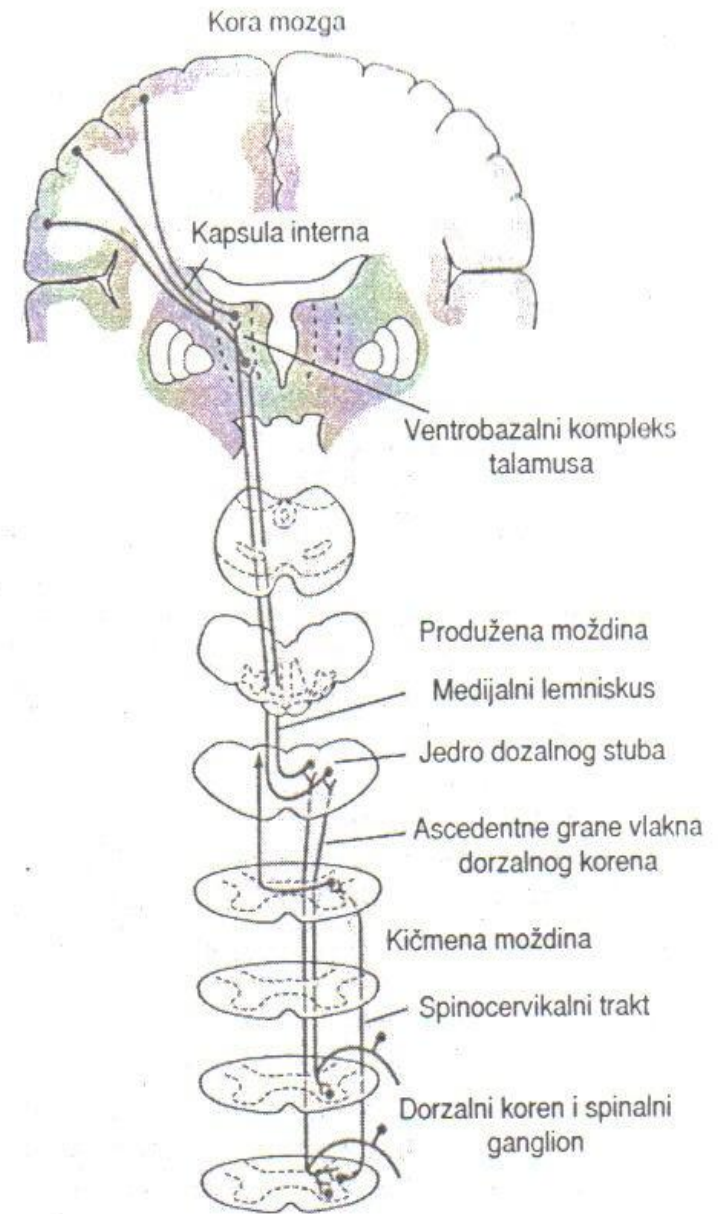


# Sistem dorzalne kolumne i medijalnog lemniskusa

- Ovim putem se prenosi:
  - Osećaj **dodira** sa visokim stepenom **lokalizacije**,
  - Osećaj **dodira** koji zahteva prenošenje finih **gradacija intenziteta**
  - **Vibracije**
  - Senzacije koje označavaju **kretanje po koži**
  - **Osećaj položaja i osećaj pritiska** koji se odnosi na finu procenu intenziteta pritiska.
- Sastoji se od velikih mijelinizovanih vlakana (30 – 110 m/s).

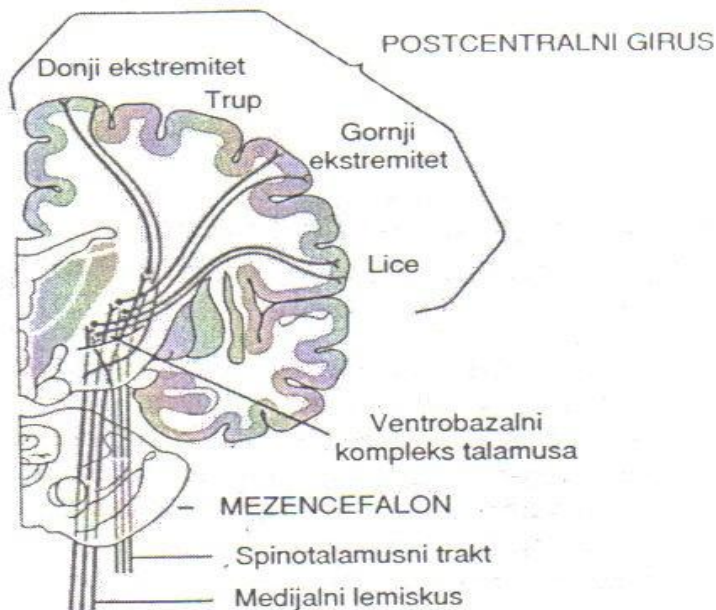
# Sistem dorzalne kolumne ili lemniskus medijalis

- Nervna vlakna koja ulaze u dorzalne stubove (kolumne) neprekinuta idu do **produžene moždine (vlakna prvog reda),** gde stvaraju sinapse u jedrima dorzalnih kolumni (**nucleus cuneatus i gracilis**).
- U produženoj moždini se produžeci neurona drugog reda prebacuju na **suprotnu stranu** i nastavljaju naviše do talamusa kroz puteve koji se nazivaju **medijalni lemniskusi**.
- Svakom medijalnom lemniskusu se pridodaju vlakna iz **senzornog jedra trigeminalnog nerva** (imaju istu senzornu funkciju za glavu kao vlakna dorzalnih stubova za telo).

