

Nn. craniales, moždani živci

	Izlazište/ulazište na mozgu	
1. Nn. olfactorii [I]	bulbus olfactorius*	
2. N. opticus [II]	chiasma opticum*	
3. N. oculomotorius [III]	pedunculus cerebri, sulcus oculomotorius	
4. N. trochlearis [IV]	dorzalni dio tektuma mezencefalona	
5. N. trigeminus [V]	postranično na ponsu	
-N. ophthalmicus [V/1]	} ganglion trigeminale	
-N. maxillaris [V/2]		
-N. mandibularis [V/3]		
6. N. abducens [VI]	između ponsa i piramide	
7. N. facialis [VII]	} pontocerebelarni kut	} horizontalni niz živaca, izlaze na ventralnoj strani, između ponsa i medule oblongate
8. N. vestibulocochlearis [VIII]		
9. N. glossopharyngeus [IX]	} medulla oblongata, sulcus posterolateralis (retroolivaris); vertikalni niz živaca	
10. N. vagus [X]		
11. N. accessorius [XI]		
12. N. hypoglossus [XII]	medulla oblongata, sulcus anterolateralis	

* Prvi moždani živac (n. olfactorius, njušni živac) i drugi moždani živac (n. opticus, vidni živac) su zapravo moždani putevi, te se navedena ulazišta odnose na završetak navedenih anatomskih tvorbi (nn. olfactorii, n. opticus); njušni put ulazi u mozak na bazalnom dijelu velikog mozga koji se naziva trigonum olfactorium, a vidni put ulazi u dio talamusa, corpus geniculatum laterale.

Funkcije moždanih živaca

(OSE)	Opća somatska eferentna: inervacija skeletnih mišića trupa i ekstremiteta (III,IV,VI,XII)
(OVE)	Opća visceralna eferentna: inervacija glatkih mišića, žlijezda i organa (III,VII,IX,X)*
(PVE)	Posebna visceralna eferentna: inervacija poprečnoprugastih mišića što se razvijaju iz osnove ždrijelnih lukova; mimični mišići, žvačni mišići, mišići ždrijela i grkljana, poprečnoprugasti mišići jednjaka, m. sternocleidomastoideus i m. trapezius (V,VII,IX,X,XI)
(OVA)	Opća visceralna aferentna: informacija iz organa i krvnih žila (IX,X)
(PVA)	Posebna visceralna aferentna: njuh i okus (I,VII,IX,XI)
(OSA)	Opća somatska aferentna: receptori u koži i lokomotornom sustavu (V,VII,IX,X)
(PSA)	Posebna somatska aferentna: vid, sluh, ravnoteža (II,VIII)

*OVE jezgre moždanih živaca isključivo su parasimpatičke

Liquor cerebrospinalis, cerebrospinalna tekućina

Cerebrospinalna tekućina stvara se u cijelom obložnom sustavu unutarnjih likvorskih prostora, ependimu, a posebice u području posebnih spletova, plexus choroideus. Preko oba interventrikularna otvora (MONROE) likvor odlazi u treću komoru, odakle se preko kanala, aqueductus mesencephali (SYLVIUS) ulijeva u četvrtu moždanu komoru i dalje središnjim kanalom u medulu spinalis. Apertura mediana (MAGENDIUS) i aperture laterales (LUSCHKA) u četvrtoj moždanoj komori predstavljaju komunikaciju unutarnjih i vanjskih likvorskih prostora. Na taj način likvor dolazi u subarahnoidalni prostor.

Likvor oplakuje cjelokupni mozak i kralježničnu moždinu. Preko arahnoidalnih granulacija (PACCHIONI) apsorbira se u venski sustav u područjima oko malih limfnih žila pije mater, te perineuralnim prostorima moždanih i moždinskih živaca.

Opasnost od začepjenja likvorske cirkulacije najveća je na uskim prostorima ventrikularnog sustava: foramina interventricularia, aqueductus mesencephali, apertura mediana, aperture laterales. Ako se zatvori neki od tih puteva, primjerice kod razvojnih anomalija i upala, može doći do razvoja unutarnjeg hidrocefalusa. Proširenje subarahnoidalnog prostora, primjerice nakon atrofije mozga, označava se kao vanjski hidrocefalus.

Zidovi četvrte moždane komore

krov/prednji zid	velum medullare superius
dno	fossa rhomboidea
krov/stražnji zid	velum medullare inferius; plexus choroideus
otvori	aqueductus mesencephali←ventriculus III aperturæ laterales→cisterna basalis apertura mediana→cisterna cerebellomedullaris canalis centralis

Zidovi lateralnih moždanih komora

Cornu frontale		Pars centralis	
prednji zid	corpus callosum, genu	krov	corpus callosum, truncus
krov	corpus callosum, truncus	medijalni zid	fornix, crus; septum pellucidum
medijalni zid	septum pellucidum	lateralni zid	nucleus caudatus, corpus
lateralni zid	nucleus caudatus, caput	dno	stria terminalis; lamina affixa, plexus choroideus; fornix, crus
dno	corpus callosum, rostrum		
otvori	foramen interventriculare→ventriculus tertius	Cornu temporale	
Cornu occipitale		krov/lateralni zid	nucleus caudatus, cauda; tapetum (radiatio corporis callosi, radiatio optica)
krov/lateralni zid	tapetum (radiatio corporis callosi; radiatio optica)	medijalni zid	fimbria hippocampi, plexus choroideus
medijalni zid	calcar avis	dno	eminentia collateralis, alveus hippocampi
dno	trigonum collaterale, eminentia collateralis		

Zidovi treće moždane komore

krov	tela choroidea ventriculi tertii; plexus choroideus
prednji zid	fornix, columnae; commissura anterior; lamina terminalis; recessus triangularis; recessus opticus
lateralni zid	thalamus, stria medullaris thalami; adhesio interthalamica; sulcus hypothalamicus; hypothalamus
stražnji zid	commissura habenularum; commissura posterior; recessus suprapinealis; recessus pinealis
dno	infundibulum
otvori	formina interventricularia←ventriculi laterales aqueducus mesencephali→ventriculus quartus

Stanična građa kralježnične moždine

Stanice korjenova

eferentne stanice korjenova (tijelo neurona smješteno u svojoj tvari substantia grisea, aksoni u prednjem korijenu, radix anterior)

-multipolarni, motorički neuroni (motoneuroni)

-multipolarni, vegetativni neuroni (C8-L3: povezani sa simpatičkim lancem, truncus simpaticusom; S2-S5: povezani sa zdjeličnim ganglijima simpatikusa)

aferentne stanice korjenova (tijelo neurona u spinalnim ganglijima, aksoni u stražnjem korijenu, radix posterior)

- pseudounipolarni, senzibilni neuroni (izgrađuju stražnji funikulus, funiculus posterior, veza sa prednjim, lateralnim i stražnjim rogom sive tvari medule spinalis)

Relejne stanice

interneuroni (multipolarne stanice u svojoj tvari)

- relejni neuroni u užem smislu (homolateralne veze)

- komisuralni neuroni (kontralateralne veze)

- asocijativni neuroni (kraće segmentalne veze u fascikulus proprius)

stanice snopova (multipolarni neuroni; tijelo u svojoj tvari, aksoni uzlaze ili silaze, tvore puteve unutar funikulusa)

Duge veze unutar kralježničke moždine

Aferentni putevi

Prijenos epikritičkog osjeta (put dodira)

(točkasti (fini) pritisak i dodir, vibraciju, osjet položaja)

1. neuron (ne križa stranu)

Od receptora (ekstroceptora) kože i sluznice, periosta, zglobova, mišićnih vretena do nukleus kuneatusa i nukleus gracilisa u meduli oblongati: fasciculus cuneatus i fasciculus gracilis (stanice korjenova, tijelo u spinalnom gangliju); silazne kolaterale (vidi sl. 603).

2. neuron (križa stranu)

Iz medule oblongate (nucleus cuneatus, nucleus gracilis; tijelo neurona) do talamusa (lemniscus medialis). Odvajanje niti za mali mozak (tractus cuneocerebellaris).

3. neuron (ne križa stranu)

Od talamusa do kore velikog mozga, posebno u postcentralnoj vijugi, gyrus postcentralis (talamokortikalne niti, tijelo neurona u talamusu).

Prijenos protopatskog osjeta (put boli)

(bol, temperatura, grubi dodir)

1. neuron (ne križa stranu)

Iz receptora (ekstroceptora) kože, sluznice itd. do nucleus centralis u stražnjem rogu, lamine I, IV, VII i VIII (stanice korjenova, tijelo neurona u spinalnom gangliju).

2. neuron (križa stranu, poneke niti neukrižene)

Iz stražnjeg roga u talamus, retikularnu formaciju i tectum mezencefalona (tractus spinothalamicus anterior et lateralis, tractus spinoreticularis, tractus spinotectalis; tijelo neurona u stražnjem rogu).

3. neuron (ne križa stranu)

Iz talamusa za koru velikog mozga, posebno u postcentralnoj vijuzi, gyrus postcentralis (talamokortikalne niti, tijelo neurona u talamusu), ali i za dijelove medijalnog koljenastog tijela, corpus geniculatum meidiale.

Prijenos dubokog nesvjesnog osjeta

(nesvjesna, ali točna prostorna diferencijacija nužna za koordinaciju pokreta u malom mozgu)

Prednji put za mali mozak

1. neuron (ne križa stranu)

Od receptora (proprioceptora) u mišićima, tetivama i vezivu do jezgre stražnjeg roga, nucleus thoracicus (stanice korjenova, tijelo neurona u spinalnom gangliju).

2. neuron (većina križa stranu)

Od stražnjeg roga do malog mozga, posebno do prednjeg dijela vermisa cerebeluma kroz gornje cerebelarne pedunkule (tractus spinocerebellaris anterior, tijelo neurona u nukleus toracikus).

Stražnji put za mali mozak

1. neuron (ne križa stranu)

Od receptora (proprioceptora) u mišićima, tetivama i vezivu do jezgara prednjeg i stražnjeg roga (stanice korjenova, tijelo neurona u spinalnom gangliju).

2. neuron (najvjerojatnije križa stranu)

Od stražnjeg roga do malog mozga kroz donje cerebelarne pedunkule (tractus spinocerebellaris posterior, tijelo neurona u stražnjem rogu).

* motoričke jezgre moždanih živaca

Duge veze unutar kralježničke moždine (eferentni putevi)

Eferentni putovi

Motorički sustav obuhvaća veliki broj jezgara i puteva. "Zajednički završni put" (završetak motoričkih puteva) izgrađuju motoneuroni čiji aksoni tvore motoričke dijelove perifernih živaca. Usprkos iznimnoj složenosti, ovdje će se zbog didaktičkih razloga rabiti tradicionalna podjela.

(Tzv.) Piramidni put

1. (središnji) neuron (križa stranu, u potpunosti za medulu spinalis, a za dijelove nekih jezgara moždanih živaca postoji i značajan broj neukriženih vlakana)

Iz kore velikog mozga kroz kapsulu internu i cerebralne pedunkule do interneurona prednjeg i stražnjeg roga (tractus corticospinalis lateralis, tractus corticospinalis anterior, tijelo neurona smješteno je u precentralnoj vijuzi, gyrus praecentralis).

Odvajanje vlakana za jezgre moždanih živaca (tractus corticonuclearis i tractus corticobulbaris).

Većina vlakana piramidnog puta završi neizravno na motoneuronima (preko interneurona), ali za mišiće koji sudjeluju u posebno finim pokretima (primjerice šake i grkljana) veliki dio aksona piramidnog puta završi izravno na motoneuronima. Izravni završetak piramidnog puta nalazi se u velikoj mjeri samo kod čovjeka, ali samo u manjem broju motoričkih jezgara.

2. (periferni) neuron (završetak motoričkih puteva, α -motoneuron)

Od prednjeg roga odlazi do motornih ploča na skeletnim mišićima (motoneuroni, tijelo u prednjem rogu medule spinalis i motoričkim jezgrama moždanih živaca).

(Tzv.) Ekstrapiramidni sustav

1. Središnji neuron (neki križaju, a neki ne križaju stranu)

Iz kore velikog mozga, posebice precentralne vijuge i susjednih područja frontalnog režnja, polaze neuroni koji se prekapčaju u bazalnim ganglijima, talamusu, subtalamičkoj jezgri, substanciji nigri i malom mozgu, te preko njih završavaju na interneuronima prednjeg roga medule spinalis (tractus rubrospinalis, tractus vestibulospinalis medialis et lateralis, tractus reticulospinalis, tractus tectospinalis).

2. periferni neuron (završetak motoričkih puteva, α -motoneuron)

Od prednjeg roga odlazi do motornih ploča na skeletnim mišićima (motoneuroni, tijelo u prednjem rogu medule spinalis i motoričkim jezgrama moždanih živaca).

MORFOLOGIJA ŽIVČANOG SUSTAVA

Cjelokupni SŽS (središnji živčani sustav) razvija se iz osnovne neuralne cijevi. Razvoj neuralne cijevi započinje vrlo rano, već tijekom trećeg tjedna embrionalnog života (embrionalni tjedan: razdoblje od začetka- oplodnje; obično 2 tjedna nakon menstruacije).

U prvim danima nakon oplodnje stanice embrija se intenzivno dijele stvarajući jednu strukturu loptastog oblika koja se zove blastula (slika 14). U blastuli stanice su morfološki nediferencirane, što znači da izgledom potpuno nalikuju jedna drugoj. Prva diferencijacija stanica započinje tijekom drugog tjedna embrionalnog tjedna, te nastaju tri osnovne vrste stanica: ektodermalne, mezodermalne i endodermalne stanice. Svaka od tih stanica oblikuje po jedan embrionalni listić. Ektoderm sa vanjske strane oblaže cijeli embrij i iz njega se razvija koža sa svojim derivatima. Endoderm je smješten u unutrašnjosti embrija, to je zapravo cijev iz koje se razvija probavni sustav sa svojim derivatima (organima, krvnim žilama itd.). Ta cijev ima gornji otvor – odgovara ustima i usnoj šupljini, i donji otvor koji odgovara završetku debelog crijeva – anusu. Na mjestu ovih otvora endoderm graniči s (prelazi u) ektodermom. Između ektoderma i endoderma nalazi se mezoderm iz kojeg se razvijaju mišići i vezivno tkivo. Neuralna cijev razvija se iz ektoderma i to na način da između 14 i 16 dana embrionalnog života na "leđima" embrija (stražnja-dorzalna strana) u srednjoj liniji ("od vrha glave do repa, trtice") dolazi do zadebljanja ektodermalnih stanica i stvaranja 'žlijeba'. Taj se žlijeb proteže od 'tjemena do trtice' u srednjoj liniji 'leđa' i naziva se neuralni žlijeb. Na prijelazu neuralnog žlijeba u preostali ("pravi") ektoderm nalazi se neuralni greben. Neuralni se žlijeb polako utire u dubinu i ulazi u mezoderm, odvajajući se od ektoderma, te se zatvara i nastaje neuralna cijev. Na mjestu iznad neuralne cijevi dolazi do spajanja dva ruba ektoderma. Na taj način neuralna cijev se nalazi potpuno okružena mezodermom neposredno ispod središnje linije u stražnjem dijelu tijela ("leđima"). Iz neuralne cijevi se razvija cjelokupni SŽS (mozak i leđna moždina). Iz šupljine neuralne cijevi nastaju moždane komore i sedišnji kanal kraljezničke moždine. Stanice neuralnog grebena također ulaze u mezoderm i iz njih se razvija periferni živčani sustav (periferni gangliji i dislocirani neuroni u stijenci organa, npr. crijevima).

PREGLED MORFOLOGIJE MOZGA

SŽS se sastoji od mozga i kraljezničke moždine. Mozak (encephalon) morfološki se dijeli na veliki i mali mozak i moždano deblo. Veliki mozak (cerebrum) ispunjava prednju, srednju i gornji dio stražnje lubanjske jame. Mali mozak (cerebellum) nalazi u donjem dijelu stražnje lubanjske jame odijeljen od velikog mozga duplikaturom tvrde moždana ovojnice, tentorijem. Moždano je deblo (truncus cerebri) dio mozga smješten na bazi. Funkcionalno su svi dijelovi mozga povezani međusobno i s kraljezničkom moždinom u cjelinu. Budući da je živčano tkivo koje tvori SŽS vrlo nježno i osjetljivo na mehaničke sile, zaštićeno je tvrdim koštanim oklopm koji oblikuju lubanja i kraljeznica. Na tom koštanom oklopu nalazi se mnogo otvora kroz koje prolaze živci i žile. Živci koji čine periferni ŽS odlaze ili prema organima ili dolaze od organa u SŽS.

Cerebrum čine dvije hemisfere (polutke), komisuralni snopovi (vežu hemisfere) i diencephalon (međumozak). U moždanim hemisferama razlikujemo moždanu koru (oblikuje vijuge i režnjeve), subkortikalnu bijelu tvar i subkortikalne ganglije. Diencephalon čine epithalamus, thalamus, hypothalamus i subthalamus. Moždano deblo (truncus cerebri) čine srednji mozak (mesencephalon), most (pons) i produžena moždina (medulla oblongata). Mali mozak (cerebellum) se sastoji od hemisfera, vermisa i dubokih jezgri.

MORFOLOGIJA POJEDINIH DIJELOVA MOZGA U CIJELINI

Medula oblongata je dio mozga između medulle spinalis (kaudalno) i ponsa (rostralno). Središnji i dorzalni dio medule oblongate čini tegmentum koji sadrži retikularnu formaciju i jezgre moždanih živaca. Na bazalnoj strani medule oblongate nalaze se uz medijalnu liniju dva parna izbočenja, **piramide**. Na granici prema meduli spinalis piramide se ukrštaju. Laterarno od piramida nalaze se još dva para izbočenja – olive. Na bazi medule oblongate izlazi 12 (hipoglosus), 11 (akcesorius), 10 (vagus), 9 (glosofaringeus) moždani živac. Na dorzalnoj površini medule oblongate nalazi se u donjem dijelu dva para izbočenja (tuberculum nuclei gracilis i cuneati), a u gornjem dijelu se otvara u četvrtu moždanu komoru (fossa rhomboidea) koju omeđuju donji kraci malog mozga.

Pons; bazalni dio čine široki poprečni i uzdužni snopovi vlakana, a dorzalni dio ponsa čini tegmentum. Poprečni snopovi se suzuju u srednje krakove malog mozga (penduculi cerebellares meedii). Tegmentum ponsa oblikuje rostralno područje rombične udubine (rombična udubina čini dno 4. moždane komore). Pons sadrži jezgre 8 (vestibulokoklearis/statoakustikus), 7 (facijalis), 6 (abducens), 5 (trigeminus), moždanog živca i mnogobrojne jezgre ponsa (nucleis pontis). Na granici meule oblongate i ponsa izlazi "horizontalni" niz živaca (6, 7, 8) dok 5. moždani živac izlazi kroz poprečne snopove ponsa.

Mesencephalon (srednji mozak); bazalnu stranu čine snažni moždani krakovi (crura cerebri). U sredini je tegmentum u kojem se nalaze nukleus ruber i nukleus niger, kao i druge dopaminergičke jezgre. Dorzalni dio čini tectum (lamina tecti) koji sadrži četiri kvržice pa se i naziva lamina quadrigemina. Dvije gornje kvržice pripadaju vidnom, a dvije donje slušnom sustavu. Ventrikularni sustav je u području mezencefalona sužen u uski prolaz, aquaeductus cerebri. Na bazi mezencefalona izlazi 3 (okulomotorius) moždani živac. Središnji dio mezencefalona čini tegmentum koji sadrži jezgre 4 (trochlearis) i 3 moždanog živca, projekcijske putove i velike jezgre (nucleus niger i nucleus ruber).

Cerebellum (mali mozak) čine dvije hemisfere, središnji dio (vermis), subkortikalna bijela tvar i duboke (subkortikalne) jezgre. Površina hemisfera je izbrazdana karakterističnim vijugicama. Mali mozak je povezan: 1. s medulom oblongatom preko donjih krakova (penduculi cerebellares inferiores), 2. s ponsom preko srednjih krakova (penduculi cerebellares medii) i 3. s mezencefalonom preko gornjih krakova (penduculi cerebellares superiores). Preko tih snopova mali mozak prima ulazne (aferentne) putove iz receptora (posebno informacije iz mišića) kao i motornih područja mozga i šalje izlazne (eferentne) putove za regulaciju motoričkih aktivnosti. Mali mozak je smješten na krovu četvrte moždane komore.

Diencephalon; bazalni dio čini **hipotalamus** i **subthalamus**. Na hipotalamusu razlikujemo mamilarna tijela (kaudalno), tuber cinereum (u sredini) i optičku hijazmu (rostralno). U području hipotalamusa je dno treće moždane komore. Hipotalamus je značajan za integraciju vegetativnih, neuroendokrinih i aktivacijskih funkcija kao i za emocionalno ponašanje. Subthalamus je nastavak tegmentuma mezencefalona. Sadrži važne nesvesne motoričke putove i

jezgre, a nalazi se između talamusa i moždanih krakova (crura cerebri) a vidi se samo na presječnom mozgu.

Dorzalni dio diencefalona čine *talamus* i *epitalamus*. Talamus je velika, parna struktura jajolika oblika. Medijalna površina talamusa omeđuje treću moždanu komoru, rostralni kraj omeđuje interventrikularni otvor a kaudalni kraj talamusa izbočuje se kao pulvinar talami. Laterarno od talamusa je kapsula interna u koju ulaze masivni snopovi.

Treba spomenuti kako u razvojnom smislu globus palidus pripada također diencefalonu, iako se još uvijek često opisuje kao bazalni ganglij telencefalona. U funkcionalnom smislu globus palidus, kao i retikularne jezgre talamusa pripadaju subtalamusu.

BAZA MOZGA I MEDIOSAGITALNI PRESJEK

Obratite pažnju na sljedeće:

- gdje su granice pojedinih dijelova mozga,
- koje su najkarakterističnije oznake za pojedine dijelove mozga,
- kakav je kontinuitet ventrikularnog sustava,
- kakav je kontinuitet pojedinih struktura

BAZA MOZGA

Na rostralnom dijelu baze mozga vidimo samo pojedine strukture **telencefalona**: frontalne (čione) režnjeve cerebralnih hemisfera što su odjeljeni dubokom pukotinom (fissura longitudinalis cerebri). Iza frontalnih režnjeva na bazi mozga su vidljivi i temporalni režnjevi. Uz samu fisuru longitudinalis cerebri je po jedna ravna vijuga frontalnog režnja – gyrus rectus. Laterarno omeđenje girusa rektusa je njušna brazda, sulcus olfactorius u koji je uložen njušni tračak, tractus olfactorius. Njušni tračak je rostralno proširen u bulbus olfactorius i kaudalno prelazi u trokutasto izdignuto polje, trigonum olfactorium. Bulbus, traktus i trigonum olfactorium pripada njušnom dijelu telencefalona – rhinencefalonu. Iza trigonum olfactorium nalazi se sivo polje izrešetano brojnim rupicama – substantia perforata anterior. To polje kaudalno dopire do vidnog snopa, tractus opticus. Tractus opticus označava granicu prema diencefalonu. Tu granicu u medijalnoj liniji čini hijazma optikum.

Tractus olfactorius i nervus opticus u klasičnoj se anatomiji definiraju kao prvi i drugi moždani živac, iako se zapravo radi o moždanim putevima (oni se razvijaju iz neuralne cijevi-neuroektoderma).

Diencephalon: Tractus opticus i chasima opticum pripadaju hipotalamusu a to je jedini dio diencefalona što se vidi na bazi mozga. Iza hijazme vide se i ostali dijelovi hipotalamusa: tuber cinereum s ljevkastim izdankom, infundibulum. Sa stražnje strane tuber cinereuma su dva okrugla tjelešca, corpora mammillaria. Stražnji rub mamilnih tijela označava granicu prema mezencefalonu.

Mezencephalon (srednji mozak): Na bazi mozga vide se dvije strukture mezencefalona: moždani kraci (crura cerebri) i između njih je interpedunkularna udubina, fossa interpeduncularis. Uz medijalni rub krura cerebri izlazi nervus oculomotorius, teći moždani živac. Četvrti moždani živac, n.

trochlearis, izlazi na dorzalnoj strani mozga ali dolazi na bazu između medijalnog ruba temporalnog režnja i prednjeg ruba ponsa.

Pons (most) je široko područje poprečnih snopova vlakana, seže kaudalno do piramide i izlazišta nervusa abducensa. Lateralno pons prelazi u srednje krakove malog mozga, pedunculi cerebellares medii. Na prednjem području ovih krakova izlazi nervus trigeminus, peti moždani živac.

Kaudalno od ponsa je **medulla oblongata** koju poznajemo po izbočenjima piramida medijalno i oliva laterarno. Između ponsa i piramide izlazi n. abducens, šesti moždani živac. U uglu između ponsa, malog mozga i medule oblongate (pontocerebellarni kut) izlaze nervus facialis i nervus statoacusticus. Između olive i piramide izlazi nervus hypoglossus.

Mali mozak okružuje medulu oblongatu (nalazi se dorzalno od medule!). Vermis maloga mozga skriven je u medijalnoj liniji, a vide se dvije hemisfere s karakterističnim vijugicama. Od manjih dijelova malog mozga lako se uočava flokulus i tonzile, koji se nalaze neposredno uz medullu oblongatu.

MEDIOSAGITALNI PRESJEK

Telencefalon: Zauzima najveći dio presjeka. Sve vijuge i brazde (kora mozga) pripadaju telencefalonu. Ako slijedimo medijalnu površinu telencefalona odozgo prema dolje u sredinu nailazimo na veliku ploču komisurnih vlakana, corpus callosum. Ta velika komisura pripada telencefalonu. Uz korpus kalozum pripaja se snop vlakana – formix.

Diencefalon: Na sredini presjeka, ispod korpusa kalozuma i forniksa nalaze se talamus i hipotalamus a odjeljuje ih plitka brazda, sulcus hypothalamicus. Hypotalamus se proteže do baze mozga (do ventralne površine).

Thalamus i hypothalamus čine laterarni zid treće moždane komore (ventriculus tertius). Ta komora je presječena na pola kod mediosagitalnog reza.

Mezencefalon: Mezencefalon prepoznajemo dorzalno po ploči, lamina tecti, na kojoj razlikujemo dva izbočenja, colliculus superior et inferior. Ventralni dio mezencefalona je tegmentum a u sredini je uski kanal, aquaeductus cerebri.

Pons i medulla oblongata: Dno četvrte moždane komore čini pons (rostralno) i medula oblongata (kaudalno). Pons prepoznajemo po širokoj izbočenoj bazi. Medula oblongata je nejkaudalniji dio mozga, ima oblik konusa, a u sredini sadrži snop bijele tvari.

ANATOMIJA POJEDINIH DIJELOVA MOZGA

KRALJEŽNIČNA MOŽDINA, MOŽDANO DEBLO I MALI MOZAK MEĐUMOZAK, KRANJI MOZAK I SUSTAV MOŽDANIH KOMORA

Pokušati naučiti neuroanatomiju iz knjige je isto kao i pokušaj da se zemljopis nauči iz cestovne karte. Tako npr., možete saznati da je Osijek udaljen od Zagreba 250-280km, ovisno o načinu vožnje, te da u njega možete stići kombinacijom autoputa preko Slavenskog Broda i magistralne ceste preko Đakova, ili pak magistralnom cestom preko Bjelovara, Virovitice i Našica. Najviše što možete funkcionalno pretpostaviti iz karte je da će te koristeći autocestu do Osijeka doći za 3 sata, a magistralom preko Virovitice trebati će Vam oko 4,5 sati. Proučavajući neuroanatomiju na taj način doći ćete do sličnih spoznaja: septalno područje udaljeno je od amigdala oko 2-4cm, a glavni put vodi zaobilazno preko strije terminalis (oko talmusa i kroz krov četvrte moždane komore). No tamo se može stići i prećicom preko ventralnog amigdalofugalnog puta.

Ipak, teško mi je povjerovati da se na ovaj način kod bilo koga može pobuditi interes za građu i funkcionalnu organizaciju mozga, pa se stoga i nećemo u ovim poglavljima baviti takvim detaljima. Građa mozga biti će prikazana vrlo općenito, iako će se princip građe moždane kore, te osnovna organizacija veza limbičkog sustava morati savladati vrlo detaljno. Također, praktičnom vježbom upoznati će te osnovne dijelove mozga, a kasnije ćemo u tu svrhu koristiti neurohistološkim metodama obrađene dijelove mozga.

1. Svaki dio živčanog sustava ima specijaliziranu funkciju, iako dijelovi moraju raditi zajedno da bi "stvorili" ponašanje. Oštećenje u različitim dijelovima živčanog sustava dovodi do različitih oblika poremećaja ponašanja.

2. Kora velikog mozga je najveća struktura središnjeg živčanog sustava, te sudjeluje u interpretaciji senzibilnih informacija i planiranju motoričkih radnji.

3. Postoji mnoštvo istraživačkih tehnika koje mogu ukazivati na to kako aktivnost različitih dijelova mozga utječe na ponašanje.

4. Osnovna podjela živčanog sustava u vertebrata definira dvije velike cjeline: središnji živčani sustav i periferni živčani sustav. Temeljni dijelovi središnjeg živčanog sustava su: kralježnična moždina, moždano deblo sa malim mozgom, međumozak i kranji mozak.

5. Na svakom segmentu kralježnične moždine izlazi (tj. ulazi) po jedan par senzibilnih snopova (senzibilni korijen) i izlazi jedan par motoričkih snopova (motorički korijen), koji se na svakoj strani ujedinjuju u spinalni živac. Tako postoji 31 par spinalnih živaca. Snopovi aksona u bijeloj tvari prenose senzibilne informacije u mozak i donose motoričke zapovijedi iz mozga.

6. Autonomni živčani sustav sastoji se od parasimpatikusa i simpatikusa. Većina parasimpatikusa nalazi se u moždanom deblu i putem živca lotalice (vagusa) inervira gotovo cijelo tijelo (osim polovice mokraćnog i cijeli genitalni sustav), a simpatikus se nalazi isključivo u kralježničnoj moždini. Simpatikus većinom aktivira različite organske sustave, a parasimpatikus usporava njihov rad. Uz neke manje iznimke, prava je iznimka probavni sustav gdje se dešava upravo obrnuto.

7. Moždano deblo je nešto složenija struktura od kralježnične moždine. Jezgre moždanih živaca funkcionalni su nastavak sive tvari kralježnične moždine, te u njima započinju (ili završavaju) aksoni koji tvore 12 pari moždanih živaca (tj. 10 pari, jer su 1 i 2 moždani živac zapravo moždani putevi). Osim toga, u moždanom deblu nalaze se i strukture (jezgre) koje vrše višu kontrolu nad autonomnim visceralnim sustavima (tzv. centri za disanje, rad srca, kontrolu probavne aktivnosti i slično). Također, tu se nalaze i funkcionalno "više" jezgre motoričkog i senzibilnog sustava (npr. nukleus ruber i niger, olivaris inferior, pontis itd). Važna uloga moždanog debela je i u tome što se u njemu nalaze sustavi za kontrolu prijenosa boli, te aktivaciju ostalih dijelova središnjeg živčanog sustava (centri za regulaciju budnosti i spavanja, te regulaciju koncentracije i pažnje).

8. Uloga malog mozga je da prikuplja senzibilne informacije sa periferije (poglavito one koje se odnose na stav i položaj tijela, tj. stupanj aktivacije mišića), te da prema dobivenim podacima iz velikog mozga o tome što mozak planira učiniti izračuna moguću grešku, te preko odgovarajućih motoričkih struktura moždanog debela pošalje informaciju na donje motoneurone u svrhu ispravljanja greške prije nego do nje i dođe (tzv. kontrola prema naprijed).

9. Međumozak se sastoji od talamusa, hipotalamusa, epitalamusa i subtalamusa. Najveća struktura je talamus koji je sastavljen od mnoštva različitih jezgara koje su najvećom dijelom bogatim recipročnim vezama u kontaktu sa korom velikog mozga. Većina kortikalnih područja prima bogate projekcije iz specifične talamičke jezgre. Hipotalamus nadzire rad hipofize, te drugih endokrinih žlijezda, kao i autonomnog sustava. U epitalamusu se nalazi epifiza koja značajniju ulogu ima isključivo u djetinjstvu.

10. Subkortikalne strukture kranjeg mozga su bazalni gangliji. Bazalne ganglije tvori neostrijatum (nukleus kaudatus i putamen), korpus amigdaloidum i globus palidus. Medijalni dio neostrijatuma (na prijelazu kaudatusa u putamen) definira se kao posebna struktura i naziva se nukleus akumbens septi (ventralni strijatum). Putamen i globus palidus često se zajednički nazivaju nukleus lentiformis. Međutim, bez obzira što su te dvije strukture anatomski smještene tik jedna uz drugu, putamen i kaudatus predstavljaju zapravo jednu strukturu (bez obzira što su odvojeni kapsulom internom), dok je najvjerojatnije da putamen i palidus ne pripadaju istom dijelu mozga, jer se palidus razvija iz međumozga i zapravo ne spada u bazalne ganglije. U bazalne ganglije se ubraja i klastrum, no on je zapravo dio moždane kore smješten unutar bijele tvari.

KRALJEŽNIČNA MOŽDINA, MEDULLA SPINALIS

Medulla spinalis je u odraslih osoba 40–45cm dugi stup koji se proteže od medule oblongate (odnosno od foramina magnuma) prema dolje do visine drugoga lumbalnog kralješka. U ranom embrionalnom razvoju kralježnična moždina jednako je duga kao i kralježnica, ali kasnije zaostaje u razvitku u odnosu na kralježnicu pa kasnije moždina seže samo do drugog lumbalnog kralješka. Ispod toga mjesta sljedi kao njezin nastavak samo tanki končić, **fillum terminale**, koji ide sve do sakralnog kanala i tu sraste s periostom. Odgovarajući prvobitnom smještaju kralježnične moždine u embrija, dijeli se moždina prema dijelovima kralježnice na vratni, **pars cervicalis**, grudni, **pars thoracica** i slabinski dio, **pars lumbalis** te na **conus medullaris** i **filum terminale**. Središtem čitave moždine proteže se kanal, **canalis centralis** koji se na donjem kraju moždine proširuje u **ventriculus terminalis**.

Od kralježnične moždine odlazi 31 par spinalnih živaca, kojih dijele medulu spinalis na odgovarajući broj segmenata. Iz svakoga segmenta izlaze prednji i stražnji korjenčić koji se tek kod intervertebralnog otvora udružuju u spinalni živac. Na osnovu toga medula spinalis se dijeli na: 8 cervikalnih, 12 torakalnih, 5 lumbalnih, 5 sakralnih i 1 kokcigealni segment. Samo korjenovi prvog cervikalnog segmenta izlaze potpuno vodoravno, a preostali, što se više približuju donjem kraju medule spinalis, imaju sve okomitiji smjer prema dolje. Najdonji su usmjereni potpuno okomito, pa liče na konjski rep te su nazvani **cauda equina**.

Unutar bijele supstancije nalazi se siva supstancija medule spinalis koja je na poprečnom presjeku nalik na leptira ili slovo H. Oba vertikalna kraka sive supstancije spaja **commissura grisea**, koja okružuje centralni kanal. Okomite krakove tvore **columnae griseae anteriores** i **columna griseae posteriores**, koje na presjeku izgledaju poput rogova pa se nazvane prednjim i stražnjim rogom, **cornu anterius** i **cornu posterius**. Od visine samog cervikalnog do visine drugog lumbalnog segmenta nalazi se postranično od prednjeg stupa i malo straga, laterarni stup, **columna lateralis** koji je najrazvijeniji u trokralnom dijelu medule spinalis.

MOŽDANO STABLO: MEDULLA OBLONGATA, PONS I MEZENCEFALON

Zajednička svojstva (medulle oblongate, ponsa i mezencefalona) važna su kako bi se uočio kontinuitet struktura moždanog stabla. Moždano stablo čine tri odsjeka: 1. ventralni ili **bazalni dio** (basis); 2. Središnji dio ili **tegmentum** i 3. Dorzalni dio ili **tectum** (dobro razvijen samo u području mezencefalona). Moždano stablo se nalazi između medule spinalis i velikog mozga (cerebruma) pa zbog toga dugi projekcijski putovi prolaze kroz tegmentum i bazu moždanog stabla. Treba učiti da se unutar moždanog stabla i skupina neurona (jezgre – siva tvar) nastavlja

unutar tegmentuma od medule oblongate do diencefalona. To je prije svega retikularna formacija, zatim funkcionalni nizovi jezgara moždanih živaca i neke specijalne jezgre u medijanoj liniji tegmentuma. Dno četvrte moždane komore (fossa rhomboidea) pripada i meduli oblongati (kaudalni dio) i ponsu (rostralni dio).

MEDULLA OBLONGATA

Medula oblongata je rostralno proširenje medule spinalis i izgleda kao odrezani stožac duljine oko 2.5 – 3cm. Na meduli možemo razlikovati bazalnu, lateralnu i dorzalnu površinu.

PONS

Kaudalno pons seže do medule oblongate, a **rostralno** pons saže do interpendunkularne udubine mezencefalona. Dorzalne granice ponsa nisu jasne jer pons nejasno prelazi u medulu oblongatu (kaudalno) i isthmus rhombencephali (rostralno). Laterarno pons prelazi u neobično debele snopove srednje krakove malog mozga (pedunculi cerebellares medii) što ga povezuju s malim mozgom.

Na presjeku kroz pons lako se uočava njegova dva temeljna dijela: bazalni dio (vantralno) i dorzalni dio (tegmentum).

DORZALNA POVRŠINA TEGMENTUMA MEDULE OBLONGATE I PONS: ROMBIČNA UDUBINA (FOSSA RHOMBOIDEA)

Cijelom opsegu dorzalne površine ponsa i medule oblongate odgovara rombična udubina, **fossa rhomboidea**. Njezin rostralni dio (pars superior) i kaudalni dio (pars inferior) jesu suženi, a srednji je dio proširen prema laterarnom zatonu četvrte moždane komore. Rombička udubina čini dno četvrte moždane komore. Rombičnu udubinu kaudalno omeđuju **pedunculi cerebellares inferiores** koji divergiraju i usmjereni su od kaudalno prema rostralno. Rombičnu udubinu rostralno omeđuju **pedunculi cerebellares superiores** koji izlaze iz malog mozga i konvergiraju prema rostralno. **Pedunculi cerebellares medii** odmaknuti su u stranu pa ne sudjeluju u omeđenju rombične udubine.

U rostralnom djelu rombičnu udubinu pokriva **velum medullare superius** – pločica razapeta između pedunculi cerebellares superiores što izlaze iz malog mozga. Kaudalni dio krova rombične udubine čini **tela choroidea ventriculi quarti** i **velum medullare inferius**. **Velum medullare** veže se za laterarni dio nodulus malog mozga i za pedunculus flocculi. Sredinom rombične udubine teče uzdužno **sulcus medianus** i dijeli udubinu na dvije simetrične polovice.

ČETVRTA MOŽDANA KOMORA, VENTRICULUS QUARTUS

Šupljina rombencefalona proširena je u četvrtu moždanu komoru, dno koje čini fosa rhomboidea. Kroz četvrte moždane komore oblikuje rostralno velum medullare superius, zatim fastigium i napokon kaudalno tela choroidea i plexus choroideus ventriculi quarti i iznad njih velum medullare inferius. Kroz aquaeductus cerebri koji se nalazi u području mezencefalona komunicira četvrta moždana komora s trećom moždanom komorom. Četvrta moždana komora jedina od vertikalnog sustava komunicira sa subrahnoidalnim prostorom.

MEZENCEFALON (SREDNJI MOZAK)

Mezencefalon se razvija iz srednjeg primarnog mjehurića. Osnova mezencefalona od početka jednostavno zadebljava, a ventrikularni sustav se sužava u uski aquaeductus cerebri (Sylvii).

Ventralna granica mezencefalona seže u medijanoj liniji od ponsa do mamilarnih tijela (hipotalamusa), a nešto laterarnije crura cerebri

bez jasne granice prelazi u diencefalona. Dorzalno mezencefalona seže od velum medullare superius do epitalamusa.

Ventralnu površinu mezencefalona oblikuju dva snažna kraka, **crura cerebri**, što se prema naprijed razilaze i omeđuju interpedunkularnu udubinu, **fossa interpeduncularis**. Dno interpedunkularne udubine je izrešetano rupicama za prolaz krvnih žila pa se naziva **substantia perforata posterior**. Uz medijalni dio kraka cerebri iz dubine interpedunkularne udubine izlazi 3. moždani živac, n. oculomotorius. Laterarnu površinu mezencefalona oblikuje dio kraka cerebri, a dorzalno od njih je trokutasto polje tegmentuma, **trigonum lemnisci**, a prema rostralno vidi se i izduženi snop **brachium colliculi superioris**.

Dorzalna površina mezencefalona je karakteristična izgleda i čine ploče sive tvari, lamina tecti (quadrigemina) na kojoj se ističu četiri izbočenja. Dva donja izbočenja su **colliculi inferiores**, a dva gornja **colliculi superiores**.

Uz kaudalni rub donjih kolikula, a laterarno od kratkog i plitkog izduženog nabora (frenuluma) izlazi 4. moždani živac, n. trochlearis. Prema rostralno i rostralno gornji kolikuli prelaze u uski snopić, **brachium colliculi inferioris**. Područje rostralno od gornjih kolikula naziva se **pretektalno područje**, a donji kolikuli prelaze u **brachium colliculi inferioris**.

CEREBELLUM (MALI MOZAK)

Cerebelum se razvija iz dorzalnog dijela rombencefalona i to iz rombičke usne. Cerebelum se nalazi na krovu 4. moždane komore dorzalno od ponsa i medule oblongate. Dorzalno cerebelum je potpuno odvojen od velikog mozga i jasno ograničen kao samostalna tvorba. Bazalno cerebelum prelazi prema laterarno u cerebralne pedunkule a medijalno u velum medullare superius i inferius bez oštre granice. Pedunkuli povezuju cerebelum s ostalim dijelovima mozga: prema mezencefalonu odlaze gornji kraci malog mozga, **pedunculi cerebellares superiores**. Prema ponsu odlaze najdeblji kraci, **pedunculi cerebellares medii**, a prema meduli oblongati odlaze donji kraci, **pedunculi cerebellares inferiores**.

Najveći dio cerebeluma, što je izbrazdan uskim vijugicama, zauzimaju dvije parne hemisfere koje su u sredini spojene suženim i uvučenim neparnim dijelom, nazvanim vermis.

Na cerebulumu razlikujemo tri glavna područja, odnosno režnja:

Lobus flocculonodularis (flokulonodularni režanj), **lobus anterior** (prednji režanj), i **lobus posterior** (stražnji režanj). Flokulonodularni režnjić odgovara **archicerebellumu**, a funkcionalni naziv je **vestibulocerebellum**. Prednji režnjić (lobus anterior) naziva se **paleocerebellum**, a funkcionalni naziv je **spinocerebellum**. Stražnji režnjić (lobus posterior) naziva se **neocerebellum**, dok je funkcionalni naziv **pontocerebellum**.

MOŽDANO STABLO KAO CJELINA

MORFOLOŠKA SVOJSTVA

1. Tri temeljna odsječka:

A. ventralni ili **bazalni dio** (basis) – sadrži svjesne motoričke snopove

B. središnji dio čini **tegmentum**

C. dorzalni dio – na krovu moždanog stabla je **tectum** (ta se dio posebno opisuje samo u mezencefalonu)

2. Anatomski položaj između proencefalona i medule spinalis

3. Kontinuitet **jezgra** (sive tvari) i **putova** (aksoni) od medule spinalis do diencefalona i telencefalona uz sukcesivno odvajanje i završetak aksona.

A. Kontinuitet sive tvari unutar **tegmentuma**:

- funkcionalni nizovi jezgara moždanih živaca

- retikularna formacija

- jezgra medijane linije tegmentuma

3. Kontinuitet putova unutar tegmentuma:

- senzibilni putovi (lemniscus medialis, spinotalamički put i trigeminalni lemniscus) – uzlazni

- ekstrapiramidni motorički putovi

- nespecifični uzlazni putovi iz tegmentuma: serotoninergički, dopaminergički, noradrenergički, acetilkolinergički.

TEGMENTUM: - KONTINUITET SIVE TVARI

Zauzima centralno – dorzalna područja m. oblongate, ponsa i mezencefalona (između baze i tectuma).

Prema dorzalno tegmentum se nastavlja u diencefalona, i to tako da se medijalna područja nastavljaju u hipotalamusu a lateralna područja u subtalamus.

Tegmentum dorzalno dopire do površine ventrikularnog prostora u području rombične udubine (fossa rhomboidea).

Tegmentum dopire bazalno do površine mozga u trigonum lemnisci mezencefalona.

U sastavu tegmentuma jesu:

1. jezgre moždanih živaca
2. retikularna formacija
3. projekcijski putovi
4. velike motoričke jezgre (nu. ruber, nu. niger)
5. specijalne jezgre tegmentuma s dokazanim monoaminima (jezgre medijalne linije, nuclei raphe, ventralno tegmentalno područje, locus ceruleus).

DIENCEFALON I TREĆA MOŽDANA KOMORA

Diencefalona je dio mozga smješten između mezencefalona i telencefalona. U njemu se nalazi treća moždana komora koja je zbog razvitka ganglijskih masa dobila oblik uske sagitalne pukotine. U diencefalona spadaju. talamus, hipotalamus, subtalamus i epitalamus.

THALAMUS

Talamus je parna, jajolika oblika tvorba što čini najveći dio diencefalona. Prednji kraj talamusa se slobodno izbočuje kao tuberculum anterius thalami i omeđuje interventrikularni otvor sa stražnje strane. Stražnji kraj talamusa je plosnat i izbočuje se kao pulvinar thalami. Dorzalna površina je slobodna i zaobljena i čini dno centralnog dijela lateralnih moždanih komora. Medijalna površina je slobodna i ravna a omeđuje treću komoru.

Na presjeku kroz talamus vidljivi su tračci bijele tvari, laminae medullares internae, što dijele talamus u tri veća temeljna područja. Svako područje sadrži jednu ili više skupina jezgara. Ta tri temeljna područja jesu dorzo–medijalno, prednje i lateralno područje. Temeljna područja dijelimo u manje teritorije a ove dijelimo na jezgre. Od temeljnih područja samo lateralno područje (najveće) dijelimo na ventralni i lateralni teritorij. Uz već nabrojena velika područja razlikujemo i dvije uske pločaste skupine jezgara: intralaminarne jezgre što se nalaze uključene unutar medularnih lamina i retikularni teritorij što se nalazi između glavne mase talamusa i kapsule interne a nastavak je retikularne formacije. Prema izloženome možemo talamus podijeliti u šest teritorija jezgara:

1.ventralni, 2. lateralni, 3. prednji, 4. dorzo–medijalni, 5. intralaminarni, 6. retikularni

Taj način podjele je najjednostavniji jer se može povezati s jednostavnom podjelom neuronskih veza talamusa.

HYPOTHALAMUS

Hipotalamus se na bazi proteže od optičke hijazme do kaudalne granice mamilarnih tjelešaca. Rostralno prelazi bez oštre granice u septo-medio-bazalno područje (gyrus diagonalis i substantia perforata anterior) i preoptičko područje. Preoptičko područje se rostralno proteže do lamine terminalis i prednje komisure, a nalazi se u ravnini optičke hijazme. I septalno i preoptičko područje su derivati telencefalona. Prema kaudalno hipotalamus se nezamjetljivo stapa sa centralnom sivom supstancijom i tegmentumom mezencefalona. Talamus leži

dorzalno od hipotalamusa, a subtalamička regija je lateralno i kaudalno.

Hipotalamus čini zidove treće moždane komore, ispod sulkusa hipotalamikusa. Hipotalamus istodobno čini dno treće komore u kaudalnom dijelu. Na ventralnoj površini mozga iza optičke hijazme smješten je infundibulum na kojem je pričvršćena hipofiza. Malo izbočena regija iza infundibuluma je tuber cinereum. Corpora mamillaria se nalaze straga blizu fose interpedunkularis.

TELENCEFALON

REGIONALNO, AREALNO I MODULARNO USTROJSTVO MOŽDANE KORE USTROJSTVO LIMBIČKOG SUSTAVA

1. Neokorteks je sastavljen od šest slojeva. Raspored neurona, te razvijenost određenih slojeva stvara razlike u građi između različitih područja mozga, pa govorimo o kortikalnim arejama. Svaka areja je zadužena za specifičnu funkciju. Osim horizontalne (laminarne) organizacije, neuroni su organizirani u vertikalne stupiće (kolumne), a koji zapravo predstavljaju osnovnu funkcionalnu jedinicu korteksa.

2. Korteks se može podijeliti u nekoliko velikih režnjeva; okcipitalni je mjesto primarno vezano uz vid, parijetalni uz somatski osjet, temporalni u obradu slušnih informacija, te složeniju obradu vidnih informacija, dok se u stražnjem dijelu frontalnog režnja planiraju motoričke radnje. Veći, prednji dio frontalnog režnja (prefrontalni korteks) pripada u asocijacijski korteks, te zajedno sa tromeđom okcipitalnog, parijetalnog i temporalnog režnja označava područje vezano uz unutarnju reprezentaciju svijeta (osobnost).

TELENCEFALON

Telencefalon izgrađuju dvije velike hemisfere i mali skriveni septalni dio. Na temelju razvojnih kriterija, unutrašnje slojevite građe i topografije, možemo svaku hemisferu telencefalona podijeliti u tri temeljna područja: 1. lateralno, 2. limbičko i 3. medio-bazalno područje. Zbog specifične građe na bazalnom dijelu može se izdvojiti i četvrti dio, rhinencephalon. Svako od tih područja ima slijedeće elemente: a) moždanu koru (korteks), b) pripadajuću bijelu tvar i c) subkortikalne jezgre.

1. Lateralno područje je najveće i to su svi režnjevi (frontalni, temporalni, parijetalni i okcipitalni) sa svim vijugama i brazdama što čine glavnu površinu hemisfera.

- Moždana kora lateralnog područja telencefalona je neokorteks
- Pripadajuću bijelu tvar čine projekcijski putevi i to korona radiata i komisuralni putevi (corpus callosum)
- Subkortikalne jezgre latealnog područja hemisfera čine corpus striatum (striatum + pallidus)

2. Limbičko područje telencefalona vidljivo je samo na medijalnoj strani hemisfera i to oko korpusa kalozuma i diencefalona. Naziv limbički označava rubnu poziciju u hemisferama. Ako zamislimo sveukupni opseg hemisfere kao polukuglu postavljenu s konveksitetom prema lateralno onda na dorzalnom i bazalnom kraju (rubu) te polukugle nalazimo limbičko područje.

- Moždana kora limbičkog područja jest limbički korteks a prema građi ga dijelimo na arhikorteks i mezokorteks. Makroskopski limbički korteks djeluje kao režanj pa ga opisujemo kao limbički režanj.
- Pripadajuću bijelu tvar čine projekcijski putevi (forniks) asocijativno-projekcijski putevi (cingulum) i komisure (commissura hippocampi i dio komisure anterior)
- Subkortikalna jezgra limbičkog područja je amigdaloidna skupina jezgara (jedan dio!)

3. Mediobazalno područje hemisfera je najmanje i na bazi mozga se vidi lateralno i rostralno od hijazme i traktusa optikusa, a prekriveno je vrhom temporalnog režnja. Rostro-medijalno prelazi u septalno i limbičko područje.