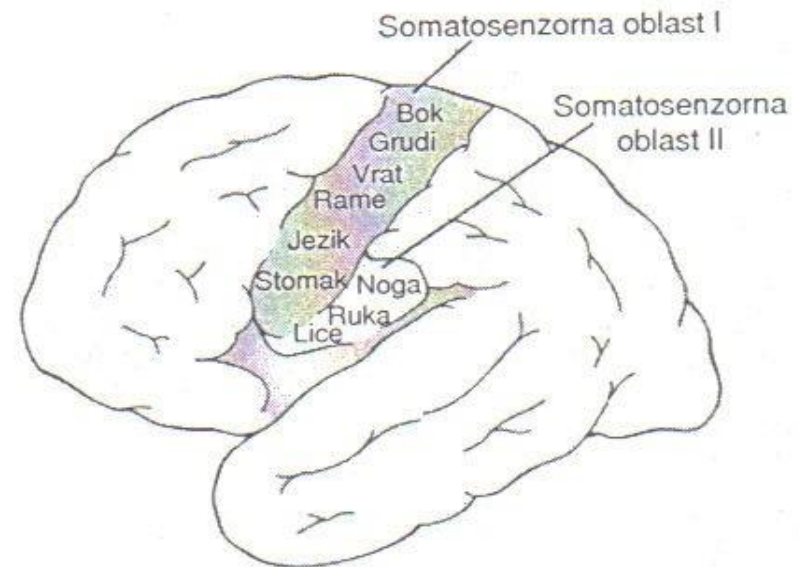


*Sistem dorzalne kolumne – lemniskus medijalis*

- U **talamusu** se vlakna medijalnog lemniskusa završavaju u jedrima **ventrobazalnog kompleksa**, odakle idu projekcije neurona trećeg reda do **somatosenzornog područja moždane kore**



*Projekcija sistema dorzalne kolumne – lemniskus medijalisa kroz talamus do somatosenzorne kore*

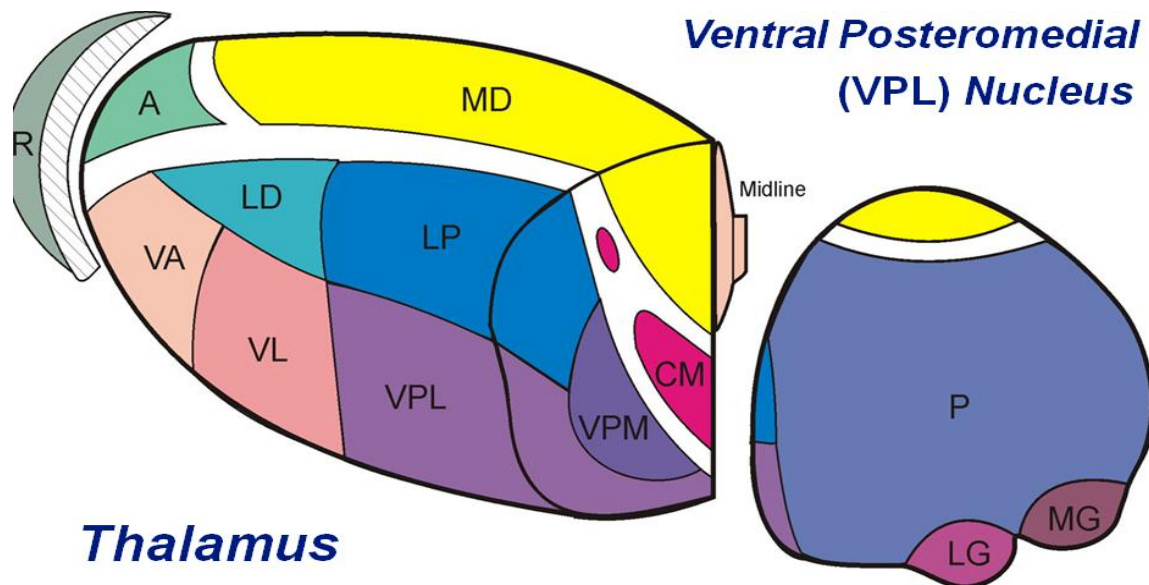


*Dve somatosenzorne oblasti kore*

# Talamus

Struktura međumozga (diencefalona) koja ima ulogu velikog levka kroz koji prolaze svi aferentni putevi sa periferije, to je relejno jedro, stanica pre kore mozga za sve sekundarne senzorne neurone osim olfaktornog.

Dominantna uloga u **percepciji bola i temperature.**



Iz talamusa kreću neuroni trećeg reda do somatosenzorne kore mozga.