Moždana kora mediobazalnog telencefalona je najjednostavnije dvoslojne građe a naziva se paleokorteks. Pripadajuća bijela tvar je vrlo oskudna. Subkortikalne sive mase čini dio dio amigdaloidnog kompleksa i substantia inominata (u dubini substancije perforate anterior!).

Lateralno područje zauzima sveukupnu konveksnu (lateralnu) stranu velikog mozga, veći dio baze (lateralni dio baze, jer medijalno na bazi nalazimo tzv. mediobazalni telencefalon) i veći dio medijalne strane velikog mozga (dorzalno od limbičkog područja).

Polutke velikog mozga imaju četiri režnja, odijeljena osnovnim brazdama. To su čeonni, tjemeni, zatiljni i sljepoočni režanj (lobus frontalis, lobus parietalis, lobus occipitalis i lobus temporalis), a kao peti režanj i otok (insula). On leži u dubini lateralne moždane brazde, pokriven s operculom frontale, operculum frontoparietale i operculum temporale. Čeonni režanj leži posve sprijeda. On seže prema natrag do osnovne primarne brazde, koju zovemo sulcus centralis (Rolandi). Iza centralne brazde slijedi prema natrag tjemeni režanj, odijeljen incizuram preokcipitalis (parijetookcipitalis) od zatiljnog režnja, koji leži posve straga. Ispod tih režnjeva, odijeljen od njih dubokom brazdom, sulcus lateralis (Sylvii), nalazi se sljepoočni režanj.

Granica frontalnog i parijetalnog režnja je Rolandova srednja brazda, sulcus centralis. Centralna Rolandova brazda omeđena je na prednjoj strani precentralnom, gyrus precentralis, a na stražnjoj strani postcentralnom vijugom, gyrus postcentralis. Ispred precentralne vijuge nalazi se sulcus precentralis, a iza postcentralne vijuge sulcus postcentralis. Od precentralne brazde odlaze gornja i donja čeonna brazda, koje među

sobom omeđuju tri vijuge: gyrus frontalis superior, medius et inferior.

Sulcus lateralis je najdublja brazda na lateralnoj strani hemisfere. Ona započinje između frontalnog i temporalnog režnja i daje prema natrag ramus posterior, a prema naprijed ramus anterior i ramus ascendens. Ramus posterior dijeli temporalni režanj od frontalnog i parijetalnog režnja. Oba prednja ogranka ulaze u donji čeonni režanj i dijele ga na pars opercularis, pars triangularis i pars orbitalis. U operakularnom i djelomično triangularnom dijelu nalazi se u dešnjaka na lijevoj strani motorni centar za govor, Brokino područje. Tjemeni režanj mozga seže od centralne vijuge do duboke brazde, incisura preoccipitalis, koja zasijeca u gornji dio konveksiteta moždane polutke. U područje parijetalnog režnja spada prema tome gyrus postcentralis, u kojem se nalaze senzibilni centri, a preostali dio parijetalnog režnja, iza postcentralne brazde, dijeli sulcus intraparietalis na lobulus parietalis superior i lobulus parietalis inferior. U području donjeg parijetalnog režnja nalaze se dvije vijuge i to prednja, gyrus supramarginalis i stražnji, gyrus angularis.

Iza incizure preoccipitalis (parijetookcipitalis) nalazi se zatiljni režanj s vijugama gyri occipitales superior et laterales.

Na sljepoočnom režnju nalaze se tri vijuge: gyrus temporalis superior, medius et inferior; ovaj prelazi na bazalnu stranu mozga gdje se uza nj priključuje gyrus occipitotemporalis lateralis (fusiformis) et medius (lingualis) koji se nastavlja u gyrus parahippocampalis.

Obje moždane polutke povezuje velika komisura, corpus callosum i commissura anterior. Iznad korpusa kalozuma nalazi se na svakoj polutki sulcus corporis callosi. Tu brazdu opasuje gyrus cinguli, koji je okružen brazdom sulcus cinguli. Sulcus cinguli završava brazdom (pars marginalis), koja s parijetookcipitalnom brazdom omeđuje precuneus. Između parijetookcipitalne brazde i brazde sulcus calcarinus nalazi se cuneus, a iza i ispod njega prema okcipitalnom polu mozga gyrus occipitotemporalis medialis (lingualis).

BIJELA TVAR TELENCEFALONA

Komisuralna vlakna; Obje polutke velikog mozga povezane su bijelim komisurnim nitima koje oblikuju komisure. Najvažnija je velika komisura, corpus callosum, prednja komisura, commissura anterior i commissura fornix.

Asocijativna vlakna; U bijeloj supstanciji hemisfera velikog mozga postoje osim komisurnih sustava asocijativni sustavi koji međusobno povezuju pojedina područja iste hemisfere. Razlikujemo kratke i duge asocijativne snopove.

Projekcijskim vlaknima nazivamo aferentne i eferentne putove moždane kore. Gotvo sva projekcijska vlakna skupljena su u području kapsule interne. Ona se nastavlja u krura cerebri.

Na horizontalnom presjeku izgleda kao prema lateralno otvoreno slovo V.

BAZALNI GANGLIJI LATERALNOG TELENCEFALONA

Bazalni gangliji su subkortikalne jezgre koje su nastale iz telencefalona. Treba spomenuti kako globus pallidus nastaje iz diencefalona, iako se klasično on opisuje kao bazalni ganglij telencefalona. Globus pallidus, te retikularne jezgre talamusa u funkcionalnom smislu ubrajamo u subtalampus.

Strukture koje sačinjavaju bazalne ganglije lateralnog telencefalona su corpus striatum (nucleus caudatus, putamen i globus pallidus), i claustrum.

LIMBIČKI REŽANJ

Za osnovnu morfološku koncepciju limbičkog režnja osobito je važno shvatiti kontinuirani prijelaz pojedinih struktura s bazalne površine mozga u tvorbu na njegovoj medijalnoj površini koje poput luka prate korpus kalozum.

Limbički režanj počinje u području ispred lamine terminalis i kružno obuhvaća korpus kalozum. Na režnju razlikujemo unutarnji (bliži korpusu kalozumu) i vanjski dio.

Unutarnji dio limbičkog režnja počinje kao gyrus paraterminalis (gyrus subcallosus) koji je nastavak dijagonalnog tračka (gyrus diagonalis) na bazi mozga. Prema gore se gyrus paraterminalis nastavlja u induseum griseum, tanki sloj sive tvari koji prekriva korpus kalozum. Na induseum griseum razlikujemo dva parna, tanka, uzdužna tračka. To su striae longitudinalis mediales et laterales. Lateralni trački prekriveni su donjim rubom girusa cinguli (teniae tectae) a medijalni su dobro vidljivi (teniae liberae). Dio induseum griseuma, smješten u medijalnoj liniji između dvije medijalne strije, zovemo induseum verum. Induseum griseum obavlja splenijum korporis kalozum i ispod njega se nastavlja u dvije uske vijuge, gyrus fasciolaris i gyrus dentatus. Gyrus dentatus se nalazi u dubini duboke brazde, sulcus hippocampi.

Ovaj je nastavak brazde sulcus corporis callosi. Sulcus hippocampi izbočuje limbički korteks u donji rog lateralnih moždanih komora i tako nastaje hippocampus (hippocampus proper). Ventrikularnu površinu hipokampusa prekriva sloj bijele tvari, alveus koji prelazi u snop, fimbria hippocampi. Prednji dio hipokampusa strši u moždanu komoru i završava proširenjem pes hippocampi.

Gyrus dentatus leži u dubini hipokampalne brazde pa se vidi samo njegov nazubljeni rub, margo dentatus. Završni dio girusa dentatusa gubi zubiće, zavija pod pravim kutem i prelazi preko unkusa. Uz girus dentatus nalazi se već spomenuta fimbria hippocampi, bijeli nabor koji prati tok girusa dentatusa. Odijeljuje ih plitka brazda u kojoj leži mala vijugica gyrus fasciolaris. Ispod splenijuma korporis kalozum gyrus fasciolaris postaje deblji, a gyrus dentatus tanji pa se čini da se jedna vijuga nastavlja u drugu. Hippocampus, gyrus dentatus i gyrus fasciolaris zajedno čine formatio hippocampi. Odnos pojedinih dijelova hipokampalne formacije najbolje se vidi na presjeku kroz donji rog lateralnih moždanih komora. Fornix je nastavak fimbrije hipokampusa a završava u mamilarnim jezgrama hipotalamusa.

Vanjski dio limbičkog režnja tvore area subcallosa, gyrus cinguli, isthmus gyri cinguli i gyrus parahippocampalis. Gyrus cinguli počinje ispod rostruma korporis kalozum kao nastavak supkalozne areje, area subcallosa i kružno obuhvaća korpus kalozum. Gyrus cinguli omeđuju s jedne strane sulcus corporis callosi i sulcus hippocampi a s druge strane sulcus cinguli, koji se prema natrag nastavlja u sulcus subparietalis. Iza splenijuma korporis kalozum zajedničko stablo parijetookcipitalnog sulkusa i sulkusa kalkarinusa sužava gyrus cinguli u isthmus gyri campalis. Parahippokampalni girus omeđen je prema gore i medijalno sa sulcus rhicinus, a s vanjske strane omeđen je sa sulcus collateralis u stražnjem i sa sulcus rhicinus u prednjem dijelu. Na parahippokampalnom girusu razlikujemo nekoliko područja. U dubini hipokampalne

brazde (sulcus hippocampi) ispod girusa dentatusa i hipokampus nalazi se subiculum. Dio koji leži izvan te brazde je regio presubicularis. Prednje područje parahipokampalnog girusa je regio entorhinalis. Hipokampalna brazda ulazi duboko u prednji medijalni dio parahipokampalnog girusa pa on ima oblik kuke, uncus gyri parahippocampalis. Područje kore unkusa okružuje corpus amygdaloideum pa ga nazivaju regio periamygdaloidea. Između periamygdaloidnog područja i lateralnog njušnog tračka leži polje sive tvari, tzv. prepiriformni korteks.

SUBKORTIKALNE JEZGRE LIMBIČKOG TELENCEFALONA

Corpus amygdaloideum čine dvije skupine jezgara smještene na vrhu donjeg roga lateralnih moždanih komora, i to uz njegov prednji, gornji imedijalni zid. Korpus amygdaloideum je obložen periamygdaloidnim korteksom koji čini unkus i granično područje prema prepiriformnom korteksu. Korpus amygdaloideum spaja se s okolnim jezgrama, i to s repom nukleusa kaudatusa, s ventralnim dijelom klaustruma i s putamenom. Tvore ga dvije skupine jezgara: kortikomedijalna i bazolateralna. Kortikomedijalna skupina bliža je putamenu i nukleusu kaudatusu. Te jezgre primaju vlakna lateralnog njušnog tračka i funkcionalno su povezane s njušnim putem. U čovjeku je ta skupina jezgara manja od bazolateralne skupine što je posljedica redukcije njušnog sustava. Bazolateralna skupina jezgara nalazi se ispod korteksa unkusa s kojim je i povezana. To su lateralne bazalne i akcesorne bazalne amygdaloide jezgre koje funkcionalno pripadaju limbičkom sustavu.

Spojno mjesto između glave nukleusa kaudatusa i putamena (ventromedijalno) naziva se nukleus akumbens septi, koji se također može ubrojiti u limbičke subkortikalne jezgre.

SEPTUM TELENCEPHALI

Septum je malo područje na rostralnom kraju medio-bazalnog telencefalona, smješteno neposredno rostralno od linije koja povezuje interventrikularni otvor i prednji rub hijazme.

Septum se razvija iz medijalnog «neparanog» slabo razvijenog dijela telencefaličkog mjehurića što se naziva telencephalon impar.

KRVNO-MOŽDANA BARIJERA

1. Mnoge molekule koje se nalaze u krvotoku i mogu slobodno prodirjeti u bilo koji organ nisu u mogućnosti ući u mozak.

MOŽDANE OVOJNICE, MENINGES

Mozak i medula spinalis su veoma osjetljive strukture koje su zaštićene: 1. koštanim oklopmo, 2. moždanim ovojnicama i 3. cerebrospinalnim likvorom u koji je uronjen mozak.

Postoje tri ovojnice koje odjeljuju mozak i medulu spinalis od koštanog oklopa lubanje i koštanog kanala medule spinalis. To su, gledano izvana prema unutra:

1. tvrda moždana ovojnica, dura mater ili pachymeninx koja je prirasla uz kost,
2. paučinasta ovojnica, arachnoidea i
3. meka ovojnica ili pia mater koja je bogato opskrbljena krvnim žilama i izravno prislonjena uz površinu mozga.

Arahnoidea i pia mater se zbog sličnosti u građi zajednički zovu leptomeninx. Pia mater i arahnoidea odijeljene su međusobno subarahnoidalnim prostorom, cavum subarachnoideale, koji je ispunjen cerebrospinalnim likvorom. Između arahnoidee i dure mater nalaze

Dorzalni tanki dio je septum pelucidum. Ventralni zadebljani dio je septum verum. Jezgre septalnog područja nalaze se u području dna septuma (nucleus septi lateralis), u dubokom sloju partrinalnog girusa (nucleus septi medialis), u dijagonalnom girusu (nuclei diagonalis) i u donjem produžetku nukleusa kaudatusa (nucleus accumbens septi).

NJUŠNI DIO MOZGA (RHINENCEPHALON)

Rhinencephalon je dio mozga koji putem traktusa olfaktoriusa prima direktne niti iz bulbosa olfaktoriusa i povezan je s funkcijom njuha. U čovjeka rhinencephalon zauzima vrlo malo područje na centralnom dijelu bazalne površine mozga.

LATERALNE MOŽDANE KOMORE

U moždanoj masi telencefalona smješten je odgovarajući dio ventrikularnog sustava velikog mozga, koji se razvitkom ganglijskih masa reducira. Komunikacija između ventrikularne šupljine telencefalona i diencefalona, koja je prvobitno bila široka, suzuje se i tako nastaje foramen interventriculare.

Lateralne moždane komore su rasle slijedeći rast hemisfera u smjeru prema natrag i zavile se u luku prema dolje i naprijed, pa na njima razlikujemo četiri dijela. Sprijeda je uski, s konveksitetom prema medijalno zavijen prednji rog, cornu anterius (frontalis), u središtu se nalazi horizontalno položen parijetalni dio, pars centralis. Prema natrag slijedi opet lučno zavijen stražnji rog, cornu posterius (occipitalis), a prema temporalnom režnju odvaja se donji rog, cornu inferior (temporalis).

Liquor cerebrospinalis stvara se u moždanim komorama, koje međusobno komuniciraju. Obje lateralne moždane komore povezuje s trećom komorom foramen interventriculare (Monroi). Treća moždana komora je Sylviusovim vodovodom (aqueductum) povezana s četvrtom moždanom komorom. Kroz Magendijev i Luschkinove otvore cerebrospinalna tekućina dolazi u subarahnoidalni prostor, gdje ispunjava cisterne i giba se prema konveksitetu mozga. Putem Pacchionijevih granulacija cerebrospinalni likvor prelazi u vensku krv.

se subduralni prostor, cavum subdurale, a ispunjava ga također tekućina.

Nakon odstranjenja moždanih masa iz lubanje opažaju se debele pregrade što ih tvore duplikature dure mater, a nastaju izbočenjem meningealnog sloja u lubanjsku šupljinu. Te pregrade međusobno razdvajaju pojedine dijelove mozga, pružaju potporu pojedinim dijelovima mozga i na taj način osiguravaju njihov stalan položaj prilikom raznih kretanja i položaja glave.

Neke pregrade su postavljene sagitalno (falx cerebri i falx cerebelli), a druge su postavljene transverzalno (tentorium cerebelli i diaphragma sellae). Duplikature dijele šupljinu lubanje u dva lateralna prostora u kojima su smještene hemisfere velikog mozga i jedan stražnji prostor za mali mozak i moždano stablo. Ti prostori međusobno komuniciraju preko incisura tentorii, kroz koju prolazi moždano stablo.

KRVNE ŽILE MOZGA

Mozak opskrbljuju arterijskom krvlju četiri velike arterije: dvije aa. carotis internae i dvije aa. vertebrales. A. carotis interna opskrbljuje prednji, a a. vertebrales stražnji dio mozga. Granicu između oba područja koja opskrbljuju te dvije arterije čini linija što seže od parijetookcipitalne brazde na konveksitetu hemisfere velikog mozga do korpora mamilaria. Ispred te linije nalazi se područje a. karotis interne, a iza nje područje a. vertebrales. Krv iz mozga skupljaju duboke vene mozga i odvođe u venske sinuse koji se nalaze u duplikaturi dure mater. Većina krvi odlazi iz glave putem unutarnje jugularne vene koja izlazi na stražnjem dijelu vrata tik uz kralježničku moždinu.

PERIFERNI ŽIVČANI SUSTAV - SYSTEMA NERVORUM PERIPHERICUM

1. *Periferni živčani sustav povezuje središnji živčani sustav (mozak i kralježnična moždina) sa svim tkivima u tijelu i tako omogućuje pravodoban i cjelovit odgovor organizma na sve podražaje iz okoline i samog tijela.*

2. *Mozak i kralježnična moždina povezani su sa svim organima u tijelu brojnim živčanim vezama. Iz mozga se pruža 12 parova mozgovnih živaca, a iz kralježnične moždine 31 par spinalnih živaca. Spomenuti neuroni mogu biti osjetni, motorički, vegetativni i mješoviti.*

3. *Duž njihovih aksona podražaji teku u dva smjera : s periferije u središnje živčelje aferentnim vlaknima ulaze osjetne informacije iz različitih dijelova tijela informirajući nas o okolini. U obrnutom smjeru, eferentnim se vlaknima prema periferiji šalju motoričke i vegetativne zapovjedi koje upravljaju mišićjem i vegetativnim funkcijama.*

4. *Brojni lijekovi djeluju na funkcije perifernog živčanog sustava.*

MOŽDANI ŽIVCI, NERVI CRANIALES

Dio perifernog živčanog sustava što povezuje mozak s organima u glavi i vratu nazvani su moždani ili kranijalni živci, *nervi craniales (encephalici)*. Ovi živci prema kvaliteti vlakana koja ih čine mogu biti motorički, osjetni ili mješoviti. Živci izlaze iz mozga, ili pak u njega ulaze na osnovici mozga s iznimkom trohlearnog živca, a u lubanju ulaze ili izlaze kroz otvore u njezinoj bazi. Moždanih živaca ima dvanaest pari, premda je za neke pravilnije upotrijebiti naziv moždani put (vidni, slušni, njušni živac.)

1. *Njušni živci, nn. olfactorii.*

2. *Vidni živac, nervus opticus.*

3. *Okulomotorni živac, nervus oculomotorius*, pravi je motorički živac koji svojim vlaknima inervira sve vanjske mišiće oka osim dva (gornjeg kosog i lateralnog ravnog mišića). Živac ulazi u očnu šupljinu kroz gornju orbitalnu pukotinu (kao i trochlearis, abducens i optalmicus) i potom se u orbiti razgranjuje prema mišićima što ih inervira.

4. *Trohlearni živac, nervus trochlearis*, inervira gornji kosi mišić jabučice oka i jedini je živac što izlazi na dorzalnoj strani mozga, iza donjih kolikula.

5. *Trodjelni živac, nervus trigeminus*, mješoviti je živac što ga čini *portio major* (senzibilni dio) i *portio minor* (motorički dio). Vlakna trodjelnog živca izlaze iz mozga u području mosta i na bazi lubanje prije izlaska oblikuju polumjesečasti ganglij, *ganglion semilunare (Gasserii)*. Živac se ispred polumjesečastog ganglija dijeli na tri grane.

Živac oka, nervus ophthalmicus, prva je grana trodjelnog živca što ima osjetna vlakna kojima inervira gornju trećinu lica i prateće strukture (jabučicu i spojnicu oka, dio sluznice nosa, sluznicu paranazalnih sinusa, te kožu čela i gornje vjeđe).

Živac gornje čeljusti, nervus maxillaris, druga je grana trodjelnog živca što ima senzibilna vlakna kojima inervira srednji dio lica i prateće strukture (gornje zube, dio nosne šupljine i kože nosa, gornju usnu i donju vjeđu).

Živac donje čeljusti, nervus mandibularis, treća je grana trodjelnog živca kojoj je priključen i motorički korijen, *portio minor*, pa tako postaje mješovit živac. Sensibilna vlakna inerviraju donju trećinu lica i prateće strukture (j prednji dio jezika, zube donje čeljusti, sluznicu obraza, dno usne šupljine, kožu brade). Motorički dio živca inervira žvačne mišiće.

6. *Nervus abducens* je motorički živac što inervira gornji ravni mišić jabučice oka.

7. *Živac lica, nervus facialis*, mješovit je živac koji motoričkim vlaknima inervira mimične mišiće, te parasimpatičkim vlaknima inervira suznu, podjezičnu i podčeljusnu žlijezdu. Senzorička vlakna što ih živac prima od živca jezika prenose okusne podražaje iz vrha jezika u mozak.

8. *Vestibulokoklearni živac, nervus vestibulocohlearis (statoacusticus)*, vodi informacije iz unutrašnjeg uha.

9. *Nervus glossopharyngeus* je izrazito mješovit živac, te sadrži osjetna vlakna što prenose podražaje iz sluznice jezika i ždrijela, i motorička vlakna što inerviraju mišiće ždrijela i stražnjeg dijela jezika. Parasimpatička vlakna glosofaringealnog živca inerviraju žlijezde u sluznici ždrijela i podušne žlijezde, a senzorička vlakna nose okusne podražaje iz stražnje trećine jezika.

10. *Lutajući živac, nervus vagus*, je najduži moždani živac i sadrži motorička, osjetna, parasimpatička i senzorička vlakna. Živac izlazi iz mozga i dopire u vrat gdje prati karotidnu arteriju i dolazi u prsnu šupljinu. Tu lutajući živac daje mnoštvo važnih ogranaka i smješten je uz jednjak. Nakon prolaska kroz ošit živac dospje u trbušnu šupljinu gdje daje ogranke za probavni sustav sve do sredine debelog crijeva. Motorička vlakna lutajućeg živca inerviraju srce, glatke mišiće jednaka, dušnik i dušnice, želudac i veliki dio crijeva, te posebna grana lutajućeg živca inervira mišiće grkljana. Vlakna lutajućeg živca inerviraju i žlijezde spomenutih organa. Istodobno senzibilna vlakna lutajućeg živca prenose osjetne podražaje u mozak, a senzorička vlakna prenose okusni osjet iz stražnjeg dijela jezika i epiglotisa.

11. *Nervus accessorius*, motorički je živac kojeg vlakna inerviraju dva mišića vrata (sternokleidomastoidni mišić i trapezius).

12. *Podjezični živac, nervus hypoglossus*, motorički je živac što ulazi u jezik gdje inervira mišiće.

MOŽDINSKI ŽIVCI, NERVI SPINALES

Moždinski živci su dio perifernog živčanog sustava i uglavno su mješovito građeni, a njihova vlakna su aksoni motoričkih neurona iz prednjeg roga kralježnične moždine, ili su pak, periferni nastavci ganglijskih stanica kojih se jezgre nalaze u spinalnim ganglijima, a njihovi centralni neuroni ulaze kroz stražnji rog kralježnične moždine. Kralježničnu moždinu povezuju s periferijom 31 par moždinskih živaca što su segmentalno raspoređeni: 8 vratnih, 12 grudnih, 5 slabinskih, 5 krstačnih i 1 trtični par. Prednji motorički korijen, *radix ventralis*, i stražnji senzibilni korijen, *radix dorsalis*, probijaju tvrdu moždinsku ovojnici i kroz intervertebralni otvor izlazi iz kanala kralježnice. Prednje grane moždinskih živaca tvore spletove što daju ogranke u inervacijska područja, a stražnje grane su kraće i uglavnom inerviraju kožu i mišiće leđa u pripadnom inervacijskom području.

AUTONOMNI ŽIVČANI SUSTAV

Simpatički dio autonomnog živčanog sustava ima periferni dio što oblikuju dva lanca ganglija uz kralješnicu i središnji dio što je smješten u pojedinim dijelovima središnjeg živčanog sustava. Simpatički živčani sustav povezuje dovodnim i odvodnim vlaknima tkiva i organe sa centrima u kralježničnoj moždini i u mozgu (uglavnom tegmentum rombičkog i srednjeg mozga, te hipotalamus). Izlazni simpatički neuroni SŽSa smješteni su isključivo u kralježničnoj moždini (između prednjeg i stražnjeg roga) u grudnim i prva dva lumbalna segmenta. U glavu i vrat

dolaze putem krvnih žila, a u ostale dijelove tijela putem krvnih žila, prateći različite organe ili pridružujući se živcima (čak nekad i tvoreći samostalne simpatičke živce). Periferni dio simpatičkog živčanog sustava čine ganglije koje međuganglijska vlakna, rami interganglionares, međusobno spajaju u jedinstven lanac.

Parasimpatički dio autonomnog živčanog sustava ima jezgre u hipotalamičkom dijelu međumozga, srednjem mozgu, mostu i produženoj moždini. Izlazne jezgre smještene su u moždanom deblu i manjim dijelom u sakralnim segmentima kralježnične moždine. Ovi potonji služe inervaciji spolnih organa i ostalih organa smještenih u zdjelici. Ostatak parasimpatičke inervacije za tijelo dovodi živac lutilica.

U stijenci nekih šupljih organa (srce, crijeva) postoji i tzv. intramuralni živčani sustav što tvori ganglije i djeluje pod utjecajem simpatičkog i/ili parasimpatičkog sustava, te vjerojatno ima i određenu samostalnost djelovanja.

FUNKCIONALNA ORGANIZACIJA AUTONOMNOG ŽIVČANOG SUSTAVA

Većina je živaca koji nadziru motoričnu aktivnost mijelinizirana i električne podražaje prenosi brzo. Nasuprot tome živci koji nadziru vegetativne funkcije nemijelinizirani su i podražaje prenose sporije. Perikarioni (tijelo i dendriti) spomenutih motoričnih neurona nalaze se u jezgrama mozgovnih živaca i u prednjim rogovima kralježnične moždine, a dugački aksoni bez prekinuta toka završavaju na efektornim organima.

Perikarioni vegetativnih živaca nalaze se u nekim jezgrama mozgovnih živaca i u bočnim rogovima kralježnične moždine. Aksoni im ne završavaju izravno na efektornim organima, već se prekidaju i nastavljaju dalje tek nakon sinaptičkog prekapčanja u vegetativnim ganglijima. Svi vegetativni živci koji se pružaju od središta živčelja do ganglija nazivaju se preganglijskim, a živci koji se pružaju od ganglija do efektornog organa nazivamo postganglijskim. Očito da se perikarioni postganglijskih vegetativnih živaca nalaze u vegetativnim ganglijima.

Vegetativnim živčanim sustavom nazivamo dijelove središnjeg i perifernog živčelja koji upravljaju aktivnostima unutrašnjih organa: srca, pluća, krvnih žila, žlijezda s unutrašnjim izlučivanjem te probavnim, urogenitalnim i spolnim organima, metabolizmom, znojenjem temperaturom itd. Budući da se te funkcije najvećim dijelom zbivaju bez utjecaja svijesti, ovaj živčani sustav nazivamo i autonomnim. Spomenute su tjelesne funkcije od temeljnog značenja za održavanje života, pa ih, osim vegetativnog živčelja, nadzire i integrira i endokrini sustav. Bitna razlika između živčanog i endokrinog sustava jest u načinu prijenosa informacija. Kod endokrinog se ostvaruje pomoću kemijskih tvari-hormon koji krv prenosi po cijelom organizmu (endokrino). Kod živčanog sustava dolazi do brzog prijenosa električnih podražaja živcima koji na okrajinama oslobađaju kemijske supstance- neurotransmitore kojima djeluju na neposredno priležeće stanice (parakrino).

Vegetativno živčelje se i u funkcionalnom smislu dijeli u dva dijela: simpatikus i parasimpatikus.

Autonomno inervirani organi dobivaju inervaciju i od simpatikusa i od parasimpatikusa, a učinci simpatikusa i parasimpatikusa najčešće su u međusobnoj suprotnosti. Primjerice, simpatikus ubrzava, a parasimpatikus usporava srčanu akciju, simpatikus širi, a parasimpatikus sužava bronhe, simpatikus širi, a parasimpatikus sužava zjenice i td. Stoga su zdravlje i svrhovito funkcioniranje unutrašnjih organa određeni dinamičnom ravnotežom tonusa simpatikusa i presimpatikusa. Inhibicija ili blokada jednog od njih stvara privid da je onaj drugi hiperaktivan, i obrnuto. Postoje i iznimke od spomenutog pravila, te neki organi kao primjerice slezena, dobivaju samo jednu vrstu intervencije, u spomenutom slučaju simpatičke.

Simpatički dio vegetativnog živčelja aktivan je danju, i to poglavito kada smo izloženi naporima i stresu, a parasimpatički dio je povećanog tonusa tijekom noći. Simpatikus omogućuje organizmu primjereno reagiranje na napore i opasne situacije (bijeg, napad i sl.) te troši energiju, a parasimpatikus pomaže resorpciju tvari, probavu konzerviranje energije pa je esencijalan za održavanje životnih funkcija.

Simpatički preganglijski živci imaju perikarione u lateralnim rogovima kralježnične moždine od osmog cervikalnog do trećeg lumbalnog segmenta. Relativno kratka preganglijska vlakna pružaju se od lateralnih rogova kroz prednji rog prednjim korijenima do simpatičkih ganglija. Tih ganglija ima 22 duž obaju bokova kralježnične moždine, a povezani su u dva paravertebralna lanca (truncus sympathicus) položena u neposrednoj blizini kralježničkog stupa. U ganglijima se ostvaruje sinaptička veza između završetka preganglijskog živca i perikariona postganglijskog simpatičnog neurona. On ima dugačak akson koji se bez prekida pruža do efektornih organa.

Neurotransmitor koji omogućuje sinaptičku transmisiju između preganglijskih i postganglijskih simpatičkih živaca jest acetilkolin (Ach). Očito da je stoga preganglijski živac kolinergični, da se u vegetativnim simpatičkim ganglijima kao transmitor nalazi acetilkolin, te da se na perikarionima nalaze receptori za Ach. Ali neurotransmitor koji omogućuje transmisiju između postganglijskih simpatičkih živaca i efektornih stanica jest noradrenalin (NA). Znači da su postganglijski simpatički neuroni adrenergični, a da se na stanicama njemu priležećih organa nalaze adrenergični receptori. Iznimka su nekoliko postganglijskih živaca, koji anatomske pripadaju simpatičkom sustavu i projiciraju prema znojnicama te krvnim žilama vrata i lica, a kolinergični su.

Srž nadbubrežne žlijezde sadrži kromafine stanice koje su embriološki i anatomske homologne simpatičkim ganglijima, a način njihove inervacije jednak je kao i u svih simpatičkih ganglija. Dobivaju kolinergičnu inervaciju preko živaca čiji su perikarioni u lateralnim rogovima kralježnične moždine. No za razliku od drugih postganglijskih simpatičkih živaca, u nadbubrežnoj se žlijezdi uz noradrenalin oslobađa i adrenalin. Noradrenalin se često naziva norepinefrinom, a adrenalin epinefrinom.

Dio preganglijskih parasimpatičkih živaca ima perikarione u mezencefalonu i u produženoj moždini te grade kranijalni dio parasimpatičkog sustava. Drugi dio parasimpatičkih preganglijskih živaca ima perikarione u sakralnom dijelu kralješničke moždine, pa izgrađuje sakralni dio parasimpatikusa.

Preganglijski parasimpatički živci dugačkih su aksona koji završavaju u ganglijima smještenima u stijenci ili blizu stijenke efektnog organa. Stoga su postganglijska presinaptička vlakna vrlo kratka. Svi su parasimpatički živci, tj. svi preganglijski i svi postganglijski parasimpatički neuroni su kolinerični.

Kranijalni dio parasimpatičkog sustava inervira strukture glave, vrata, toraksa i abdomena. Živčana vlakna pridružuje III. (okulomotoriusu), VII. (fascialisu), IX. (glosofaringenusu) i X. mozgovnom živcu (vagusu). Sakralni dio parasimpatikusa formira pelvični živac te inervira bubrege, uretere, mokraćni mjehur, debelo crijevo i genitalije.

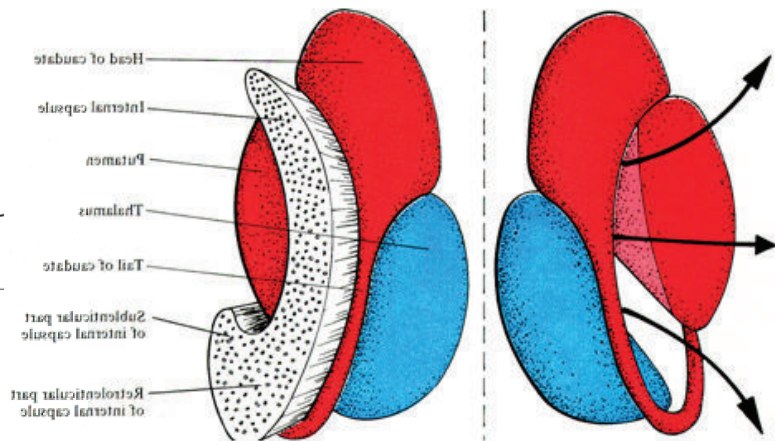
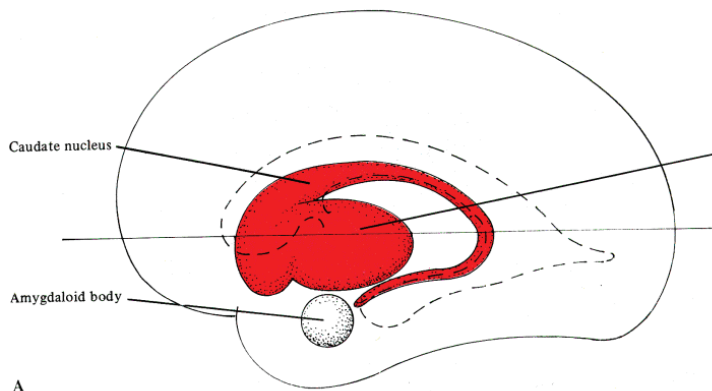
Uspoređujući simpatički i parasimpatički neurotransitorski sustav, valja istaknuti da stimuliranje simpatičkog sustava uzrokuje mnogo difuzniji učinak. Razlog je tome jedinstveno 8 centralizirano ishodište simpatičkog sustava pa se u slučaju stimulacije aktivira kao cjelina, te ekstenzivno grananje adrenergičnih živaca. Nasuprot tome, nadražaj kranijalnog ili

sakralnog dijela parasimpatičkog sustava uzrokuje mnogo lokaliziraniji učinak. Iz toga proistječu razlike u širini rasprostranjenosti učinka između simpatikusa i parasimpatikusa. Naime, povećanje simpatičkog tonusa nužno za reagiranje u stresnim situacijama mora aktivirati cijeli organizam pa je povećan sistemni krvni tlak, srce kuca ubrzano i snažnije, perifuzija skeletnog mišića krvlju je povećana, razina šećera u krvi je povišena, bronhi i zjenice su prošireni itd. Budući da nadražaj parasimpatikusa usporava srčanu akciju, ruši krvni tlak, potiče peristaltiku u probavnom sustavu, sužava bronhije, uzrokuje mikciju i defekaciju te suženje i slinjenje, očito da difuzna aktivacija svekolikog parasimpatikusa nije poželjna.

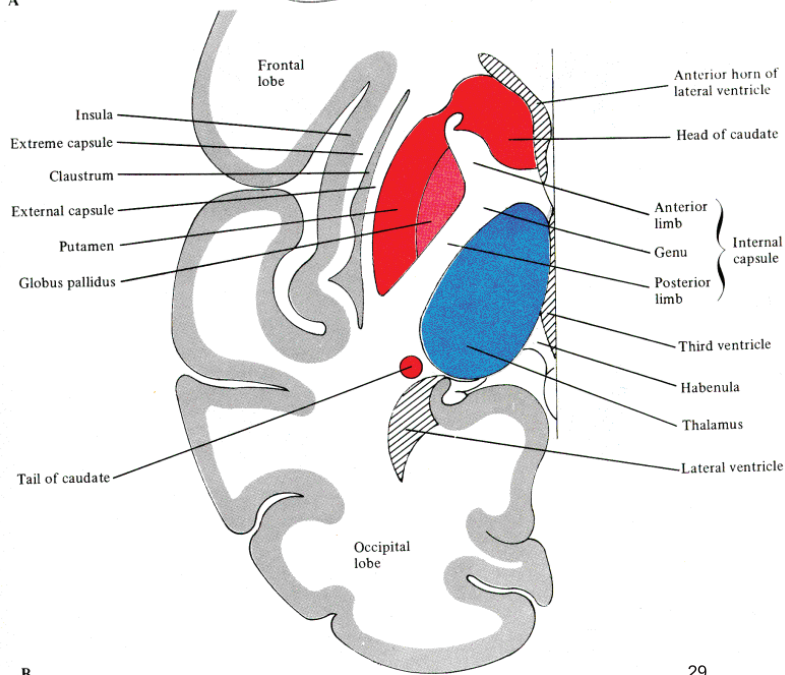
1. Što zapravo rade živci?

2. Fenilepinefrin je lijek koji se propisuje u svrhu povećanja krvnog tlaka u situacijama kada je to potrebno, te on djeluje na povećanje aktivnosti noradrenergičke sinapse. Kako on povećava krvni tlak? Zašto je koža u tim situacijama naježena? Koje se još druge nuspojave mogu očekivati?

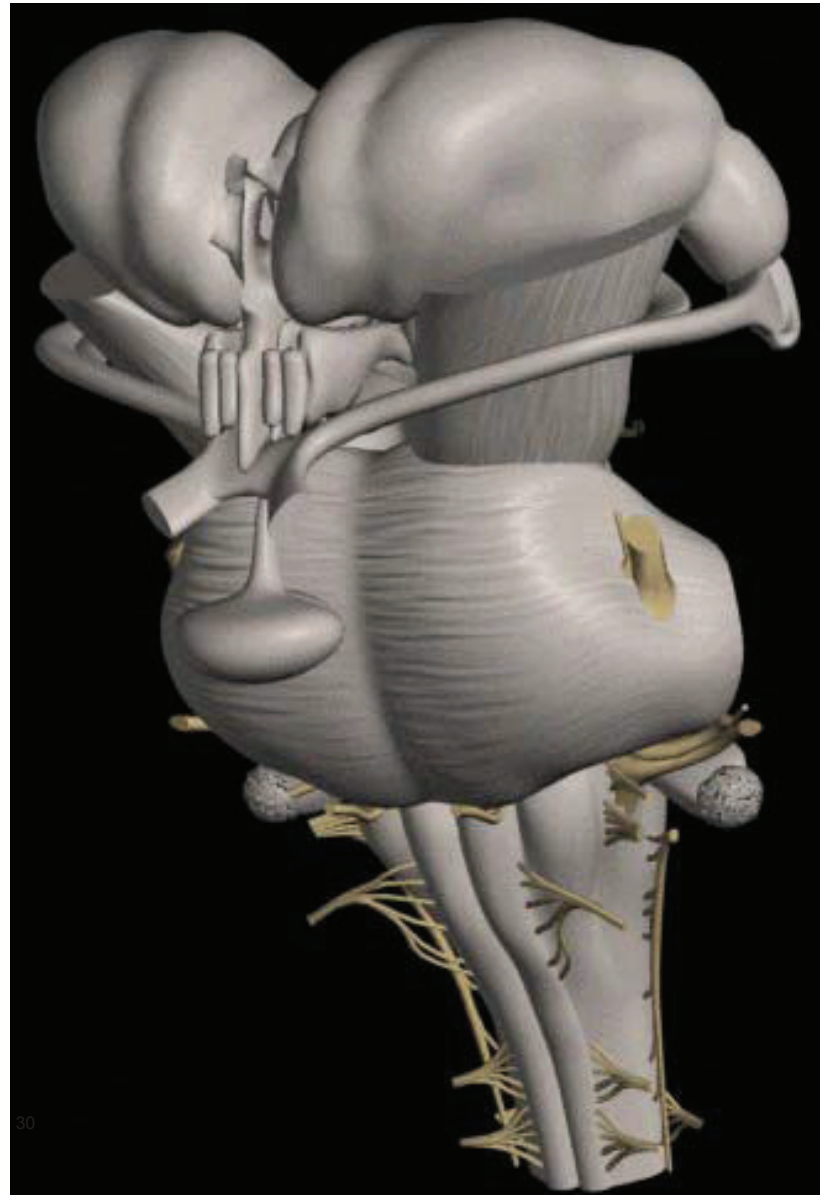
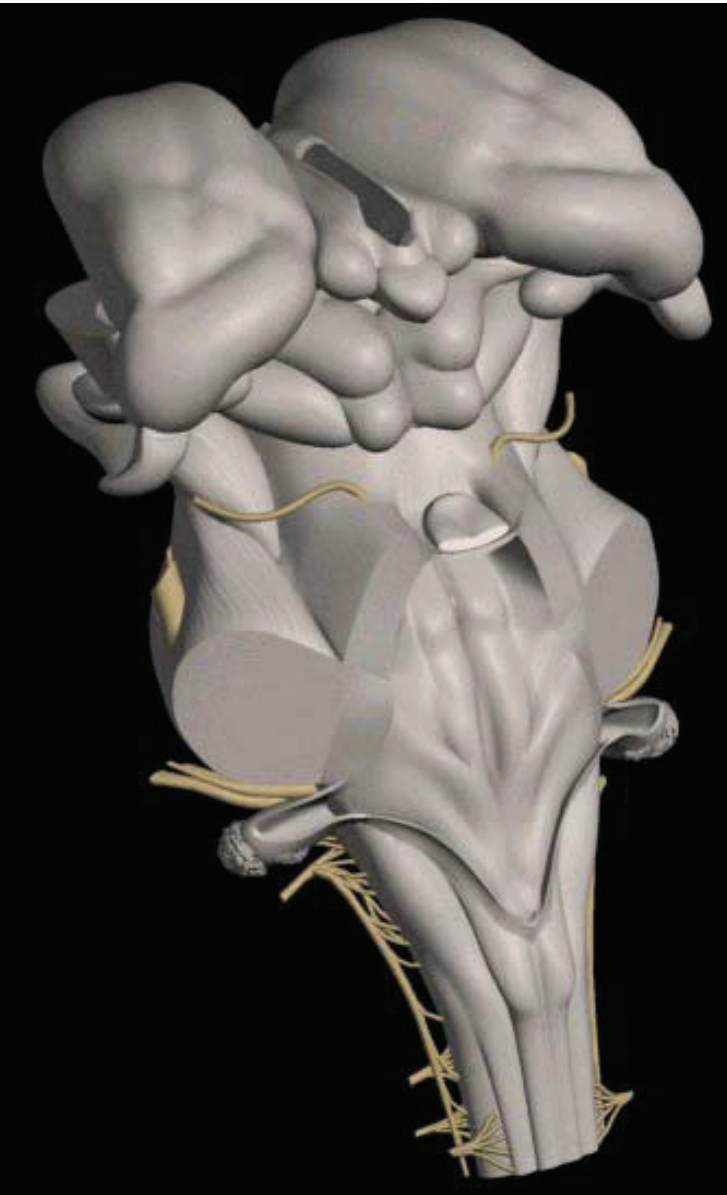
Termini: somatski živčani sustav, autonomni živčani sustav, lamina, kolumna, trakt, jezgra, ganglij, girus, sulkus, fisura, spinalni ganglij, siva tvar, bijela tvar, tektum, gornji i donji kolikuli, tegmentum, substancija nigra, limbički režanj, hipofiza, endokrine žlijezde, hipokampus, forniks, fimbrija, korpus kalozum, prednja komisura, centralni sulkus, precentralni i postcentralni girus, fisura kalkarina, prefrontalna lobotomija, test odgođenog odgovora.

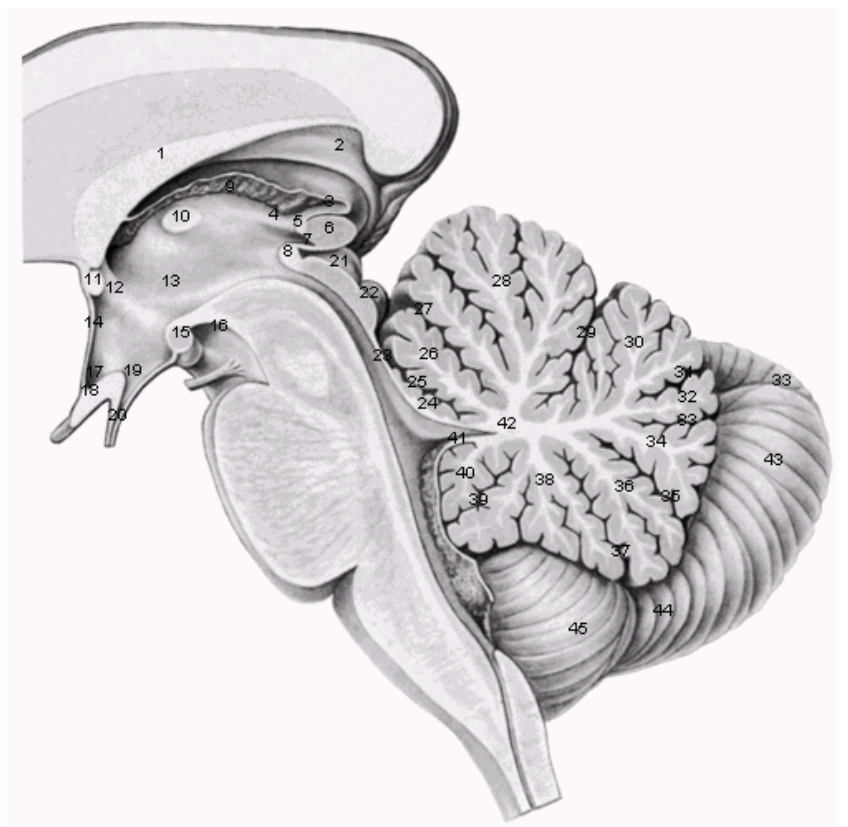
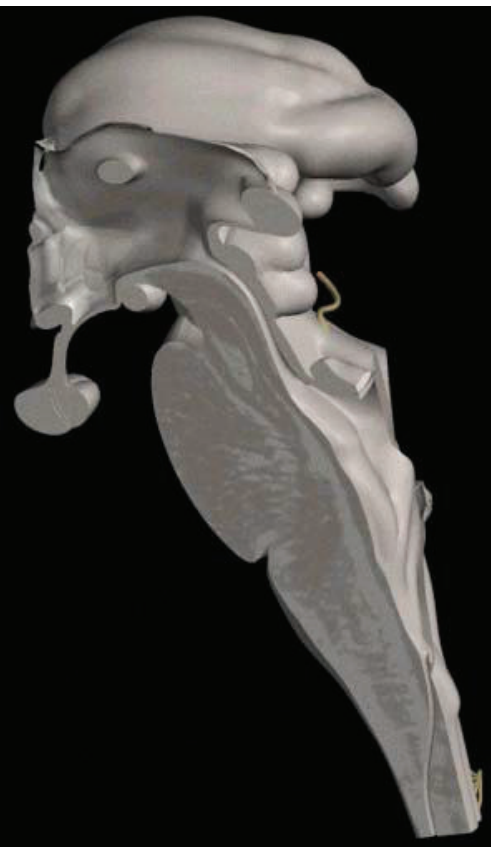


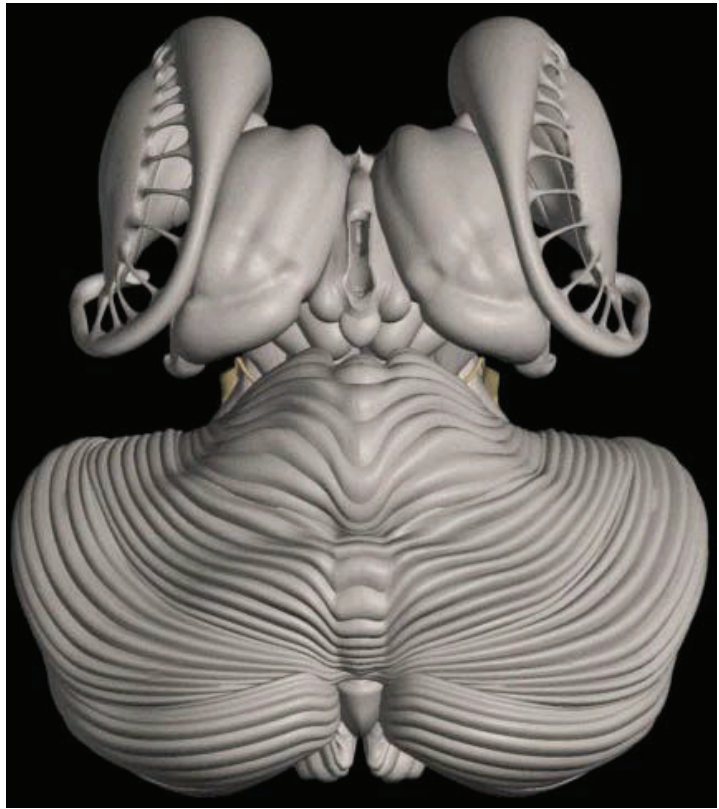
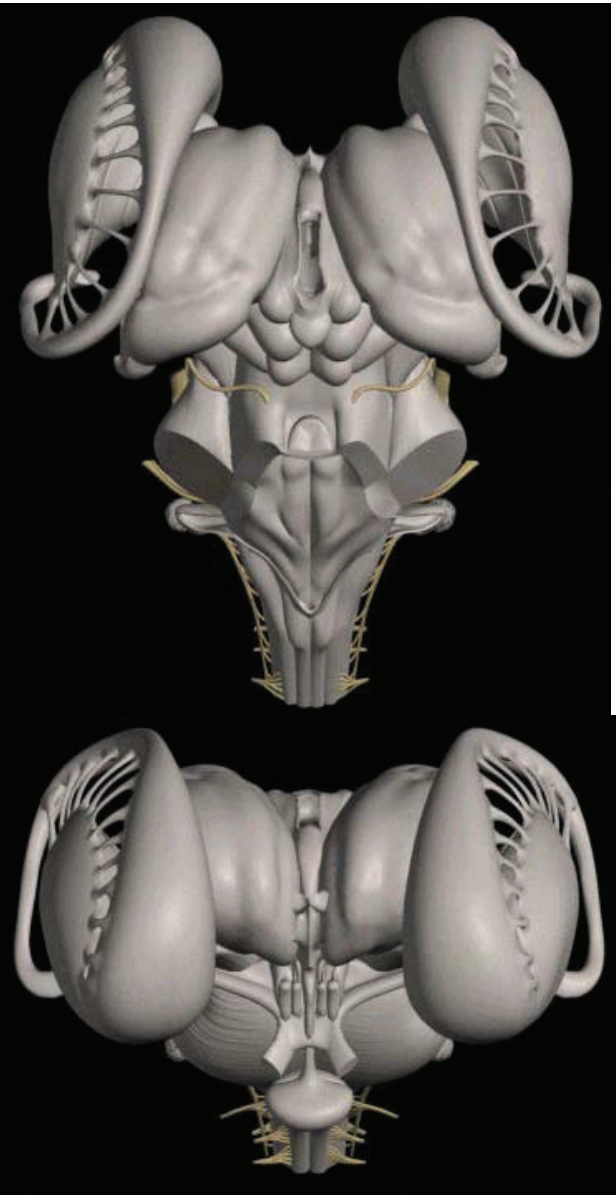
A