# Karakteristike sistema dorzalne kolumne-medijalnog lemniskusa

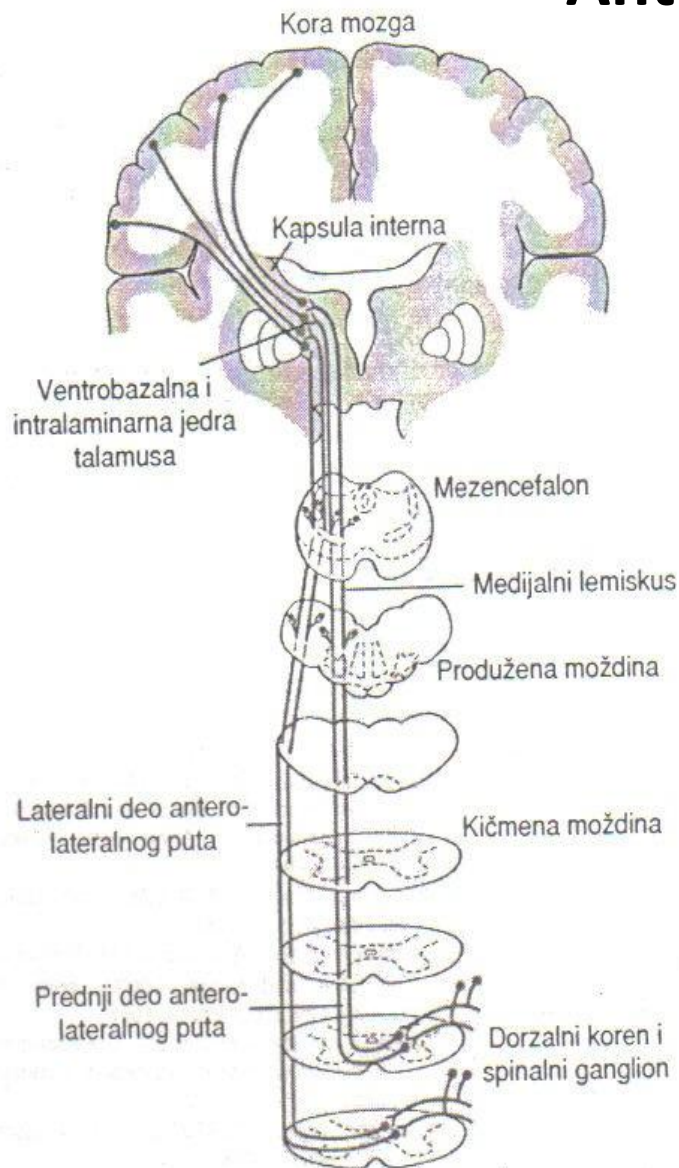
- **Prostorna orijentacija vlakana** iz pojedinih delova tela koja se održava celom dužinom sistema:
  - Vlakna iz donjih delova tela nalaze se u centru
  - Vlakna koja ulaze u kičmenu moždinu na progresivno višim segmentima formiraju slojeve bočno.
- Zbog **ukrštanja medijalnih lemniskusa u produženoj moždini**:
  - leva strana tela je predstavljena u desnoj strani talamusa
  - desna strana je predstavljena u levoj strani talamusa.

# Anterolateralni sistem (spinotalamički put)

- Prenosi signale koji ne iziskuju visoko preciznu lokalizaciju izvora signala, niti razlikovanje finih promena intenziteta:
  - **Bol**
  - **Termičke senzacije**
  - **Osećaj grubog dodira i pritiska sa grubom lokalizacijom na površini tela**
  - **Svrab**
  - **Golicanje**
  - **Seksualne senzacije**
- Brzina prenošenja signala je 8 – 40 m/s (1/3 do 1/2 od brzine u sistemu dorzalne kolumne)



# Anterolateralni put (spinotalamički put)



- Signali anterolateralnog sistema, posle ulaska u kičmenu moždinu kroz dorzalne korenove stvaraju sinapse u **dorzalnim rogovima kičmene moždine**, te nakon toga **prelaze na suprotnu stranu** i penju se kroz prednje i bočne stubove bele mase (tanja vlakna, brzinom do 40m/s).
- Završavaju se na **svim nivoima moždanog stabla i u talamusu**.
- Postoje dva spinotalamička puta:
  - **Lateralni spinotalamički put**
  - **Spinoretikularni put**

# Lateralni spinotalamički put ( $A\delta$ ) (neospinotalamički)

- **Prenos bola i temperature (toplo, hladno)** i zadržava topografski raspored u talamusu i moždanoj kori.
- Prenos brzog, oštrog bola vlaknima  $A\delta$