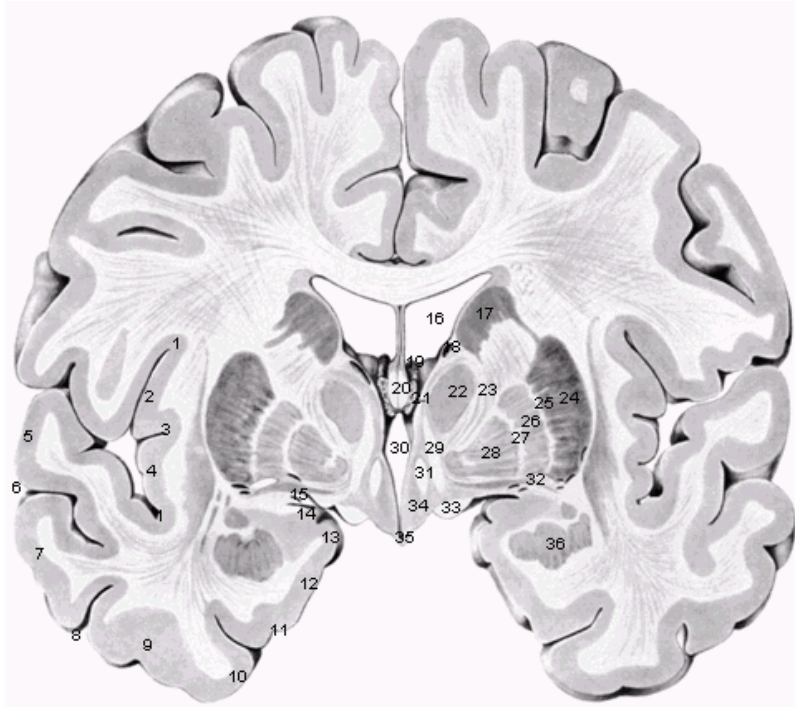
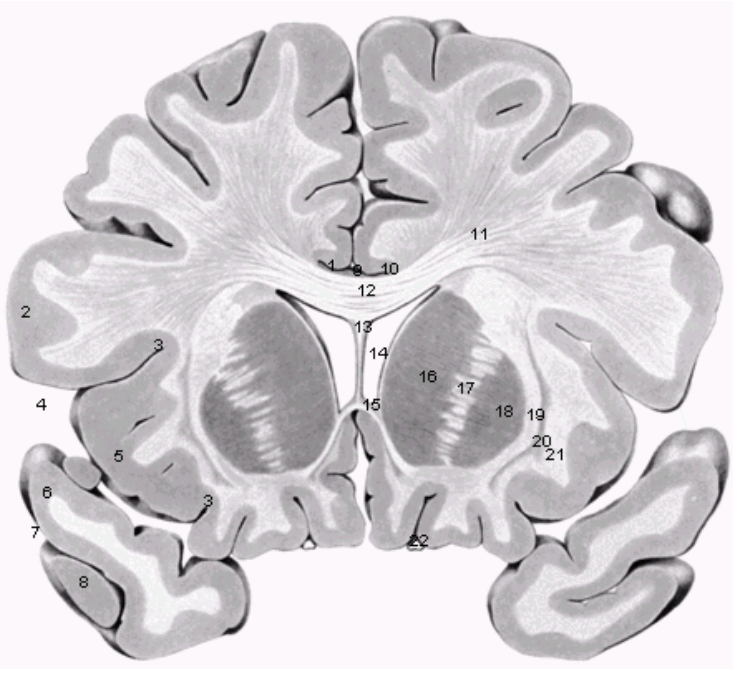


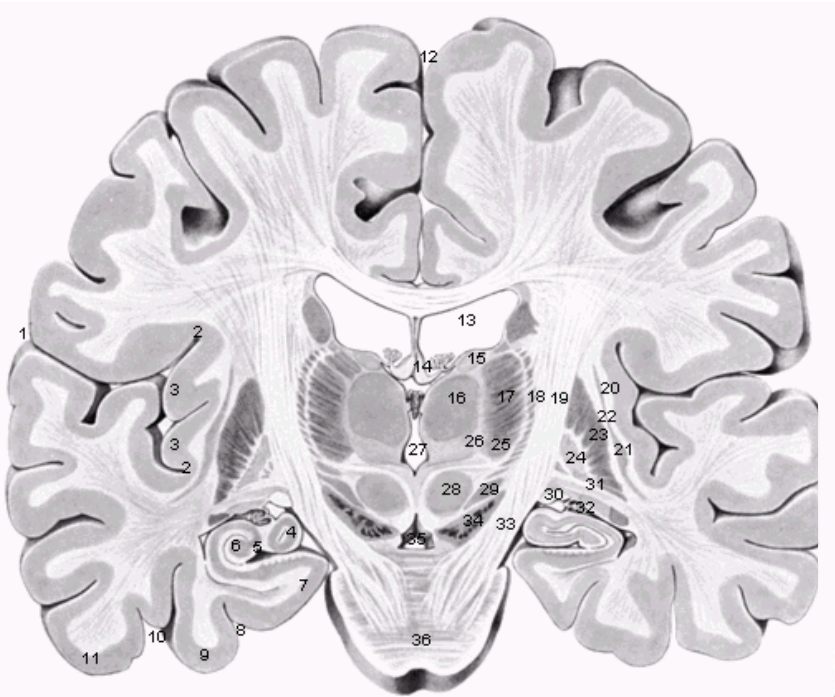
R

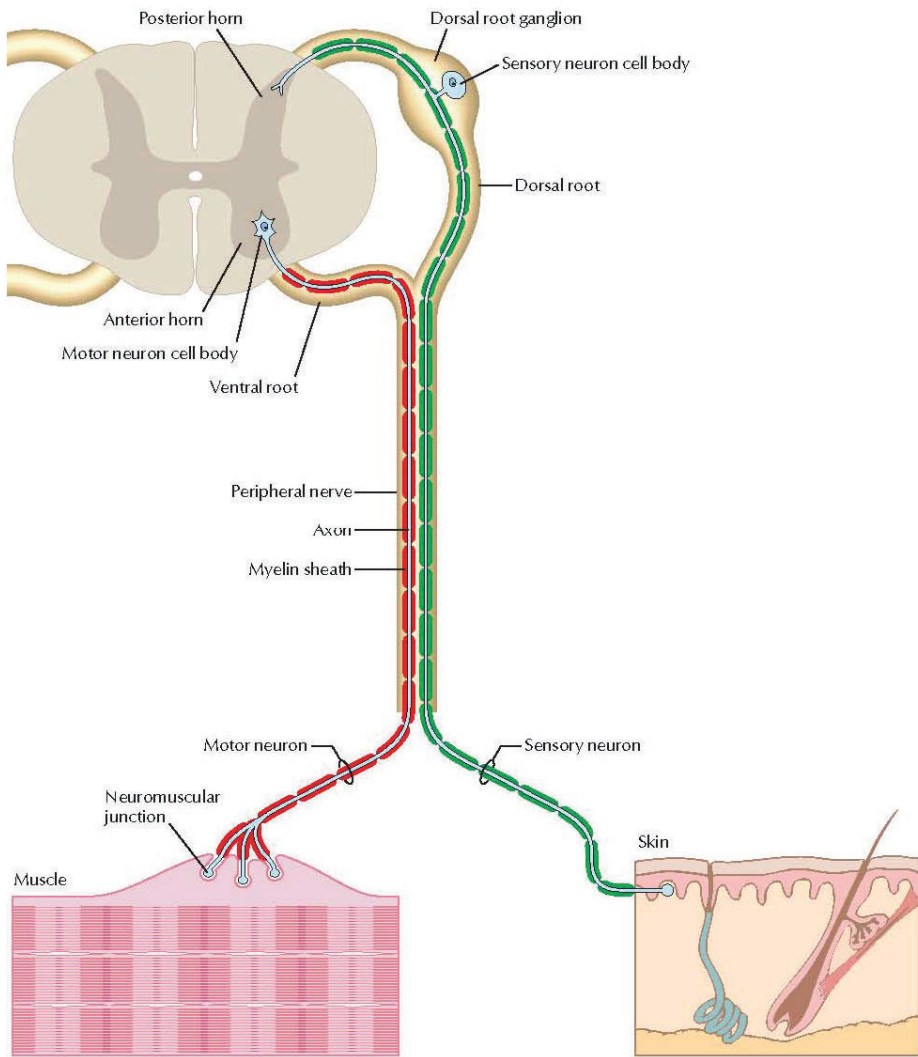


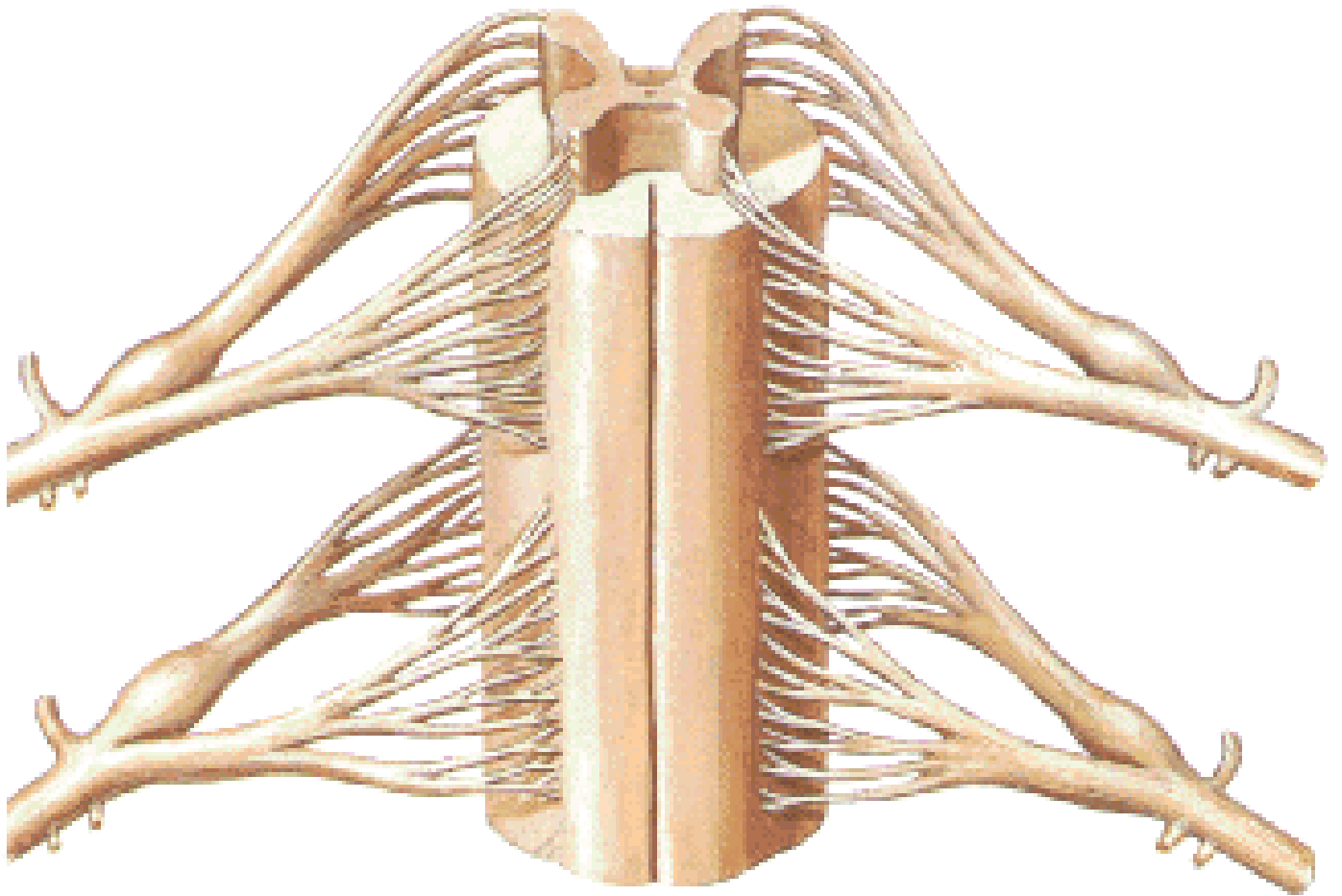




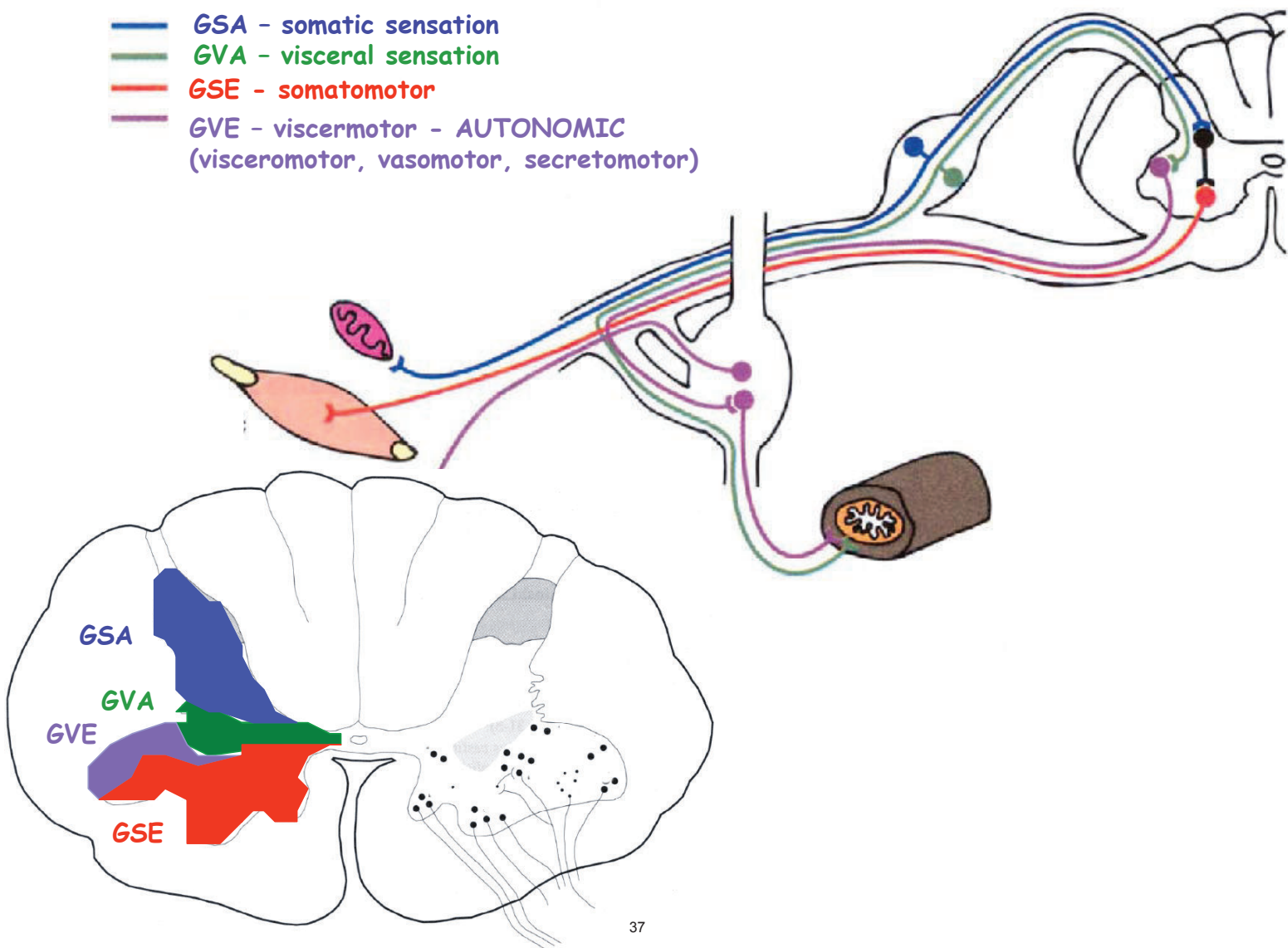


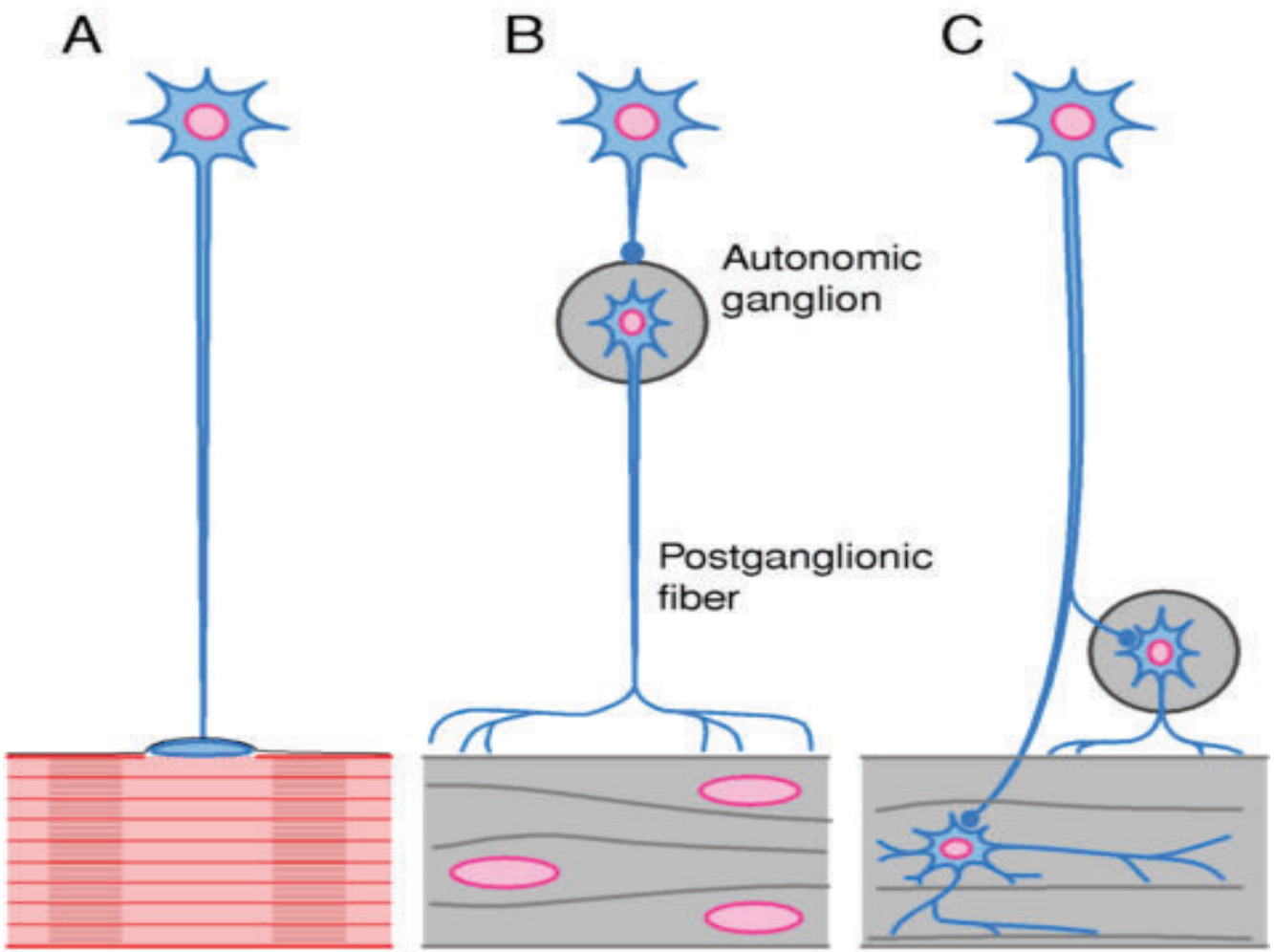


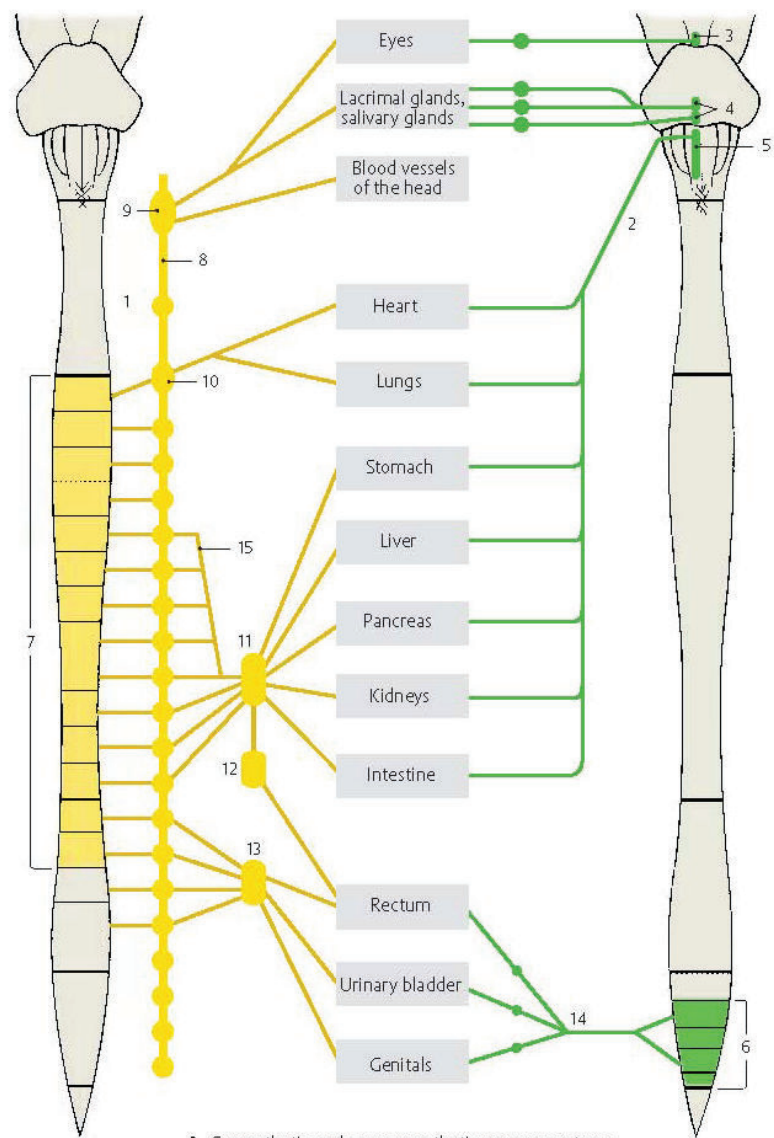




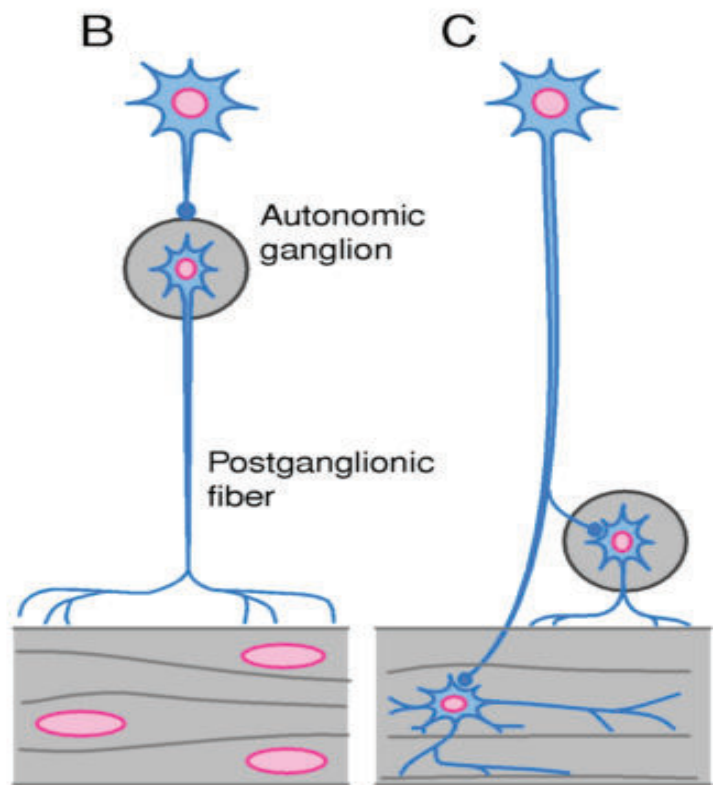
- GSA - somatic sensation
- GVA - visceral sensation
- GSE - somatomotor
- GVE - visceromotor - AUTONOMIC
(visceromotor, vasomotor, secretomotor)



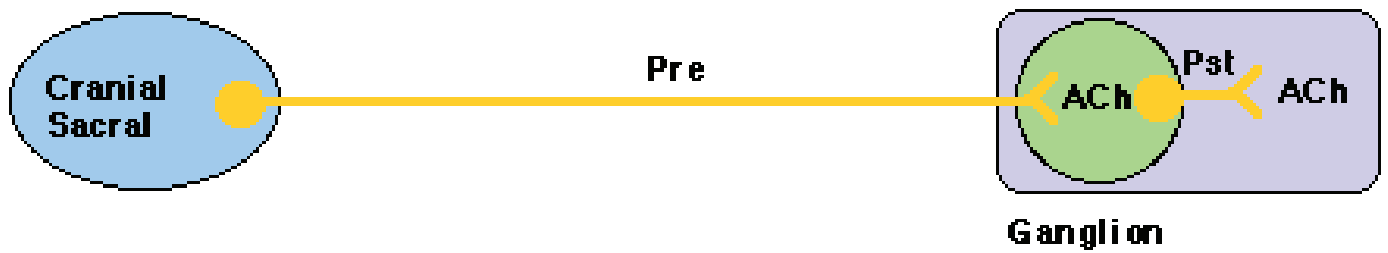




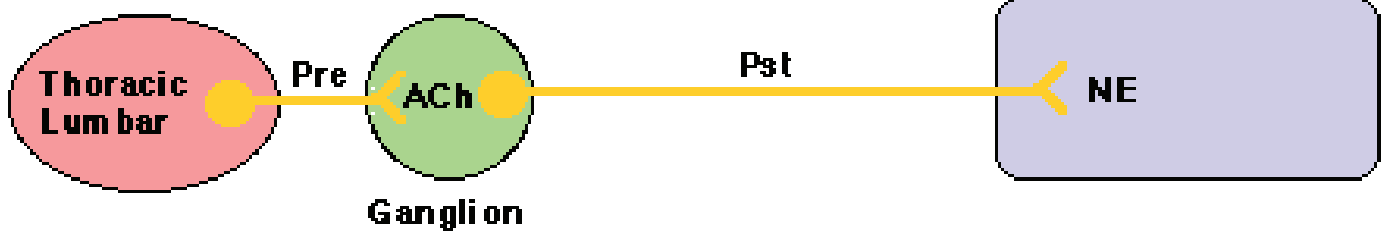
A Sympathetic and parasympathetic nervous systems (adapted from *Villiger and Ludwig*)



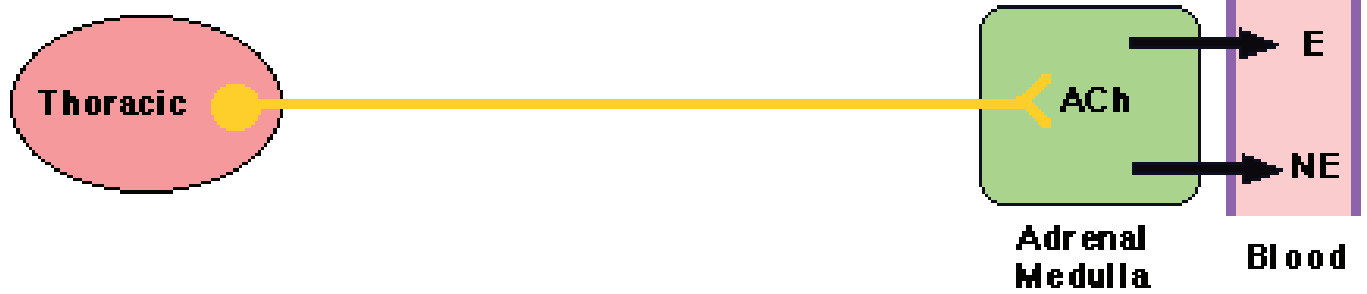
Parasympathetic:



Sympathetic:



Adrenal Medulla:



OSJETNI I MOTORNI SUSTAVI

STANIČNI TEMELJI PONAŠANJA I NAČELA OSJETNIH SUSTAVA

- 1. Svaka vrsta receptora pretvara specifičnu vrstu energije u akcijski/receptorski potencijal, te u živčani signal.*
- 2. Ovakav živčani signal zapravo predstavlja kod kojeg mozak može obrađivati. Kodirana informacija nema nikakve fizičke veze sa podražajem. Tako su zapravo vidna i somatosenzibilna informacija jednake u mozgu.*
- 3. Neuron razlikuje vrstu senzibilnih informacija prema putevima kojima mu te informacije dolaze i u koje dijelove mozga odlaze. Mozak je taj koji ima "odjeljke" za različite vrste informacija, samo se "kablovi" trebaju prespojiti u odgovarajuće utičnice.*

OSJETNI SOMATSKI SUSTAV I KEMIJSKI OSJETI

- 1. Somatosenzibilni sustav prenosi informacije od mnogobrojnih vrsta receptora smještenih u koži i sluznicama unutarnjih organa, pa čak i u mišićima, tetivama i zglobovima.*
- 2. Prijenos somato senzibilnih informacija odvija se kroz nekoliko glavnih sustava, te veći broj podsustava koji su organizirani u paralelne neuralne mreže.*

ANTEROLATERALNI OSJETNI SUSTAV (sl. TNZ 23-3)

Anterolateralni sustav zadužen je za prijenos bolnih i temperaturnih podražaja. Prvi neuron tog sustava je pseudounipolarna stanica senzibilnih ganglija. Ova stanica nema dendrite, a akson joj se neposredno nakon izlaska iz stanice podijelu u periferni i centralni krak. periferni krak odlazi u organ iz kojeg dovodi podražaj, a centralni ulazi u središnji živčani sustav. To znači da do širenja impulsa u pseudounipolarnom neuronu dolazi u smjeru od perifernog do centralnog aksonskog završetka.

Za osjet iz područja trupa prvi se neuron nalazi u spinalnom gangliju. Spinalni gangliji smješteni su u postraničnim otvorima koji se nalaze između dva kralješka (intervertebralni otvori). Kod čovjek se nalazi 31 par spinalnih ganglija. Centralni krak pseudouniplarnih neurona ulazi u kralježnični kanal te tvori stražnji korijen (radix posterior) kroz koji ulazi u stražnji rog medule spinalis (kralježnične moždine). Siva tvar medule spinalis podijeljena je u stražnji-senzibilni i prednji-motorički rog, te se sastoji od deset slojeva. Slojevi I-V/VI (stražnji rog) pripadaju senzibilnom sustavu i u njima se prekapčaju senzibilni aksoni. Za prijenos bolnih podražaja posebno je značajan sloj II (substancija gelatinosa).

Drugi se neuron nalazi u stražnjem rogu medule spinalis odakle odlaze aksoni kroz bijelu tvar do talamusa. Treći neuron nalazi se u ventroposterolateralnoj talamičkoj jezgri, odakle se projicira u primarno somatosenzibilno područje korteksa koje je smješteno u najrostralnijem (prednjem) girusu parijetalnog režnja-girus postcentralisu. Ovo područje odgovara Brodmannovima arejama 1,2,3.

Senzibilna informacija koja je iz medule spinalis došla u somatosenzibilno područje korteksa dolazi sa suprotne strane. Vlakena spinotalamičkog sustava u potpunosti su ukrižena.

Sažimajući, spinotalamički anterolateralni sustav može se prikazati na slijedeći način:

1. neuron - pseudounipolarne stanice spinalnog ganglija,
2. neuron - medula spinalis, stražnji rog,
3. neuron - talamus, ventroposterolateralna jezgra,
4. neuron - korteks, primarno somatosenzibilno područje, parijetalni režanj, girus postcentralis, areje 1,2,3.

No ovaj sažetak odnosi se zapravo na osnovnu komponentu, a to je lateralni spinotalamički put. Ovo je filogenetski najmlađi put, te ga se gotovo ne nalazi u glodavaca, a dobro je razvijen tek u primata. Ovaj put ima u cijelom tijeku vrlo dobro očuvanu topografsku distribuciju i precizno je somatotopski ustrojen.

Osim prekapčanja u ventroposterolateralnoj jezgri (kao specifičnoj jezgri somatskog senzibilnog sustava), aksoni spinotalamičkog puta još završavaju i u:

1. drugim dijelovima talamusa; intralaminarnim jezgrama, jezgrama središnje linije i retikularnim jezgrama.
2. retikularnoj tvari moždanog debla, te
3. substanciji griseji centralis (središnjoj sivoj tvari) mezencefalona.

Ovdje treba uočiti da sve ove strukture pripadaju (prema klasičnoj podjeli) u tzv. nespecifični sustav, a koji ima vrlo značajnu ulogu u održavanju svijesti.

KAKO SE MOŽE REGULIRATI ULAZ BOLNIH PODRAŽAJA?

Zasigurno će većina čitatelja kao opće poznatu činjenicu prihvatiti podatak da kod opsežnih i teških povreda u prvo vrijeme (desetak minuta, ali nekada i više) takve osobe ne osjećaju nikakvu bol, iako se nalaze pri punoj svijesti. No postavlja se pitanja zašto je to tako:

1. U retikularnoj formaciji moždanog debla nalaze se jezgre čiji se neuroni projiciraju na senzibilne neurone stražnjeg roga medule spinalis. To su

skupine rafe jezgara, koje izlučuju serotonin, te skupine jezgara lokus ceruleus, koje izlučuju noradrenalin. Ovi neurotransmitori inhibiraju neurone stražnjeg roga medule spinalis, te tako prekidaju prijenos senzibilnih informacija prema mozgu.

2. Prije navedene jezgre retikularne formacije ekscitirane su od neurona središnje sive tvari mezencefalona.

To znači, da u situaciji kada iznenadno dolazi do pojave velikog broja bolnih (nociocepcijskih) podražaja, dolazi do aktivacije sustava koji inhibira **drugi neuron** u tom prijenosu (neuron stražnjeg roga medule spinalis). Ova aktivacija može biti izravna (opisano pod 1), ili neizravna (opisano pod broj 2).

Osim toga, do prekidanja sustava prijenosa informacija može doći i na razini **trećeg neurona**, tj. mogu se inhibirati neuroni ventroposterolateralne jezgre talamusa. To se može dešavati na slijedeći način:

3. Retikularna jezgra talamusa sadrži inhibicijske GABA-ergičke neurone koji se projiciraju u sve druge (poglavitito u specifične) talamičke jezgre. To znači da se ova jezgra u istim situacijama zajedno aktivira kao i gore navedene jezgre (pod 1 i 2), što dovodi do aktivacije GABA-ergičkih neurona i inhibicije neurona ventroposterolateralne jezgre talamusa.

Iz ovih se podataka može zaključiti i nešto drugo. Sve ove strukture, kao i druge talamičke jezgre u kojima zavše talamokortikalna vlakna (intralaminarne, te jezgre središnje linije), dio su uzlaznog aktivirajućeg sustava (reguliraju stanja svijesti, te ritam spavanja i budnosti). Zbog tog je u potpunosti jasno kako obične senzibilne informacije mogu utjecati na stupanj budnosti i stanja svijesti.

Osim na razini drugog i trećeg neurona, sustav unutarnje (endogene) analgezije može djelovati i na razini **prvog neurona** (pseudounipolarnog u spinalnom gangliju).

4. U stražnjem rogu leđne moždine nalazi se mnoštvo interneurona koji izlučuju endogeni opijadni neuropeptid enkefalin. Enkefalinski receptori nalaze se na završecima aksona pseudounipolarnih neurona, ali i projekcijskih neurona stražnjeg roga. Zbog toga izlučivanje enkefalina inhibira djelovanje prvog neurona, ali također i aktivnost drugog neurona somatosenzibilnog sustava. Do aktivacije enkefalinskih neurona dolazi:

- a) pod utjecajem silaznih monoaminergičkih (serotonin i noradrenalin) aksona, te
- b) pod utjecajem pseudouniplarnih neurona koji prenose informacije od mehanoreceptora (receptori za dodir). To znači da aktivnošću mehanoreceptora možemo aktivirati enkefalinske neurone koji će zatim inhibirati drugi neuron sustava za prijenos bolnih informacija. Na taj način se može objasniti pojava da trljanje kože oko mjesta povrede (=aktivacija mehanoreceptora) smanjuje osjet boli u ovom slučaju uzrokovan smanjenjem protoka nociocepcijskih podražaja od strane drugog

neurona). Ovaj mehanizam se naziva "teorijom nadziranog ulaza" ("gate control theory").

ENDOGENA ANALGEZIJA

Neuroni središnje sive tvari mezencefalona (u prethodnom poglavlju pod 1), kao i drugi neuroni moždanog debla (pod 2) sadrže veliki broj receptora za koje se veže morfij. Na ove receptore se vežu i endogeni opijati (spojevi koji se izlučuju u samom mozgu). Postoji veliki broj takvih spojeva, a oni su grupirani u tri porodice: a) enkefalini, b) endorfini i c) dinorfini. Receptori za opijate široko su rasprostranjeni po cijelom živčanom sustavu.

Vežanjem morfija (i endogenih opijata) dolazi do aktivacije serotoninergičkih i noradrenergičkih neurona koji imaju silazne projekcije, te se tako na razini drugog neurona inhibira prijenos nociocepcijskih podražaja. To znači da opijadni analgetici ne djeluju na razini receptora (prvog neurona), već da djeluju centralno aktivirajući središnje strukture silaznog sustava "endogene analgezije". Na razini prvog neurona djeluju tvari poznate kao lokalni anestetici.

SUSTAV DORZALNIH KOLUMNI (sl. TNZ 24-3)

Sustav dorzalnih kolumni prenosi osjet finog dodira, pritiska, vibracije i propriocepcije.

Kao i spinotalamički započinje u pseudounipolarnim neuronima spinalnog ganglija. Razlika se nalazi u slijedećem: ušavši kroz stražnji korijen ne dolazi do prekapčanja, već se aksoni penju u stražnjem dijelu medule spinalis sve do moždanog debla. Zbog toga se ovaj sustav naziva i sustav dorzalnih (stražnjih) kolumni (stupova).

U stražnjem dijelu produžene moždine nalaze se dvije jezgre: nukleus gracilis i nukleus kuneatus. U njima se prekapčaju centralni krakovi aksona pseudounipolarnih neurona. Neuroni nukleus gracilisa i nukleus kuneatus križaju stranu (sve informacije završe na suprotnoj strani), te odlaze u ventropostrolateralnu jezgru talamusa, odakle se projiciraju u korteks. Kroz cijeli prijenos podražaja u sustavu dorzalnih kolumni precizno je očuvana somatotopska organizacija.

Razlike između sustava dorzalnih kolumni i spinotalamičkog sustava mogu se prikazati na slijedeći način:

1. prvi neuroni imaju različite vrste receptora - prenose različite submodalitete osjeta,
2. drugi neuron se ne nalazi na istom mjestu (medula spinalis-medula oblongata),
3. aksoni se nalaze u različitim dijelovima bijele tvari moždanog debla (anterolateralno.dorzalno).

PRIJENOS INFORMACIJA IZ PODRUČJA GLAVE I VRATA

Za razliku od trupa, dva funkcionalno različita somatosenzibilna sustava razlikuju se samo po različitim vrstama receptora (vidi iznad pod 1). Ostale postaje prekapčanja ne razlikuju se:

1. neuron -pseudounipolarni u polumjesečastom (semilunarnom) gangliju nervusa trigemina (V moždani živac)
2. neuron - sustav jezgara n. trigemina (glavna, mezencefalička i spinalna)
3. neuron - ventroposteromedijalna jezgra talamusa
Većina vlakana u trigeminalnom putu križa stranu, ali značajan broj odlazi i istostrano.

Jačina boli može se regulirati ravnotežnom aktivnosti između nociceptivnih (prijenos štetnih bolnih impulsa u SŽS) i ostalih srodnih podražaja.

KAKO KONTROLIRATI BOL

Dosada smo raspravljali o anatomskim putevima koji su povezani uz prijenos bolne informacije od perifernog prema središnjem živčanom sustavu. Promjenljivost reagiranja na bol, ipak, sugerira da moraju postojati modulatorni sustavi u središnjem živčanom sustavu koji reguliraju bol. Aktivnost neurona u leđnoj moždini koji primaju podražaj iz nociceptivnih vlakana može se modificirati podražajima iz ostalih nociceptivnih aferenata.

U ranim šezdesetima neuropsihološkim istraživanjima dokazano je da stimulacija niskog praga primarnih mijeliniziranih aferentnih vlakana smanjuje odgovor dorzalnog roga neurona prema nemijeliniziranim nociceptorima (senzorički živčani završeci), dok blokada provođenja u mijeliniziranim vlaknima povećava odgovor neurona dorzalnog roga. "Paljenje" određenih neurona u kralježničkoj moždini može s toga jednostavno ne odnositi se na nivo aktivnosti u nociceptivnom aferentnom podražaju već na ravnotežu aktivnosti između nemijeliniziranih nociceptora i mijeliniziranih aferenata koji nisu direktno povezani s boli. Ova ideja je predstavljena od Patricka Walla i Ronalda Melzacka kao teorija kontrole vrata.

Prema ovoj teoriji, neuroni uključeni u modificiranje izlaska neurona dorzalnog roga obuhvaćaju A i A_β mijeliniziranih i nemijeliniziranih C vlakana niskog praga, projekcijski neuron dorzalnog roga koji izmjenjuje dolazeće signale prema mozgu, te inhibitorni interneuron koji inhibira projekcijski neuron. Projekcijski neuron je direktno aktiviran i mijeliniziranim vlaknima niskog praga i nemijeliniziranim vlaknima. Presudna razlika u podražajima iz ove dvije vrste aferenata je ta što mijelinizirana vlakna aktiviraju također inhibitorni neuron, dok nemijelinizirani podražaji zatomiuju njegovu aktivnost. Stoga, kada su mijelinizirana vlakna niskog praga aktivirana, aktivnost projekcijskog neurona (i percepcije boli) je smanjena.

Kada je teorija kontrole vrata prvi put bila predstavljena, osigurala je racionalnu interpretaciju prijašnjih zbujujućih kliničkih promatranja. Štoviše, neka od njihovih predviđanja vodila su k efektivnim kliničkim terapijama. Na primjer, hipoteza da stimulacija mijeliniziranih vlakana dorzalnog dijela kralježnice koče ćelije prijenosa boli ka uspješnoj praksi stimulacije aksona u dorzalnom dijelu kralježnice i na perifernim živcima kao način ublažavanja boli.

(a) Bol može biti kontrolirana centralnim mehanizmima

Teorija vrata predstavila je ideju da je percepcija boli osjetljiva na razinu aktivnosti u nociceptivnim i nenociceptivnim aferentnim vlaknima. Također, važno je shvatiti da se nociceptivni signali mogu mijenjati na uzastopnim sinaptičkim postajama duž središnjeg živčanog puta. Dodatni napredak donijelo je prepoznavanje glavnih puteva kojima se kontrolira bol a koji se protežu od leđne moždine do mozga. Ovdje iznosimo pet grana istraživanja koja pružaju nove podatke o središnjim mehanizmima kontrole boli:

1. Otkriće da direktna stimulacija mozga može prigušiti prijenos štetnih bolnih impulsa u SŽS
2. Obilježavanje silazećih nociceptivnih kontrolnih puteva
3. Lokaliranje područja u mozgu osjetljivih na morfij
4. Prepoznavanje opijatnih receptora

5. Otkriće endogenih opijatnih peptida

Direktna električna stimulacija mozga stvara analgeziju

Oštećenje u mnogim područjima SŽS može rezultirati u povećanju rotma palje neurona i percepcije boli. Međutim, kod pokusnih životinja stimulacija sive tvari koja okružuje treću moždanu komoru, moždani kanal i četvrtu moždanu komoru može izazvati vrlo jaku analgeziju. Kod ljudskih pacijenata stimulirajuće elektrode postavljene zbog terapijskih razloga u periventrikularno sivo područje, u ventrobazalni kompleks talamusa ili u kapsulu internu, smanjuju intenzitet boli. Ova vrsta stimulacije stvara snažno prigušivanje aktivnosti u nociceptivnim putevima (analgezija). Osobe podvrgnute tom postupku ne gube taktilnu osjetljivost – one još uvijek reagiraju na dodir, tlak i temperaturu u tom području tijela u kojem su analgezični – ali slabije osjećaju bol.

Nociceptivni kontrolni putevi spuštaju se do leđne moždine. Ubrzo nakon otkrića analgezije uzrokovane stimuliranjem, otkriveni su živčani putevi koji posreduju u tom efektu. Dva otkrića su istaknula postojanje silaznih zaustavnih puteva koji završavaju na nociceptivnim neuronima u leđnoj moždini. Prvo, stimulacija moždanog debla koče nociceptivne neurone u dorzalnom rogu kralježničke moždine. Drugo, ozljede dorsolateralnog funikula poništile su ublažavanje boli izazvano stimulacijom moždanog debla.

Silazni živčani put koji modulira bol ima tri glavne sastavnice:

1. Neuroni u periventrikularnoj i periakvaduktalnoj sivoj tvari u srednjem mozgu čine inhibicijske veze u rostroventralnoj moždini, regija koja uključuje serotonergične nucleuse rsphe magnus i susjedne nucleus reticularis paraventricularis.
2. Neuroni u rostroventrikularnoj moždini čine inhibicijske veze u 1., 2. i 5. Ljusci dorzalnog roga; ove ljuske su također stranice okrajaka nociceptivnih aferentnih neurona. Stimulacija ovih neurona rostroventrikularne moždine inhibira neurona dorzalnog roga, uključujući neurone spinotalamičkog puta koji odgovaraju na štetne stimulacije. Sustavi drugih silaznih vlakana koji nastaju u meduli i mostu također završavaju u površnom dorzalnom rogu i obustavljaju aktivnost u nociceptivnim neuronima dorzalnog roga.
3. Lokalni krugovi u dorzalnom rogu posreduju u modulacijama silaznih puteva. O organizaciji ovih lokalnih krugova raspravljano je kasnije u poglavlju.

(b) Opijatna analgezija obuhvaća iste puteve kao i analgezija izazvana stimulacijom

Uštrcavanjem malih doza opijata direktno u posebne zone mozga glodavca izaziva snažnu analgeziju. Analgezični efekti planskih uštrcavanih opijata posreduju ne djelovanjem na receptorima boli u perifernom, već izravno djeluju na SŽS. Područja u mozgu u kojima je morfij djelotvoran preklapaju se s područjima koja služe za izazivanje analgezije stimulacijom. Prema tome i periakvaduktalna siva regija i rostroventralna medula su jako osjetljive na morfij. Osim toga uštrcavanje narkotičkog antagonista (ovdje znači spoj koji djeluje suprotno od narkotika) naloxona u priakvaduktalnu sivu regiju ili rostroventralnu medulu blokira analgeziju izazvanu uštrcavanjem morfija. Ova istraživanja navode na zaključak da opijati izazivaju analgeziju aktiviranjem silaznih puteva koji reguliraju bol.

Endogeni opijatni peptidi i njihovi receptori nalaze se na ključnim mjestima u sustavu reguliranja boli

Dva otkrića su značajno povećala naše zanimanje za ulogu opijatnih sustava u reguliranju nocicepcije i percepcije boli. Prvo je bila demonstracija Solomona Snydera i Candace Pert, i nezavisno Larsa Tereniusa i Erica Simona, da morfij i srodni alkaloidi vrše svoja fiziološka djelovanja vezivanja za specifične receptore na membrani. Drugo, John Hughes i Hans Kosterlitz su otkrili da mozak sadrži endogene opijatne peptide. Postoje tri vrste opijatnih peptida. Prva koju su identificirali gore spomenuti Hughes i Kosterlitz su encefalini, dva mala peptida izolirana iz svinjskog mozga. Druga vrsta, koju su otkrili Derek Smythe i Chao Ho Li, pripada porodici

propiomelanokortina (POMC). Prethodnik POMC-a izlučuje se u hipofizi, i njegovi peptidni proizvodi otpuštaju se u krvotok kao reakcija na stres. Treća vrsta, koju je otkrio Avram Goldstein sa kolegama, pripada porodici dinorfina. Do danas su otkriveni mnogi drugi peptidi s opijatnim djelovanjem, od kojih gotovo svi sadrže sekvencu Tyr-Gly-Gly-Phe. Svaki endogeni opijat prizlazi iz jednog od tri gena koji kodiraju velike poliproteinske prethodnike fiziološki aktivnih peptida. Ta tri gena su POMC, proencefalini i prodinorfinski geni. Svaki od pet opijatnih peptida navedenih navedenih u tablici 27-2 izaziva analgeziju, iako su encefalini i beta-endorfin snažniji od dinorfina. Iako distribucija peptida kodiranih pomoću tri opijatna gena varira u tijelu, članovi svake porodice nalaze se na mjestima povezanim sa procesiranjem i reguliranjem nocicepcije. Tjelešca u neuronima i živčani završeci koji sadrže encefalin i dinorfin nalaze se u periakvaduktalnoj sivoj regiji i rostrventralnoj meduli kao i u dorzalnom rogu leđne moždine, posebno u 1. i 2. Ljusci. Nasuprot tome, beta-endorfin ograničeno distribuira i ograničen je primarno na neurone u hipotalamusu koji se projiciraju u periakvaduktalnu sivu regiju i noradrenerične jezgre u moždanom deblu. Morfij i opijatni peptidi vezuju se na određene potklase opijatnih receptora koji su definirani na osnovi svojih ligand vezanih osobina. Postoje tri glavne vrste opijatnih receptora: mi, delta i kapa. Opijatni alkaloidi, kao morfij, skloni su mi receptoru. Endogeni encefalini su aktivni i kod mi i delta receptora, a dinorfin je sklon kapa receptoru. Svaki od tri receptora je široko rasprostranjen po središnjem živčanom sustavu, što može značiti da se endogeni opijatni sustavi koriste i u drugim fiziološkim funkcijama osim reguliranja boli. Velike količine mi receptora nalaze se u periakvaduktalnoj sivoj regiji i po površini dorzalnog roga leđne moždine, što se podudara s raspodjelom neurona koji sadržavaju enkefalin. Funkcionalni opioidni sustavi smješteni su u nekoliko regija u mozgu uključenih u modulaciju nocicepcije.

Opijatni antagonisti koji se upotrebljavaju klinički, kao npr. naloxon, strukturalno su analogni morfiju, dakle, najefektivniji su u antagoniziranju opijatnih akcija na mu receptorima. Postoji dobra povezanost između analgezičnog učinka i agonističke privlačnosti ka mu receptoru. Ovo nije začuđujuće otkad je definirana sklonost mu receptora za analgezične spojeve. U eksperimentalnim istraživanjima kapa agonisti potiskuju nociceptivne odgovore nakon štetnih mehaničkih stimulacija, dok su mu agonisti efektivniji u analgezičnim testovima koji upotrebljavaju štetne toplinske stimulanse. Stoga druge vrste opijatnih receptora mogu biti uključene u modulaciju aktivnosti drukčijih vrsta nociceptivnih aferentnih podražaja.