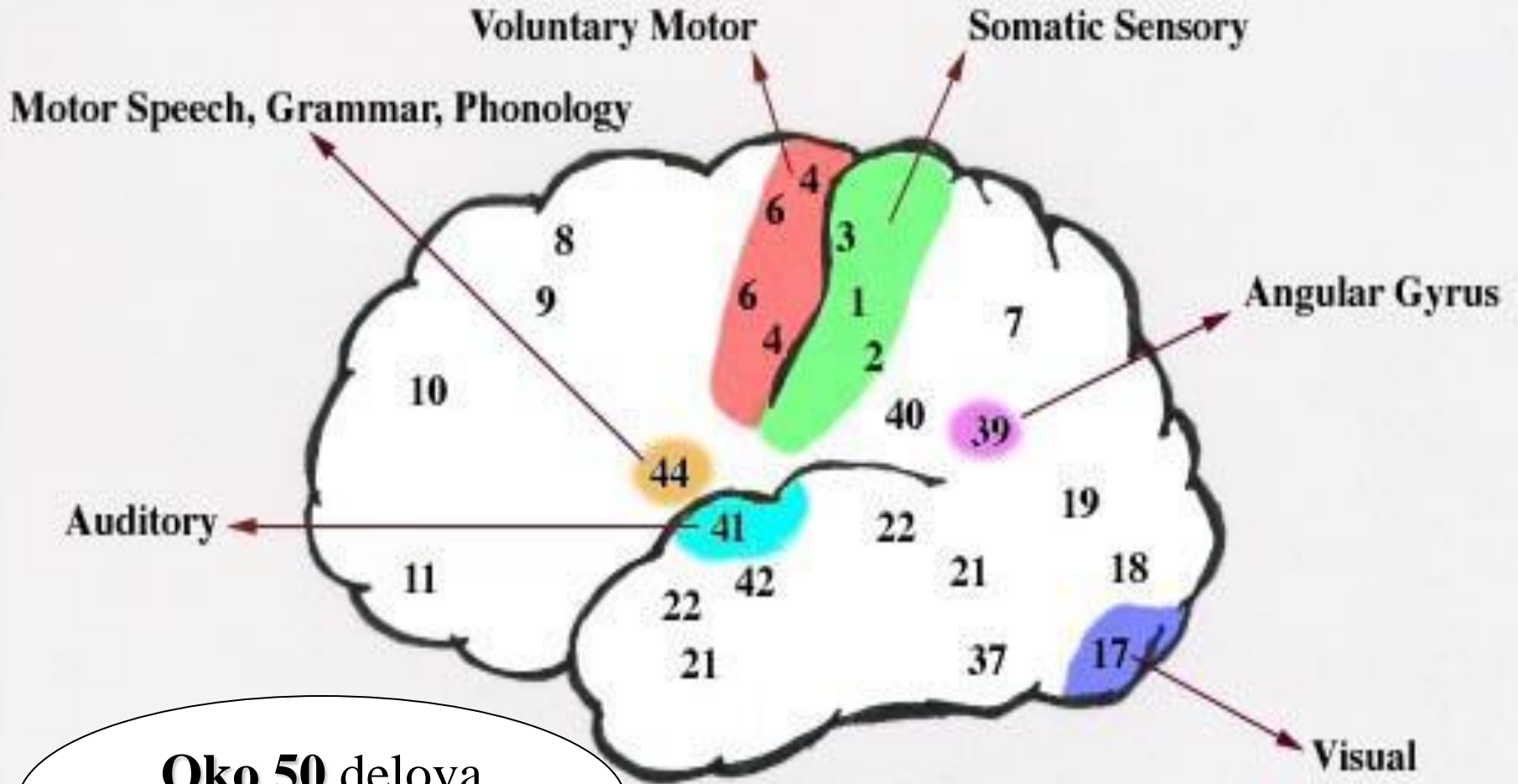
# Spinoretikularni put (C) (paleospinotalamički)

- **Prenos sporog bola** vlaknima **C**
- Ulazi kroz anterolateralni funikul, ali je obostran (ima i ukrštena i istostrana vlakna) i završava **u retikularnoj formaciji moždanog stabla**.
- Ova vlakna sadrže brojne neuropeptide, **supstancija P** koja prenosi i uzrokuje pojavu **sporih EPSP** (mada se sekretuje i glutamat).

# Senzorna kora mozga

- Moždana kora je podeljena na oko 50 različitih oblasti, koje se nazivaju Brodmanovim poljima na osnovu histoloških razlika.
- Brodmanova polja 1,2 i 3 odgovaraju **primarnom somatosenzornom području (SSPI)** (zauzimaju predeo odmah iza centralnog žleba – girus postcentralis).

# BRODMANN'S CLASSIFICATION SYSTEM

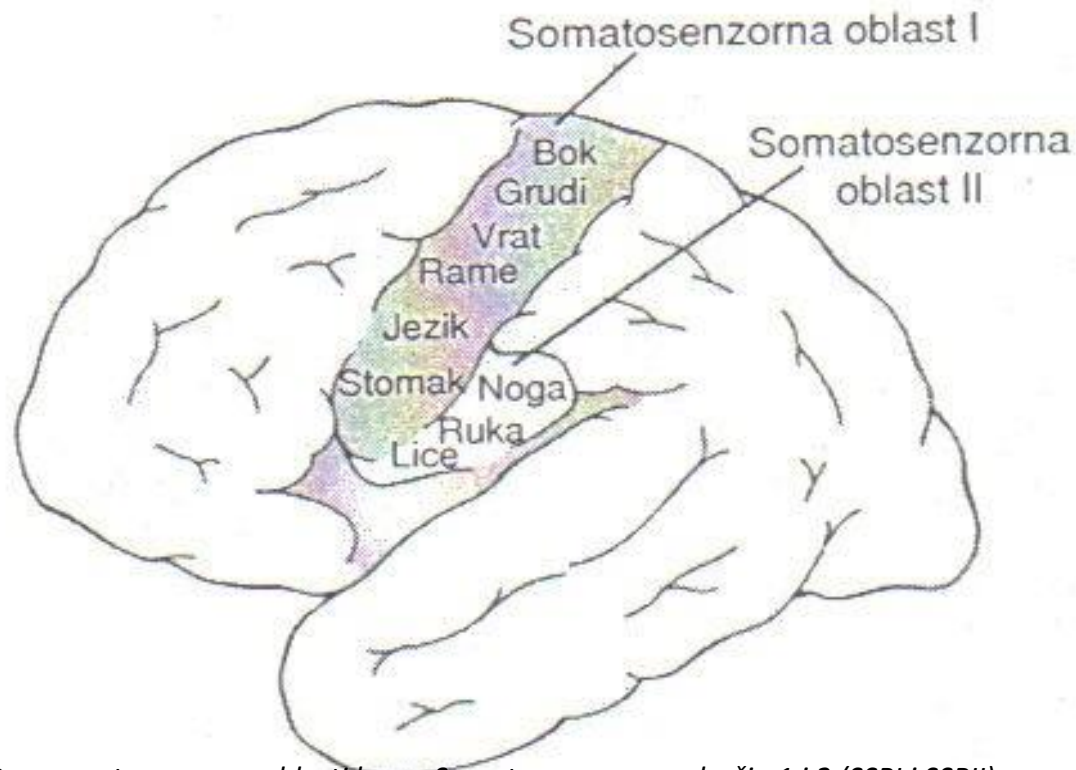


**Oko 50 delova**  
**Prema citoarhitektonici**

*Mapa moždane kore čoveka – Brodmanova polja. Zapazite centralni žleb koji se širi centralno horizontalno kroz mozak.*

WALTER CRANE

- Primarna somatosenzorna kora ima visok stepen lokalizacije za različite delove tela
- Sekundarna somatosenzorna kora ima slabiji stepen lokalizacije, mada grubo, lice je predstavljeno anteriorno, roke centralno a noge posteriorno.