Suprakralježničke i kračježničke veze moduliraju prijenos bolnih podražaja

U posljednjem desetljeću učinjen je značajan napredak u identificiranju neurotransmitskih sistema uključenih u modulaciju bolnih podražaja. Mnogi od neurona koji pripadaju donjem dijelu moždanog debla, koji se spajaju s leđnom moždinom, koriste serotonin kao neurotransmiter. Drugi živac po veličini koji se spušta iz mosta koristi norepinefrin kao neurotransmiter. Spuštajući serotonergični živci i noradrenerični živci su neophodna veza u supraspinalnoj modulaciji bolnih podražaja. Uništavanje tih neurona sa neurotoksinima ili elektrolitičkim otvorima smanjuje ili blokira analgetične akcije sistematično unesenih opijata. Na isti način analgezija inducirana ubrizgavanjem morfija može biti reducirana tako da se serotonin ubrizga u leđnu moždinu. U nastavku, direktna aplikacija serotonina ili norepinefrina u leđnu moždinu uzrokuje analgezičnost. Po ovim se istraživanjima može zaključiti da su nadmoždane analgezične akcije opijata djelomično provedene kroz spuštajuću noradreneričnu projekciju prema leđnoj moždini.

Kao što je već spomenuto u prethodnom odlomku, postoji premošćanje između nadmoždanih dijelova u kojima je morfij efektivan u stvaranju analgezije i lokacija u kojima je stimulativno provedena analgezija efektivna. Ovi pronalasci indiciraju da morfij aktivira spuštajuće živce koji kontroliraju bolne podražaje. Misli se da aktivacija tih živaca pomoću tih morfija potiskuje aktivnost jednog interneurona koji izlučuje GABA-u i normalno potiče aktivnost spuštajućih živaca. Na taj način opijati aktiviraju spuštajuću projekciju neurona pomoću potiskujućih mehanizama.

Opijati također djeluju direktno analgezično na leđnu moždinu. Npr. morfij može potaknuti i upalu živčanih nastavaka kod životinja koje imaju spinalnu transekciju (rascijepljeni vrhovi kralježnice). Analgezija može biti uzrokovana intratecalnom injekcijom opijata u splet živaca koji obavijaju leđnu moždinu. Injekcija intratecalnih opijata se koristi kod određenih stanja boli, npr. Da se olakša musculus fiber. Intratecalni unos opijata smanjuje mogućnost respiratorne depresije i dr. nuspojave koje se pojavljuju kod opijata u moždanom deblu.

Ove funkcionalne studije učvršćuju teoriju koja proizlazi iz ucrtavanja opijadnih peptida i opijatnih receptora, da su analgezične akcije opijata raširene u CNS-u. Završnica tih mreža je leđna moždina, a mi ćemo sada pogledati kako spuštajući živci međudjeluju sa lokalnim kralježničkim krugovima da bi modulirali nadolazeće bolne podražaje.

(c) Lokalni krugovi dorzalnog roga moduliraju aferentne bolne podražaje

Lokalni krugovi u dorzalnom rogu kralježničke moždine igraju presudnu ulogu u prijenosu boli i u posredovanju između akcija silaznih bolnih modulatornih sustava. Silazeći aksoni serotonergičnih i noradreneričnih neurona dodiruju dendrite spinotalamičkih neuronskih puteva i također lokalne enkephalin-sadržavajuće inhibitorne interneurone u površnom dorzalnom rogu. Prema tome, spuštajuća inhibicija spinotalamičkih neuronskih puteva vjerojatno djelomično posreduje u aktivaciji enkephalin interneurona u dorzalnom rogu.

Kako endogeni opioidni krugovi i egzogeni opijati reguliraju prijenos boli u dorzalnom rogu??

Površni dorzalni rog ima visok postotak enkephalina-sadržavajućih interneurona i dynorphin-sadržavajućih interneurona blizu vrhova bolnih aferenata i do dendrita dorzalnog roga neurona koji primaju aferentni bolni prijenos. Mu opijatni receptori locirani su i na vrhovima bolnih aferenata i na dendritima postsinaptičkog neurona. Farmakološka istraživanja indiciraju da opijati i opioidni peptidi reguliraju prijenos boli u dijelu inhibicije otpuštanja glutamata, supstancije P i dr. transmittera od osjetnih neurona. Otpuštanje transmittera obustavljena je aktivacijom opijatnih receptora na osjetne neurone, što povećava ulazak KALCIJA u osjetne vrhove ili indirektno aktivacijom KALCIJA prenositelja ili direktno smanjivanjem KALCIJA prenositelja.

Opijati se također ponašaju postsinaptički na aferentnim sinapsama da bi obustavili aktivnost neurona odgovornih za bol koji se nalaze u dorzalnom rogu. Kako većina enkephalin-sadržavajućih neuronskih vrhova u površnom dorzalnom rogu dodiruje dendrite postsinaptičkih neurona, vjerojatno je da su opioidni peptidni krugovi uključeni u reguliranju prijenosa boli. Kao i s dr. peptidnim transmitterima, enkephalin se može širiti iz mjesta njihova otpuštanja da bi međudjelovao s opijatnim receptorima smještenim presinaptički na završecima receptora za bol.

Stoga se čini vjerojatnim da opijatni alkaloidi i endogeni opioidni peptidi moduliraju prijenos boli na razini primarnih aferentnih sinapsi kombinirajući presinaptičke i postsinaptičke akcije. Ovo nanovo potkrepljuje ideju da je opijatna analgezija rezultat akcija u višestruko udaljenim neuronskim lokacijama. Osjetni, spinalni i silazeći neuroni koji konvergiraju u dorzalnom rogu kralježničke moždine također sadrže mnoštvo dr. neurotransmitera koji su nedvojbeno uključeni u prijenos i modulaciju bolnih informacija. Klinička istraživanja na opioidnim i monoamirgeničnim sustavima ističu temeljnu ulogu koju igraju ova dva transmitterska sustava.

(d) Stresno ponašanje može inducirati analgeziju pomoću opioidnih i ne-opioidnih mehanizama

Važan dio odgovora organizama na krizni događaj sveden je na brz odgovor na bol. Susrećući se sa zahtjevima ponašanja potaknutim zbog izloženosti stresnoj situaciji, kao što su lov, obranbena dominantnost ili adaptacija ekstremnim zahtjevima okoliša, normalna životinjska reakcija na bol mogla bi proizvesti štetan učinak. Bol obično pospješuje određena refleksna odstupanja, bijeg, mirovanje i ostala okrepna ponašanja. Tijekom stresa ove reakcije na bol mogu biti obustavljene zbog sklonosti za više prilagođeno ponašanje. Npr. kada je laboratorijska životinja izložena smionom i bolnom

štetnom podražaju, kao što je neizbježan električni šok na stopalima, njegova osjetljivost prema drugim podražajima je smanjena. Vremensko trajanje ovakvih stresno induciranih analgezija može varirati od nekoliko minuta do nekoliko sati, oviseći o upotrebljenom podražaju, njegovoj žestini i metodi upotrebljenoj za mjerenje praga boli.

Ako prirodni odgovor životinje na krizni događaj uključuje oslabljenu osjetljivost na bol, tada se čini razumnim da sustav za inhibiciju boli koji smo razmatrali u tekstu iznad, koji koristi opioidne peptide, može biti umješšan. U prilog tome postoji dokaz da stres može stimulirati i opioidnu i ne-opioidnu analgeziju. Neki laboratorijski primjeri o stresom induciranoj analgeziji osjetljivi su na blokadu opijatnih receptora uzrokovanoj naloxonom. Naloxon dan sam ne uzrokuje bol, no značajno povećava uočen intenzitet dugotrajnih kliničkih boli, npr. Kod pacijenata koji se oporavljaju od operacije zuba.

Postoji anegdota koja je dokaz analgeziji induciranoj stresom u ljudi. Vojnici ranjeni u bitci i atletičari ozlijeđeni baveći se sportom izjavljuju da ne osjećaju bol. Doista prije jednog stoljeća David Livingstone, škotski misionar i istraživač Afrike pokazao je posebno dramatično osobni primjer. Na ranom putovanju istraživanja izvorišta Nila, Livingstone je napao lav koji mu je zgnječio rame.

.....čuo sam hitac. Gledajući naokolo vidio sam lava kako skače na mene. Bio sam na malo uzvisini; uhvatio me za rame kako je skočio i oboje smo se srušili na zamlju. Rikajući strahovito pokraj mog uha, protresao me kako to čini terijer sa štakorom. Šok je izazvao ukočenost sličnu onoj koju čini se osjeća miš nakon prvog drmanja mačke. To je prouzrokovalo nekakvu pospanost u kojoj nije bilo osjećaja za bol niti strah, premda sam bio svjestan svega što se događa. Bilo je poput onoga što pacijenti pod utjecajem kloroforma opisuju, koji vide

čitavu operaciju, ali ne osjećaju nož....Drmež je razorio strah, i dopustio gledanje u što zvijer čini bez osjećaja groze. Ovo neobično stanje je vjerojatno je proizvedeno u svih životinja ubijenih od mesoždera; i ako je tako. Onda je to milostiva briga našeg dobrotvornog stvoritelja za ublažavanje smrtne boli.

(David Livingstone, Missionary

Travels, 1857)

(e) SAŽETAK

Bol je visoko složena percepcija. Više nego na ikoji drugi modalitet nju utječu emocije i okolina. Zato što je toliko ovisna o iskustvu, te stoga varira od osobe do osobe, bol je težak klinički problem. Osim toga, naša trenutna razumijevanja anatomije i fiziologije specifičnih krugova boli još su uvijek u dijelcima. Usprkos tome, nedavni pomaci u razumijevanju osnovne fiziologije mehanizama boli vodili su nekima učinkovitim terapijama za bol.

Prvo, spoznaja da je ravnoteža u aktivnostima velikih i malih vlakana važna u prijenosu boli, odvela je do upotrebe stimulacije dorzalnog kralježnice i električnih podražaja živaca za određene tipove periferne boli. Drugo, eksperimentalno otkriće da stimulacija specifičnih strana u moždanoj kori proizvodi duboku analgeziju možda može voditi boljim načinima kontroliranja boli aktivacijom endogenog sustava za modulaciju boli. Treće, otkriće da opijati nanaseni direktno u kralježničku moždinu naprežu moguće analgezične efekte odvelo je k intratecaloj i epiduralnoj upotrebi opijata za određena stanja. Konačno, odgonetanje neurotransmiterskog sustava, potcrtavajući endogene krugove kontrole boli, može osigurati racionalnije osnove za terapije drogama kod raznih bolnih simptoma.

UHO - ORGAN SLUHA I RAVNOTEŽE; SLUŠNI I VESTIBULARNI SUSTAV

- 1. Zapažnje niskih frekvencija zvuka ograničeno je frekvencijom akcijskih potencijala. Zapažanje visokih frekvencija zvuka omogućeno je na mjestima najvećeg odgovora bazilarne membrane.**
- 2. Vestibularni sustav zapaža položaj i promjene položaja glave u odnosu na položaj tijela.**
- 3. UHO: -organ sluha i ravnoteže -sastavljen od 3 anatomska odsječka: vanjskog, srednjeg i unutarnjeg uha**
- 4. VANJSKO UHO: -sastoji se od uške i vanjsko zvukovoda**
- 5. SREDNJE UHO: -sastoji se od bubnjišta, mastoidnih ćelija i Eustahijeve slušne cijevi -smještene su 3 slušne koščiце: čekić, nakovanj i stremen, a uz njih su vezana dva mala poprečno prugasta mišića, -od vanjskog zvukovoda srednje uho odvojeno je bubnjićem, a s unutarnjim uhom povezuju ga dva koštana prozorčića prekrivena membranom**
- 6. UNUTARNJE UHO: -složen sustav u kojem su smješteni organ ravnoteže i slušni Cortijev organ, -dijeli se na dva anatomska dijela, - koštani labirint i membranski labirint, -membranski labirint ispunjen je endolimfom dok je oko njega perilimfa, -membranski dio organa ravnoteže ima 5 dijelova: 3 polukružne cijevčice, jednu membransku vrećicu i membransku mješinicu**

MORFOLOŠKA GRAĐA UHA

Kako bi se najbolje razumjela građa slušnog i vestibularnog aparata najprije treba razumjeti ugrubo građu lubanje i sljepoočne (temporalne) kosti (plate 2A, 3A, 5, 6, 7, 92A).

Šupljina u kojoj je smješten mozak naziva se lubanjska šupljina, a nju izgrađuje više kostiju. One oblikuju dno lubanje na kojem je položen mozak, te svod koji sa strane i odozgo zatvara lubanjsku šupljinu. Dno lubanje može se podijeliti u tri djela, tj. u tri lubanjske jame: prednju, srednju i stražnju. Granicu između lubanjskih jama oblikuju grebeni koji se uzdižu sa dna lubanje. Srednju i stražnju lubanjsku jamu najvećim dijelom odjeljuje veliki greben koji pripada sljepoočnoj kosti, a naziva se piramida.

Ovaj greben zapravo ne nalikuje piramidi, već više jednostavnom (na dvije strane spuštenom i otvorenom) krovu neke podulje kuće. Kako bi

lakše razumjeli građu uha zamislite si da je prednja polovica ovog tavana prazna, a druga polovica (za sada) potpuno zatrpána stvarima. Jedan (vanjski) otvor odgovara otvoru vanjskog zvukovoda, a drugi (unutarnji) otvoru Eustahijeve cijevi koja vodi u ždrijelo (plate 87, 88D, 91A).

To znači da je promatrajući odozgo, prednja strana piramide zapravo šuplja. Na jednom mjestu (bliže otvoru vanjskog zvukovoda) ovaj je kanal zatvoren, i to tankom membranom koja se naziva bubnjić. Bubnjić zapravo čini granicu između vanjskog i srednjeg uha. U daljem tijeku dolazi do sužavanja ove šupljine, te na tom mjestu započinje Eustahijeva tuba koja srednje uho spaja sa ždrijelom. Između bunjića i suženja nalazi se dakle srednje uho.

Možda će većini čitatelja tek sada postati jasno zašto treba otvoriti usta kada se naglo mjenja visina (u letu avionom ili naglom uspinjanju). Šum koji se tada u ušima normalno javlja zapravo je posljedica razlike u tlaku između tlaka u tijelu (koji ostaje na razini prije uspinjanja) i onog vani koji se smanjuje. Zbog toga dolazi do izbočenja bubnjića, a što stvara neugodan šum. Otvaranjem usta izjednačavaju se tlakovi, što ujedno dovodi i do prestanka šuma.

U srednjem uhu nalaze se tri slušne koštice (plate 88E, slika 25-4); čekić koji je vezan za bubnjić, nakovanj, te stremen koji je vezan za mali otvor koji se nalazi na prijelazu prema stražnoj (ispunjenoj) polovici piramide sljepočne kosti. Koštice su međusobno povezane, tako da se titranje bubnjića prenosi na otvor koji vodi u unutarnje uho.

Kako su građeni kanali unutarnjeg uha (plate 90A,90B) najbolje se može razumjeti ako se vratimo na početak, gdje taj dio kosti treba zamisliti kao punu kost bez ikakve šupljine. Zatim treba zamisliti da se tu ipak nalazi jedna manja šupljina, tzv. predvorje koje je sa dva mala otvora u komunikaciji sa srednjim uhom. U gornji, ovalni otvor uložen je stremen, dok je donji, okrugli otvor prekriven samo membranom.

Nakon što ste iz srednjeg uha ušli u predvorje unutarnjeg uha zamislite si kako su kroz dio preostale kosti iskopani neki kanali. Prema naprijed polazi slijepi kružni kanal, u kojem je svaki slijedeći krug sve manji od prethodnog tako da na kraju ovaj kanal završi slijepo i nalikuje oklopu puža. Zbog toga je i dobio ime pužnica. Prema natrag započinju tri kanala koja se međutim vraćaju natrag u predvorje, tako da se nazivaju polukružnim. Ova tri kanala smještena su međusobno pod kutem od 90°, pa je na taj način u svakoj tjelesnoj ravnini smješten po jedan polukružni kanal.

Predvorje sa pužnicom i polukružnim kanalima naziva se zejdnčki koštani labirint. Ovaj koštani labirint ispunjen je membranoznim labirintom (plate 91A, slika 25-8) u kojem se zapravo i nalaze osjetne stanice slušnog i vestibularnog (ravnotežnog) aparata. Membranozni labirint sastoji se od pužnice i polukružnih kanala, te dvije vrećice utrikulusa i sakulusa koji ispunjavaju predvorje. Sve strukture membranoznog labirinta međusobno su povezane tankim spojnim cijevčicama.

Membranozni labirint je daleko manjeg promjera (i presjeka), te zahvaća samo manji dio volumena koštanog labirinta (plate 91B, slika 25-5). Za razumjevanje ovih odnosa dobro je promotriti poprečni presjek kroz pužnicu (plate 91B, slika 25-5). Membranozni labirint je zapravo srednji dio kanala pužnice (=scala media), a preostali dio koštanog labirinta podijeljen je u dva prostora (scala vestibuli i scala tympani). Membranozni labirint ispunjen je tekućinom koju nazivamo endolimfa, a koštani labirint tekućinom koja se naziva perilimfa.

FUNKCIONALNA ORGANIZACIJA SLUŠNIH ELEMENATA UHA

Zvučni val koji prolazi kroz vanjski slušni hodnik (vanjsko uho) nailazi na membranoznu prepreku (bubnjić). U bubnjić (plate 88E,91A, slika 25-4) je utkan dio prve slušne koštice čekića (maleusa). Na čekić se nastavlja druga slušna koštica nakovanj (incus), a na njega se nadovezuje treća stremen (stapes). Slušne koštice smještene su u šupljini srednjeg uha, a koja se još zove i bubnjište. One su ligamentima, te sa dva mišića učvršćene i napete. Završni (bazalni) dio treće slušne koštice (stapesa) uronjen je u membranu koja pokriva gornji otvor - formen ovale. Ovaj otvor spaja srednje i unutarnje uho.

Ovom anatomskom raspodjelom frekvencija zvučnog vala se pretvara u titranje bubnjića, a koje se sustavom slušnih koštica prenosi do unutarnjeg uha (slika 26-3, plate 91A). Titranje membrane na ovalnom otvoru dovodi do pomaka endolimfe u membranoznom dijelu pužnice (scali mediji). Na donjem zidu skale medije (membrani basilaris) nalaze se osjetne stanice (plate 91B, slika 25-5). Postoje dvije vrste osjetnih stanica, a one su okružene sa velikim brojem (i više vrsta) različitih potpornih stanica (slika 25-6; broj 3 i 6 su osjetne stanice, a ostali brojevi su potporne stanice). Ovaj cjelokupni sustav osjetnih i potpornih stanica naziva se Cortijevim slušnim organom.

Osjetne stanice (slika 25-7) na svojoj gornjoj površini imaju određen broj izbočenja, dlačica (stereocilija). Ovaj dio stanica okrenut je prema unutarnjem dijelu membranoznog labirinta (skali mediji), a na njemu leži opna koja se naziva membrana tektorija (slika 25-6). U trenutku kad slušne koštice kroz formane ovale dovedu do pomaka perilimfe u skali vestibuli (gornjem kanalu), zbog nestlačivosti tekućine dolazi do pomicanja tekućine i u skali timpani (donjem kanalu), te izbočenja membrane na drugom prozoru koji spaja srednje i unutarnje uho (okrugli prozor, fenestra rotunda)(plate 91A, slika 26-3). To dovede do titranja bazalne membrane (tj. titranja osjetnih stanica). Obzirom da su osjetne stanice prekrivene membranom tektoriji u koju su uronjene dlačice osjetnih stanica, dolaze do pomaka tijela u odnosu na stereocilije što dovede do promjena potencijala stanica sa dlačicama. Na donji (bazalni) dio stanica sa dlačica pristupa dendrit bipolarnih stanica koje sačinjavaju spiralni ganglij (ganglion spirale kohleje) (slika 25-6). Ganglion spirale smješten je uz stijenku pužnice (plate 91B, slika 25-5). Njegov akson sačinjava slušnu komponentu VIII moždanog živca nervusa statoacusticusa (vestibulokohlearisa). Bipolarne stanice gangliona spirale prvi su neuron u slušnom sustavu, što znači da su stanice sa dlačicama samo receptorne stanice i ne ubrajaju se u neurone. Treba napomenuti da na osjetnim stanicama osim aferentnih vlakana (dendrit bipolarnih stanica) završavaju i eferentni aksoni (=dolaze iz mozga), a

koji dolaze putem VIII moždanog živca (slika 25-7). Ovi aksoni dolaze iz donje olivarne jezgre i uloga im nije u potpunosti razjašnjena.

Za razumijevanje funkcionalne organizacije uha potrebno je ukazati na to kako se zvuk "skuplja" (slika 25-4) sa jedne relativno velike površine (uška), te usmjerava na manju (bubnjić), a koji se zatim umjerava na još manju površinu (foramen ovale). Smanjivanjem površine uz djelovanje iste sile zapravo dolazi do većeg pritiska po jedinici površine, te pojačanja primarnog signala.

FUNKCIONALNA ORGANIZACIJA VESTIBULARNIH (RAVNOTEŽNIH) ELEMENATA UHA

Za razliku od slušnog dijela uha, a koje u funkcionalnom pogledu obuhvaća vanjsko, srednje i pužnični dio unutarnjeg uha, vestibularni dio smješten je samo u dijelu unutarnjeg uha (predvorju-vestibulumu i polukružnim kanalčićima-ductuli semicirculares). Za razliku od membranoznog dijela pužnice (slika 25-8), koji je volumenom manji, ali u potpunosti korelira sa koštanim dijelom, kod vestibularnog dijela unutarnjeg uha i tu dolazi do odstupanja (plate 91A,). Dok za polukružne kanale vrijedi isto što i za pužnicu, membranozni dio predvorja razlikuje se od koštanog djela. Dok je koštani dio jedna cjelina, membranozni dio sastoji se od dvije međusobno povezane vreće; veće-utriculusa koji je spojen sa polukružnim kanalima i manje-sacculususa koji je spojen sa membranoznim dijelom pužnice. Kao i u pužnici, membranozni labirint ispunjen je endolimfom, dok se u okolnom prostoru (između membranoznog labirinta i koštane stijenke) nalazi perilimfa.

Membranozni labirint sastavljen je od jednoslojnog epitela, osim na mjestima gdje se nalaze osjetne stanice i gdje je podebljan. Na tim mjestima membranozni labirint srastao je uz koštanu stijenu. Osjetne stanice smještene su samo u manjem dijelu vestibularnog membranoznog labirinta; na počecima polukružnih kanala gdje se nalaze proširenja (ampule) i u zamrljenim dijelovima utrikula i sakulusa (maculae).

Kao i u pužnici osjetni organi sastavljeni su od osjetnih i potpornih stanica. Na vrhu osjetnih stanica (dio okrenut prema endolimfi) nalaze se veći broj trepetljika. U makuli utrikuli i makuli sakuli (slika 25-10) osjetne stanice imaju 40--100 manjih dlačica (mikrovili, tj. stereocilijum jer su aktivno pokretni), te jednu veću, krutu rubnu dlačicu (kinocilijum, jer je kruta i samo pasivno pokretna-djelovanjem endolimfe). Mikrovili se razlikuju u veličini i pravilno su poredani; na jednoj strani nalaze se najmanji mikrovili, te su pravilno raspoređeni tako da se na suprotnoj strani nalaze najveći. Na toj strani, uz najveće mikrovile, nalazi se kinocilija. Uočite da je orijentacija svih osjetnih stanica unutar jedne makule istovjetna; stereocilijum se kod svih nalazi na istoj strani. Međutim, orijentacija osjetnih stanica makula utrikuli

potpuno je drugačija od orijentacije osjetnih stanica makule sakuli (slika 25-10).

Iznad osjetnih stanica nalazi se hladetinasta tvar u koje su uronjene osjetne dlačice (membrana statolitika). U njoj su uronjeni i sitni kristalići (statoliti=otoliti). Specifična težina statolita veća je od specifične težine endolimfe. To znači da ubrzanje kod gibanja glave (=gibanje endolimfe i osjetnih stanica) nije praćeno istovjetnim ubrzanjem statolita (oni se kasnije pokreću), tako da uslijed toga dolazi do pomicanja osjetnih dlačica. Obzirom da je makula utrikuli položena vodoravno ona odgovara na vodoravno ubrzanje, dok makula sakuli odgovara na okomito ubrzanje, jer je i položena okomito.

Ampule polukružnih kanala građene su slično, no osjetne stanice nemaju izdanke (osjetne dlačice) organizirane kao u makulama (slika 25-9). Osjetne dlačice mnogo su dulje od samih stanica. One su također uronjene u hladetinastu tvar, koja međutim ne sadrži otolite i ima jednaku specifičnu težinu kao i endolimfa. Ona stoga nije podložna djelovanju sile teže, već samo kretanju endolimfe. To znači da ove osjetne dlačice reagiraju na kutno ubrzanje. Treba spomenuti kako se sva tri kanala međusobno nalaze pod kutem od 90°, tj. da je u svakoj tjelesnoj ravnini smješten jedan polukružni kanalčić (u jednom uhu).

Na vestibularne stanice osim dendrita bipolarnih stanica vestibularnog ganglija završavaju i eferentna vlakna iz lateralne vestibularne jezgre. Za razliku od slušnog ganglija, vestibularni ganglij nije smješten u (unutrašnjem) uhu, već se nalazi u unutrašnjem slušnom hodniku.