*Dve somatosenzorne oblasti kore . Somatosenzorna področja 1 i 2 (SSPI i SSPII)*

# Primarna somatosenzorna kora

- SSPI leži neposredno iza centralne fisure u postcentralnom girusu u Brodmanovim poljima 3, 1 i 2.
- Svaka strana kore prima senzorne informacije isključivo iz suprotne strane tela
- Neke oblasti tela predstavljene su velikim površinama u somatskoj kori (površina za usne je najveća od svih, a zatim slede površina za lice i palac), dok su celokupni trup i donji deo tela predstavljeni relativno malim površinama.
- **Površina** SS dela korteksa je proporcionalna **BROJU RECEPTORA** iz tog dela tela.
- Posledica **somatotopne** prezentacije je da svaki neuron primarne SS kore ima odgovarajuće **RECEPTIVNO POLJE NA POVRŠINI TELA** i da je većina tih neurona povezana s tačno određenom vrstom mehanoreceptora.

# Funkcije somatosenzorne kore

Uklanjanje obostrane somatosenzorne kore uzrokuje gubitak sledećih tipova senzorne procene:

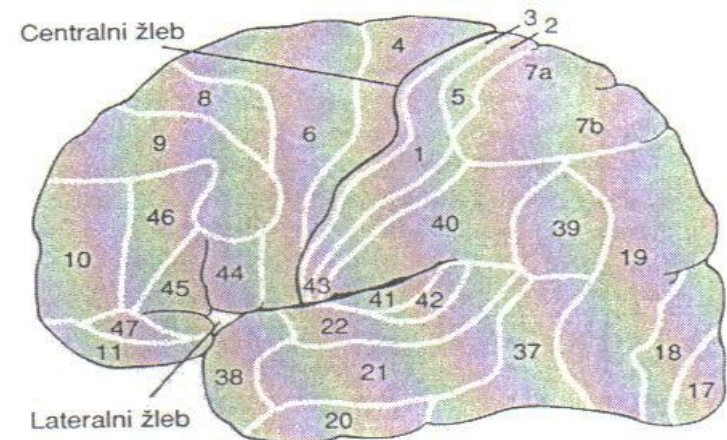
- Osoba nije u stanju da izolovano lokalizuje različite senzacije u različitim delovima tela (mogu se lokalizovati vrlo grubo).
- Nije u stanju da kritički proceni stepene pritiska na telo.
- Nije u stanju da tačno proceni težinu predmeta.
- Nije u stanju da tačno proceni oblik ili formu predmeta (asterognozija)
- Nije u stanju da proceni kvalitet materijala.
- Osećaji bola i temperature nastaju ali su loše lokalizovani (lokalizacija zavisi od topografske mape tela u SSPI).



- Kod **oštećenja parijetalnog režnja kao i somatosenzorne asocijativne oblasti** smanjuje se sposobnost ili je nemoguće prepoznavanje predmeta.
- Testovi za ispitivanje **kortikalnog senzibiliteta** se izvode zatvorenih očiju.
  - **Stereognozija**: sposobnost opažanja i prepoznavanja oblika dodirom (**astereognozija** je gubitak ove funkcije),
  - **Barognozija**: sposobnost opažanja i procene težine,
  - **Grafestezija**: sposobnost opažanja i prepoznavanja napisanih reči na koži,
  - **Autotopognozija**: sposobnost opažanja tela u prostoru i svesnosti delova tela

# Somatosenzorne asocijacione oblasti

- Brodmanova polja 5 i 7 igraju važnu ulogu u dešifrovanju senzornih informacija koje ulaze u SSP.
- SSAO kombinuje informacije pristigle **iz više tačaka** primernog SSP da bi dešifrovala njihovo značenje.
- SSAO prima signale iz SSP, ventrobazalnih jedara talamusa, drugih oblasti talamusa, vidne kore i auditivne kore.

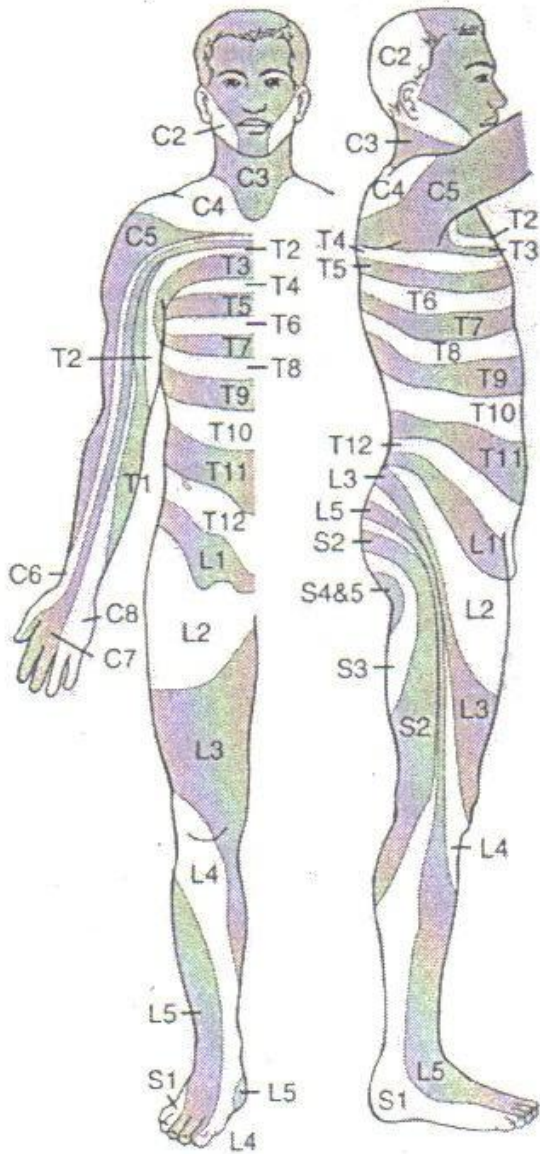


- **Kortikofugalni signali** – idu iz kore do nižih senzornih releja:

- Talamusa
- Produžene
- kičmene moždine;

- Inhibicijski su tako da smanjuju transmisiju u relejnim jedrima.

- **Segmentna polja osećaja – dermatomi** – svaki spinalni nerv inervira jedno segmentno polje kože koje se naziva dermatom. Mapa dermatoma može se koristiti za utvrđivanje nivoa lezije kičmene moždine.



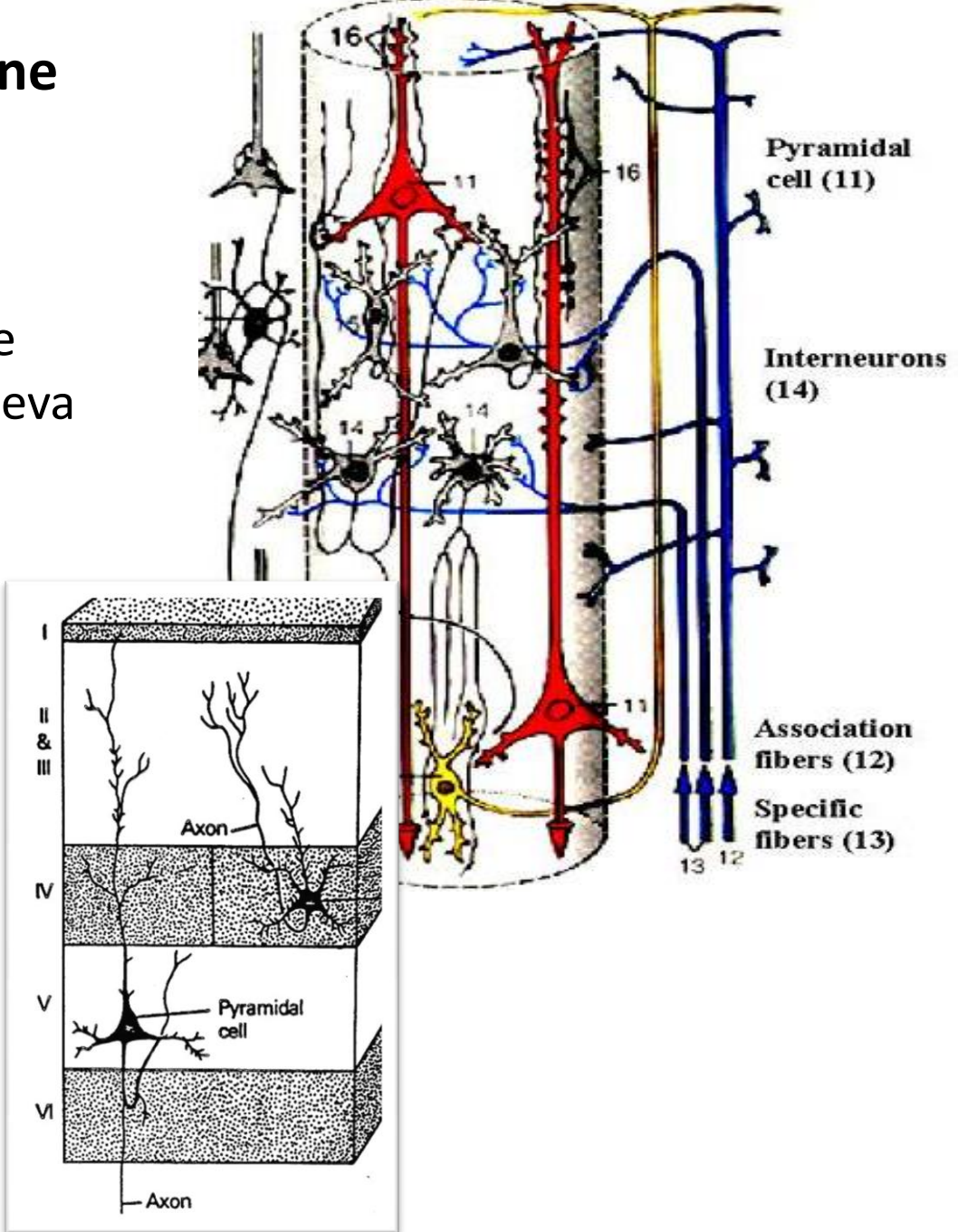
Dermatomi

# Histološka organizacija primarne somatosenzorne kore

Neuroni su raspoređeni u vertikalne stubiće **kolumne** (kroz svih šest slojeva moždane kore) i analiziraju specifičnu vrstu mehaničkog podražaja.

Kolumna obuhvata 6 slojeva, 1000 ćelija

Horizontalna organizacija – **lamine**.



Osnovna morfološka i funkcionalna jedinica korteksa

- Senzorni signal ulazeći ekscitira uglavnom prvo **neuronski sloj IV**; zatim se širi ka površini, kao i prema dubljim slojevima kore.
- Slojevi I i II primaju difuzne, nespecifične poruke iz nižih moždanih centara koje facilitiraju specifične regione kore (ovi signali uglavnom **kontrolišu ukupni nivo ekscitabilnosti** u stimulisanoj regiji)
- Neuronu u slojevima II i III šalju aksonu u srodne delove moždane kore, uključujući suprotnu stranu mozga kroz korpus kalozum
- Neuronu u slojevima **V i VI šalju aksonu u dublje delove nervnog sistema (iz V u bazalne ganglije, moždano stablo i kičmenu moždinu a iz VI veliki broj aksona ide do talamusa)**. Ovi aksoni obezbeđuju da signali iz moždane kore povratnim vezama reaguju sa drugim senzornim signalima koji ulaze u dublje delove nervnog sistema.

**BOL**

# Osećaj bola

Bol je zaštitni mehanizam – javlja se kada postoji oštećenje tkiva.

Klasifikuje se na:

- **brzi bol** koji nastaje u roku od 0,1 sekunde posle bolnog nadražaja (oštri bol, akutni bol, bol uboda i električni bol) – visok stepen prostorne lokalizacije
- **spori bol** koji nastaje posle sekunde ili kasnije a zatim se pojačava (bol pečenja, pulzirajući bol, potmul bol, mučni bol, hronični bol) - nizak stepen prostorne lokalizacije

# Receptori za bol

- **Receptori za bol su slobodni nervni završeci** – nalaze se u potkožnom tkivu i u nekim unutrašnjim tkivima (zidovi arterija, periosteum, površina zglobova, falks i tentorijum lobanje).
- Bol mogu izazvati:
  - **Mehanički**
  - **Termički**
  - **Hemijski bolni stimulusi.**
- Brzi bol se izaziva mehaničkim i termičkim stimulusima
- Spori bol se može izazvati svakim tipom stimulusa.
- Neke od hemijski supstanci koje izazivaju hemijski tip bola su: bradikinin, serotonin, histamin, joni kalijuma, kiseline, acetilholin i proteolitički enzimi. Prostaglandini i supstanca P pojačavaju osetljivost završetaka za bol ali ne izazivaju bol direktno.
- **Receptori za bol se ne adaptiraju (može suprotno – hiperalgezija) – tonički receptori.**



# Putevi za prenošenje bola

Postoje dva odvojena puta za prenošenje bolnih signala:

**put brzog-oštrog bola**

**put sporog-hroničnog bola**

- Periferna nervna vlakna:
  - **brzi bol prenose vlakna tipa A $\delta$**  (6-30m/s) - glutamat
  - **spori bol prenose vlakna tipa C** (0.5-2m/s) – glutamat i supstanca P
- **Dupli osećaj bola** (brzi bol, oštri, probadajući, se prvo oseti a zatim sledi spori duži bol, žareći bol, koji može da se postepeno pojačava).

Prenošenje signala brzog i sporog bola kroz kičmenu moždinu na putu ka mozgu

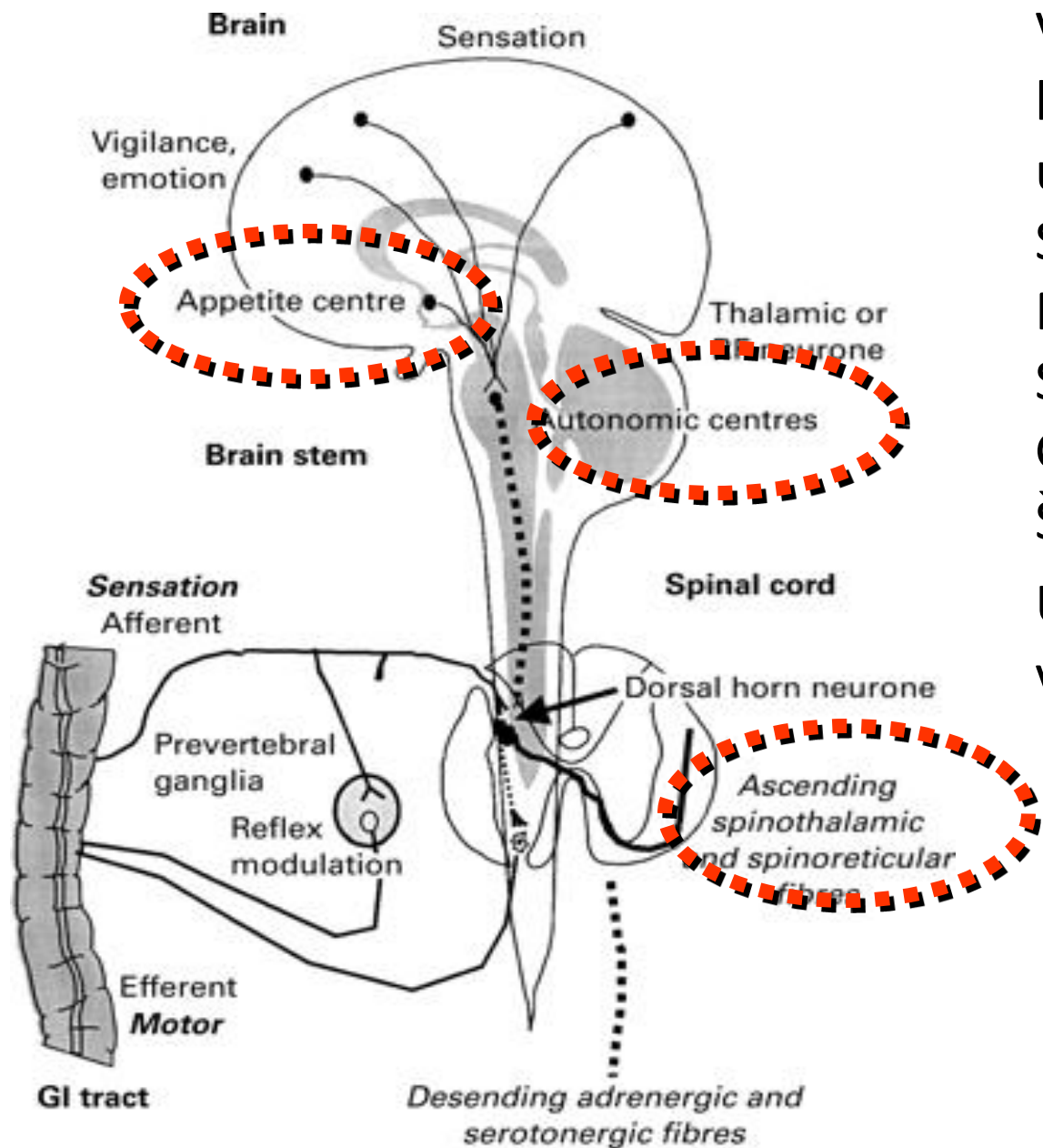
Kada uđu u kičmenu moždinu signali bola se kreću različitim putevima ka mozgu:

- 1. Lateralni spinotalamički put - Neospinotalamusni put za brzi bol**
- 2. Spinoretikularni put - Paleospinotalamusni put za spori bol**

# Podele bola

- **AKUTNI (FIZIOLOŠKI) BOL:** povrede tkiva, nestaje ozdravljenjem, traje kraće od tri meseca, prisutna je simpatička stimulacija. Služi kao protektivni refleks izbegavanja
- **HRONIČNI (PATOLOŠKI) BOL:** inflamatorni i neuropatski bol („loš bol“, traje dugo nekoliko meseci).
- **SOMATSKI:** (Somatska inervacija senzitivnim vlaknima spinalnih i kranijalnih n.)
  1. **POVRŠNI**
  2. **DUBOKI (KOSTI I MIŠIĆI, TETIVE):** loše lokalizovan, povezan sa povećanjem pritiska, mučninom i znojenjem
- **VISCERALNI:** iz različitih unutrašnjih organa abdominalne i grudne duplje, difuzni (ishemija i inflamacija).

# VISCERALNI BOL



Visceralni nocioptori su lokalizovani u organima i unutrašnjim šupljinama **SLABO LOKALIZOVAN, NEPRIJATAN I POVEZAN SA MUČNINOM, GAĐENJEM....**

Širi se u druge regije

Uključuju se visceralna, vegetativna vlakna

SEKUNDARNI NEURON SE VEZUJE SA: AUTONOMNIM CENTRIMA I CENTRIMA ZA GLAD. ZA TREĆE NEURONE KOJI SU ZADUŽENI ZA EMOCIONALNI ODGOVOR (LIMBIČKI SISTEM) I SVEST (SENZORNI KORTEKS)

# Projektovani bol

- Čovek često oseća bol u delu tela koji je znatno udaljen od tkiva koje taj bol izaziva. Taj bol se naziva projektovan bol.
- Mehanizam projektovanog bola najverovatnije se događa tako što grane visceralnih vlakana za bol stvaraju sinapse u kičmenoj moždini sa nekim od neurona drugog reda koji primaju vlakna za bol iz kože, pa se bolni signali iz unutrašnjih organa provode kroz neke od istih neurona koji provode signale bola iz kože – čovek zato ima osećaj da bol potiče iz same kože.

# Sistem analgezije

Stepen na kome čovek reaguje na bol se razlikuje zbog sposobnosti samog mozga da vrši supresiju ulaska signala bola u nervni sistem, aktivacijom sistema za kontrolu bola koji se naziva sistem analgezije.

- 1. periakveduktalne sive mase i periakveduktalnih oblasti mezencefalona i gornjeg dela ponsa oko Silvijusovog akvedukta i delova oko treće i četvrte komore.**

*inhibira prenos informacija kroz aferentne puteve za bol.*

- 2. nukleusa raphe magnusa u donjem ponsu i gornjem delu medule i nukleusa retikularisa paragigantocelularisa u lateralnoj meduli.**

*inhibiraju nociceptivne neurone dorzalnog roga.*

- 3. inhibicijskog kompleksa za bol koji se nalazi u dorzalnim rogovima kičmene moždine (signal bola se inhibira i pre nego što se prenese do mozga)**

*Uključeni u modulaciju prenosa*

# Neurotransmiteri analgezije

Nekoliko različitih transmitterskih supstanci je uključeno sistem analgezije:

- Serotonin

- Enkefalini ( $\beta$ -endorfin, met i leu enkefalin i dinorfin).

Dva enkefalina su nađena u moždanom stablu i kičmenoj moždini a  $\beta$ -endorfin u hipotalamusu i hipofizi. Dinorfin je nadjen u manjoj meri u oblastima u kojima se nalaze enkefalini