SLUŠNI PUT (sl. TNZ 26-5)

Prvi neuroni su neuroni spiralnog ganglija pužnice. To su bipolarne stanice, a njihov dendrit završava na bazi osjetnih stanica sa dlačicama. Aksoni bipolarnih stanica kreću prema moždanom deblu tvoreći živac - nervus vestibulokohlearis (statoakustikus). Slušni put završava u primarnoj slušnoj kori koja se nalazi u dijelu temporalnog režnja (gornja temporalna vijuga) i odgovara Brodmannovim arejama 41 i 42 (sl. TNZ 26-6). Prijem informacija iz pužnice je u ovim područjima organiziran tonotopski (slika 7-4). Kao što i u pužnici neki djelovi reagiraju najbolje na zvukove određenih frekvencija, tako su i neuroni što se nalaze ispod površine moždane kore u primarnom slušnom korteksu specijalizirani na isti način. Štoviše, kada bi odredili koji neuroni reagiraju na koju frekvenciju, iznad primarne slušne kore dobili bi smo izgled koji u potpunosti odgovara pužnici.

Na putu prema mozgu aksoni se u slušnom putu obavezno prekapčaju na tri mjesta:

- a) u jednoj od kohlearnih jezgara (smještenih u ponosu),
- b) u donjim kolikulima (oni su dio tektuma mezencefalona), te u

c) korpus genikulatum medijale, dijelu metotalamusa (to je specifična talamička jezgra slušnog sustava).

Iz talamusa aksoni se projiciraju u četvrti sloj primarne slušne kore.

Osim u ovim jezgrama, najveći dio neurona se prekopća i u jednoj od jezgara koje se nalaze između kohlearnih jezgara i donjih kolikula, a to su gornja olivarna jezgra ili jezgra lateralnog leminiskusa. Većina aksona slušnog puta (ali ne svi) križa stranu i tako završi u suprotnoj hemisferi mozga. Slušni se put može rezimirati na slijedeći način:

1. neuron - spiralni ganglij,
2. neuron - kohlearne jezgre
3. neuron - gornja olivarna jezgra ili jezgra lateralnog leminiskusa
4. neuron - donji kolikuli
5. neuron - korpus genikulatum medijale i
6. neuron - neuroni čije se tijelo ili dendriti nalaze u sloju IV primarnog slušnog korteksa

VESTIBULARNI SUSTAV (sl. TNZ 26-12)

Prvi neuron vestibularnog sustava nalazi se u vestibularnom gangliju, te ima morfoloiju istovjetnu neuronima u slušnom gangliju (bipolarni, gdje dendrit pristupa na osjetnu stanicu). Aksoni ovih neurona također sačinjavaju nervus vestibulokohlearis (statoakustikus). Nakon toga većina aksona završi u vestibularnim jezgrama (koje se nalaze u ponsu), ali dio izravno ulazi u mali mozak. Vestibularne jezgre se tada projiciraju u koru malog mozga. Za vestibularni sustav nije utvrđeno da vrši izravne projekcije u koru velikog mozga, a koje bi sudjelovale u svjesnoj percepciji položaja tijela u prostoru. No sigurno je da informacije iz vestibularnog sustava imaju ulogu u stvaranju svijesnog osjeta o položaju tijela. Najvjerojatnije ulogu u tome ima mali mozak u kojemu se osim vestibularnih, integriraju i druge informacije koje donose podatke o stanju tijela u prostoru (receptori u mišićima, tetivama i zglobovima, kao i neki kožni receptori).

Vestibularne jezgre, osim u mali mozak, šalju aksone u dva smjera. Prvi su aksoni koji pristupaju na jezgre okulomotorih živaca (to su tri jezgre, od III/okulomotorijusa, IV/trohlearisa i VI/abducensa moždanog živca). U ovim jezgrama se nalaze neuroni koji inerviraju vanjske mišiće oka, tj. sudjeluju u pokretanju očne jabučice. Projekcije iz vestibularnih jezgara u okulomotorne jezgre važne su za održavanje slike u središnjem dijelu mrežnice (foveji centralis). Možda niste o tome razmišljali, ali kada malo bolje razmislite vidjeti će te da kod promatranja nekog predmeta (ili osobe) kroz duže vrijeme slika koja ulazi u mrežnicu ostaje točno na središnjem dijelu, bez obzira što se cijelo vrijeme glava zapravo više ili manje pomiče. To znači da se

kod pomaka glave u jednom smjeru, očne jabučice moraju pokrenuti u drugom smjeru kako bi slika ostala na istom dijelu mrežnice. Veze vestibularnih i okulomotorih jezgara sudjeluju upravo u ovoj funkciji.

Osim ovih uzlaznih (jer su okulomotorne jezgre smještene iznad vestibularnih), postoje i silazne projekcije koje završavaju na motoričkim neuronima medule spinalis. Ove silazne projekcije nazivaju se vestibulospinalne (najznačajnija je traktus vestibulospinalis lateralis), a funkcija im je inervacija mišića ekstenzora nogu i fleksora ruku. Na taj način oni u tim mišićima dovode do toničke kontrakcije, a što je od ključne važnosti za održavanje tonusa tijela.

Projekcije vestibularnih jezgara u okulomotorne i na motoneurone medule spinalis čine jedinstveni sustav veza, a koji se zove FASCIKULUS LONGITUDINALIS MEDIALIS (flm). FLM se sastoji od uzlazne (ascendentne) i silazne (descendentne) projekcije.

Vezano uz vestibularne jezgre treba spomenuti da lateralna jezgra prima izravne projekcije iz kore malog mozga (zbog toga se lateralna vestibularna jezgra ubraja u duboke jezgre malog mozga). Ove projekcije dolaze od inhibicijskih GABA-ergičkih Purkinjeovih neurona, a što naravno rezultira inhibicijom neurona vestibularne jezgre. Što to konkretno znači najbolje je vidjeti na primjeru eksperimenata na životinjama gdje se vrši presjecanje moždanog debla iznad vestibularnih jezgara. Na taj se način uklone inhibicijski učinci koje dolaze iz kore velikog mozga, te dolazi do pojave decerebracijske rigidnosti (pojača se kontrakcija ekstenzora nogu i fleksora ruku). Ako se presjecanje izvrši ispod ovih jezgara ne dolazi do pojave decerebracijske rigidnosti. Osim toga, u slučaju presjecanja iznad vestibularnih jezgara, električna stimulacija malog mozga (pojača se rad Purkinjeovih neurona) dovodi do ublažavanja decerebracijske rigidnosti, a uništenje odgovarajućih dijelova malog mozga pojača decerebracijsku rigidnost.

Rezimirajući vestibularni sustav treba razmotriti glavne veze lateralne vestibularne jezgre:

- 1) prvi neuron vestibularnog sustava nalazi se u vestibularnom gangliju i projicira se u vestibularne jezgre,
- 2) iz vestibularnih jezgara neuroni se projiciraju u koru malog mozga,
- 3) projekcijski neuroni kore malog mozga inhibiraju lateralnu vestibularnu jezgru,
- 4) glavne eferentne projekcije idu preko fascikulus longitudinalis medijalisa:

a) uzlazne na okulomotorne neurona (jezgre)

b) silazne na motoričke neurone (jezgre) u meduli spinalis.

FIZIOLOGIJA OKA I FOTOTRANSDUKCIJE; MREŽNICA I PRIMARNI VIDNI PUT

1. Svjetlost prolazi kroz zjenice i stimulira receptore smještene u unutrašnjosti oka u mrežnici.
2. Kod kralježnjaka vid ovisi o dvije glavne vrste receptora; čunjića koji nam omogućavaju prepoznavanje boja i štapića koji nemaju tu mogućnost.
3. Tri vrste čunjića omogućavaju prepoznavanje boja. Neke osobe nisu u mogućnosti prepoznavati boje, a uzroci tome mogu biti višestruki.
4. Lateralna inhibicija u mrežnici omogućava bolje zapažanje kontrasta.
5. Najveća gustoća čunjića (i odsutnost štapića) prisutna je u stražnjem središnjem dijelu mrežnice, foveji. To mjesto je mjesto "najasnijeg" vida.
6. Čunjići prenose informaciju na bipolarne stanice koje zatim stimuliraju ganglijske stanice. Sve tri vrste neurona nalaze se u mrežnici. Aksoni ganglijskih stanica tvore vidni živac. Ganglijske stanice su prve stanice vidnog puta koje šalju informaciju u obliku akcijskih potencijala.
7. Približno polovica aksona vidnog živca križa stranu na mjestu koje se zove optička hijazma. Stranu križaju aksoni medijalnog dijela mrežnice, tj. oni koji gledaju lateralnu stranu vidnog polja. Na taj način u lijevu moždanu hemisferu dolazi informacija iz desne strane vidnog polja, kao i obrnuto.
8. Većina aksona vidnog puta (naziv vidnog živca nakon hijazme) dolazi u vidnu jezgru talamusa, korpuse genikulatum laterale. Ovi aksoni čine glavni vidni put. Neuroni talamusa projiciraju se u primarni vidni korteks.
7. Nakon što je vidna informacija došla u koru velikog mozga različiti putevi analiziraju različite dijelove vidne informacije; oblik, boju i kretanje.
8. Neuroni vidnog korteksa reagiraju na specifične vrste vidnog podražaja; U primarnom vidnom korteksu neuroni reagiraju samo na specifično usmjerenje vidnog podražaja, ili na kretanje objekta u određenom smjeru. U asocijativnom vidnom korteksu postoje neuroni koji su aktivni kod prepoznavanja lica sprijeda, dok su dugi, susjedno smješteni neuroni aktivni samo u prepoznavanju lica iz profila. Postoje još i daleko veći broj drugih primjera.

GRAĐA OKA

Oko je parni organ smješten u očnim dupljama (orbitama). Funkcija mu je da svjetlosne informacije prenese na mrežnicu, gdje dolazi do pretvaranja fotona svjetlosti u neuralni kod. Oko se sastoji od tri ovojnice (sl. TNZ 27-1):

Vanjska – sastoji se od rožnice (kornea) i bjeločnice (sklera),

Srednja – koja sadrži krvne žile i sastoji se od žilnice (horoideje), šarenice (iris) i zrakastog tijela (korus cilijare)

Unutarnja – mrežnica (retina) gdje su smješteni receptori (čunjići i štapići), kao i drugi neuroni.

Mrežnica je zapravo izdanak središnjeg živčanog sustava, pa je ona u stvari sastavni dio mozga. U mrežnici se nalaze prvi, drugi i treći neuron vidnog puta. Vidni sustav je jedini senzibilni sustav u kojem su prvi neuron u sustavu ujedno i receptivna stanica. Treći neuron vidnog puta (ganglijske stanice) šalju akson koji izlazi na stražnjem dijelu oka (vidni živac-nervus optikus), te ulazi u lubanju.

Unutarnja strana oka ispunjena je sa tri prozirna medija:

očne vodice – nalazi se u malim prostorima iza i ispred leće,

leće, te staklastog tijela – ispunjava najveći dio nutrine oka.

Zjenica (pupila) je otvor koji omeđuje šarenica. U šarenici se nalaze dva glatka mišića:

muskulus sfinkter pupile – koji povećava šarenicu i smanjuje otvor zjenice, te

muskulus dilatator pupile – koji smanjuje šarenicu i time povećava otvor zjenice.

Obzirom da je riječ o dva glatka mišića oni su inervirani od autonomnog sustava; sfinkter od

parasimpatikusa, a dilatator od simpatikusa. Ovaj antagonistički učinak dovodi do promjena u veličini zjenice. Najbolje je to zapamtiti uz poslovicu "u strahu su velike oči (zjenice)", a većina vas sigurno zna da je u stresu i strahu glavni aktivator tjelesnih manifestacija simpatikus.

Osim ovih, u zrakastom tijelu se nalazi još jedan glatki mišić – zrakasti mišić (muskulus cilijaris). Ovaj mišić vezan je uz rub leće, te se njegovom kontrakcijom leće može izdužiti, tj. on je zadužen za zakrivljenost leće. Na taj način ovaj mišić određuje stupanj loma svjetlosti i važan je za izoštravanje slike. To nam omogućava da jasno vidimo i bliske i udaljene predmete. Cilijarni mišić inerviran je od strane parasimpatikusa.

Uz građu oka potrebno je razlučiti postojanje dviju osi (sl. TNZ 27-1);

geometrijska (optička) os, te

crta vida (linea visus) kojom svjetlost pada točno na mjesto najasnijeg vida, a to je FOVEJA CENTRALIS.

Osim foveje centralis, treba uočiti da se na stražnjem unutarnjem dijelu oka nalazi mjesto gdje izlaze krvne žile i vidni živac (sl. TNZ 28-2). To se mjesto naziva i diskus optikus. U području diskus optikusa nema receptora, pa se ono naziva i slijepa pjega (makula ceka), za razliku od foveje centralis koje se naziva žuta pjega (makula lutea).

ŠTAPIĆI I ČUNJIĆI

Na vanjskom odsječku fotoreceptivnih stanica (štapići i čunjići) smješteno je mnoštvo posebnih molekula koje apsorbiraju fotone svjetlosti. Da bi površina koja apsorbira svjetlost bila što veća, membrana je nabrana poput zavjese. Najbolje

upoznata takva molekula naziva se rodopsin i nalazi se u štapićima.

Rodopsin se sastoji od dvije komponente: 1. opsina i 2. retinala. Retinal je aldehid vitamina A, pa tako postaje jasno zašto nedostatak vitamina A uzrokuje noćno sljepilo. ApSORPCIJOM fotona svjetlosti 11-cis retinal prelazi u sve-trans retinal (sl. TNZ 27-18,27-19). Taj proces naziva se fotoizomerizacija. U tom procesu opsin se odvoji od retinala.

U čunjićima se također nalazi rodopsin, ali koji se razlikuje od onog u štapićima. I ne samo to, u čunjićima postoje tri vrste takvih molekula, a koje se primarno razlikuju u grafi opsina (tj. postoje tri vrste opsina). Svi su vjerojatno čuli da postoje tri vrste čunjića; za plavo, zeleno i crveno. Radi se zapravo o tri različite vrste opsina, a koji različito reagiraju na valne duljine svjetlosti (slika 27-14). Tako je maksimalna reakcija plavog na svjetlost valne duljine 445nm, zelenog za 535, a crvenog na 570. Postojanje više vrsta čunjića koji različito reagiraju na valne duljine svjetlosti prvi je korak u prepoznavanju boja.

Čunjići su specijalizirani za gledanje po danu (fotopni vid), a štapići su specijalizirani za gledanje po noći ili sumraku (skotopni vid)(slika 27-16). Zbog toga glodavci uglavnom i nemaju čunjića, dok je broj čunjića kod čovjeka ipak daleko veći. No i tu je još uvijek omjer 20:1 za štapiće, iako to ne znači da su nam štapići važniji. Dominacija njihovog broja zapravo je rezultat konvergencije velikog broja štapića prema jednoj ganglijskoj stanici, a od koje zapravo informacija stiže u mozak. Stoga su nam čunjići ipak daleko važniji, te se u mjestu najjasnijeg vida foveji centralis (makuli luteji) nalaze isključivo čunjići, koji su ujedno i najmanji čunjići, te ne pokazuju konvergenciju prema ganglijskim stanicama. Zbog toga najmanja receptivna polja imaju upravo ganglijske stanice u koje donose informaciju iz foveje centralis, čime je omogućeno da taj dio mrežnice područje koje prepozna dva predmeta kao zasebna na najmanjoj mogućoj udaljenosti. Upravo ovi mehanizmi (mali čunjići bez konvergencije=malo receptivno polje ganglijske stanice) oni koji omogućavaju da foveja centralis bude mjesto najjasnijeg vida.

Rezimirajući se može o štapićima i čunjićima kazati slijedeće: čovjek koji bi izgubio sve štapiće po danu bi vidio potpuno normalno, a poteškoće bi pokazivao tek pojavom mraka. On bi dakle bolovao od noćnog sljepila. Čovjek koji bi pak izgubio sve čunjiće mogao bi samo nejasno vidjeti glavne konture nekih predmeta. U biti on bi bio gotovo u potpunosti sljep.

FOTOTRANSDUKCIJA (sl. TNZ 27-17,18,19)

Za razumijevanje procesa fototransdukcije bitno je razumjeti dvije činjenice:

1. Dok nema apSORPCIJE fotona otvoreni su Na kanali, što znači da je neuron depolariziran.
2. Kod fotoreceptivnih stanica (ali i kod bipolarnih stanica, te svih drugih interneurona mrežnice) nema pojave akcijskog potencijala, već postoji

trajna sekrecija neurotransmitora (glutamata). To znači da se sa stupnjem depolarizacija povećava izlučivanje glutamata, dok se sa stupnjem hiperpolarizacije dešava obrnuto, tj smanjuje se njegova sekrecija. Ovaj se fenomen može usporediti sa slavinom iz koje teče voda i koja je napola otvorena. Još jače otvaranje (depolarizacija) pojačati će istjecanje vode (glutamata), a polagano zatvaranje slavine (hiperpolarizacija) smanjivati će njezino istjecanje.

Ovo zapravo znači da će se kod apSORPCIJE fotona (pada svjetlosti na čunjić) smanjiti izlučivanje glutamata (a ne povećati kao što bi svako na početku ovog poglavlja zaključio). To znači da se apSORPCIJOM fotona (slika 27-17) pokreće mehanizam koji dovodi do zatvaranja Na kanala. Na taj način se čunjić hiperpolarizira, a što dovodi smanjene sekrecije glutamata (slika 27-18).

Sve ovo naravno ne znači da u konačnici ganglijske stanice (koje vode informaciju iz mrežnice u mozak) smanje frekvenciju odašiljanja nakon svjetlosnog podražaja. Naime, na donjem dijelu čunjića (sinaptički završetak-pedikulum) završe dvije funkcionalno različite vrste bipolarnih stanica (sl. TNZ 28-5,28-13,28-14). Funkcionalno različitih jer imaju različite vrste glutamatnih receptora. Bipolarne stanice također ne pokazuju pojavu akcijskog potencijala, te secerniraju glutamat na ganglijske stanice. Tek ganglijske stanice (treći neuron vidnog puta) funkcioniraju na principu akcijskog potencijala.

Jedna vrsta bipolarnih stanica ima:

1. "inhibicijske" glutamatne receptore. To znači da će izlučeni glutamat iz čunjića smanjiti izlučivanje glutamata iz bipolarnih stanica. Naravno da vrijedi i obrnuto. Smanjenje glutamata iz čunjića (kod svjetlosnog podražaja) smanjiti će inhibiciju i povećati izlučivanje glutamata iz bipolarnih stanica. Ovo će naravno dovesti do povećanja frekvencije akcijskog potencijala u ganglijskim stanicama na koje se ova bipolarna projicira. To zapravo znači da postoje bipolarne i ganglijske stanice koje će povećati izlučivanje glutamata i frekvenciju akcijskih potencijala u trenutku kada svjetlosni podražaj padne na čunjić. Ove se stanice stoga nazivaju **ON ili + stanicama**.

2. "ekscitacijski" glutamatni receptori. Kod bipolarnih stanica koje imaju ovakve receptore desiti će se upravo obrnuto. Takve će bipolarne i prateće ganglijske stanice imati najveću frekvenciju odašiljanja upravo onda kada nema svjetlosnog podražaja. Zbog toga se ove stanice nazivaju **OFF ili - stanicama**.

GLAVNI (PRIMARNI) VIDNI PUT I SUSTAV (sl. TNZ 28-1)

Kao što je već prije bilo navedeno mrežnica je izravni produžetak međumozga, te se stoga i ubraja u središnji živčani sustav. Također, fotoreceptivne stanice ujedno su i prvi neuron vidnog puta. Na njih se nadovezuju bipolarne stanice (slika 28-5) koje čine drugi neuron vidnog puta. Dendriti ganglijskih

stanica u vezi su sa bipolarnim stanicama, a njihov akson tvori vidni živac (nervus optikus). To je treći neuron vidnog puta. Svi ovi neuroni se dakle nalaze u mrežnici.

Vidni živac zatim ide prema talamusu, točnije prema metotalamusu. U korpus genikulatum medijale prekapčaju se aksoni ganglijskih stanica, te tu započinje četvrti neuron koji se rpojicira u primarni vidni korteks. Primarni vidni korteks odgovara Brodmannovoj areji 17 i kod čovjeka je smješten na medijalnoj starani okcipitalnog režnja u dubini brazde koja se naziva fisura (sulkus) kalkarina. Ovo je područje već i na neobrađenom preparatu prepoznatljivo po bijeloj pruzi koja se proteže unutar sive tvari, a koja se naziva Genarijeva pruga.

Rezimirajući vidni put može se prikazati na slijedeći način:

Mrežnica: 1. neuron - fotoreptori (štapici i čunjići),

2. neuron - bipolarne stanice,
3. neuron - ganglijske stanice.

Vidni živac (nervus optikus) - Vidni trakt (traktus optikus)

Talamus 4. neuron - korpus genikulatum laterale (6 slojeva, 1 i 2 magno, 3-6 parvocelularni)

Radiatio optika - traktus genikulokalkarinus

Korteks 5. neuron - areja 17, primarni vidni, okcipitalni režanj, sloj 4

Kod organizacije vidnog puta treba uočiti slijedeće:

1. polovica aksona vidnog živca križa stranu (sl. TNZ 28-1,28-16,28-17), te
2. posatoji retinotopska organizacija od mrežnice prema areji 17 (sl. TNZ 28-1,28-15)

Ukrižanje aksona vidnog živca

Na mjestu koje se zove hijazma optici, aksoni iz unutarnje polovice vidnog živca prelaze na drugu stranu. To znači da informacije iz unutarnjih (nazalnih) djelova mrežnice prelaze na drugu stranu, tj. da stranu križa ona informacija koja dolazi iz vanjskih (temporalnih) dijelova vidnog polja. Na taj način u lijevu hemisferu mozga ulazi informacija iz desnih dijelova vidnog polja i obrnuto. Treba spomenuti da se ukrižena i neukrižena vlakna nakon spajanja ne prekapčaju nasumice. U talamusu (cgl) ukriženji aksoni prekapčaju se u slojevima 1,4,6, a neukriženi u slojevima 2,3,5. U primarnoj vidnoj kori (slika 28-24) aksoni iz oba oka se ne preklapaju već naizmjenično završavaju u stupićima debljine 500mikrometara. Ovakvi se stupići nazivaju okulodominantne kolumne.

Retinotopska organizacija

Retinotopska organizacija označava pojavu da su dijelovi mrežnice točno zadržali raspored tijekom cjelokupnog prijenosa do primarnog vidnog korteksa (prijenos sa točke na točku). Kao ni u somatosenzibilnom sustavu ovaj raspored je pravilan, ali nije proporcionalan. To znači da područje foveje centralis koje pokriva oko 1% mrežnice zauzima više od 30% primarnog vidnog

korteksa. Odnos zastupljenosti u kroi smanjuje se prema periferiji mrežnice.

STRUKTURNO-KEMIJSKA PODLOGA RECEPTIVNOG POLJA GANGLIJSKE STANICE

Kao što je vidljivo receptivno polje jedne ganglijske stanice ima središnje područje na koje reagira povećanjem akcijskih potencijala (pozitivno), te periferno polje na koje reagira smanjenjem (negativno). Takav je slučaj za ON-centar ganglijske stanice, dok je za off-centar stanice obrnuto.

Dva su mehanizma koji dovode do ovog fenomena:

1. čunjići su povezani vodoravnim interneuronima. U trenutku kada se osvijetle (hiperpolariziraju) čunjići periferije, aktivnost interneurona dovede do depolarizacije čunjića u središtu receptivnog polja. To znači da oni počinju slati signal kao da se stupanj osvijetljenja još više smanjio, a da se zapravo ništa nije dogodilo (nije došlo do promjene svjetlosti). Osim toga bipolarne stanice koje idu sa perifernih čunjića daju kolaterale na ganglijske stanice centra, ali obrnuto od njihove glavne veze; on zavše na off, a off na on.

To zapravo znači da kod osvijetljavanja periferije ganglijske stanice reagiraju jednako kao da se intenzitet svjetla na središnji dio receptivnog polja smanjio, iako se zapravo u središtu ništa nije dogodilo.

Uočite da su zbog ovakve organizacije upravo najaktivnije one ganglijske stanice na kojima se preklapaju granice kontrasta, tj. one kod kojih je središnji dio osvijetljen, a periferni dio nije. Ovim se mehanizmom zapravo stvarna razlika kontrasta prilikom pretvorbe u neuralni kod udvostručuje.

AKCESORNI VIDNI PUTOVI

Put za vidno motoričko ponašanje, tj. praćenje predmeta pogledom, čine aksoni ganglijskih stanica u mrežnici (treći neuron) koji završe u gornjim kolikulima.

Put za autonomne optičke reflekske sudjeluje u usklađenju pupilarnog refleksa i akomodacije. Put čine aksoni ganglijskih stanica mrežnice (treći neuron) što završavaju u pretekalnim jezgrama i potom dopiru u parasimpatičku jezgru n. okulomotorijusa, te povratno putem cilijarnog ganglija inerviraju m. sphincter pupillae i m. ciliaris.

U čovjeka postoje i sekundarni putovi za aktivacijsku zadaću svjetla i za optičko – neuroendokrine reflekske.

ZAŠTITNI I MOTORIČKI APARAT OKA

Zaštitni uređaj oka čine obrve i vjeđe. *Suzni uređaj oka apparatus lacrimalis*, čine suzna žlijezda i izvodne cijevčice. *Suzna žlijezda, glandula lacrmalis*, smještena je u lateralnom kutu orbite. Suznu žlijezdu inerviraju parasimpatički ogranci lakrimalnog živca kojih vlakna potječu od živca lica, n. facialis. Simpatička vlakna dolaze suznoj žlijezdi s ograncima oftalmičke arterije.

Motorički uređaj oka čine mišići jabučice oka, *musculi bulbi*, koji pomiču jabučicu oka tako da slika promatranog predmeta uvijek pada na žutu mrlju, tj. mjesto najjasnijeg vida. Mišića jabučice oka ima šest i to su: četiri ravna i dva kosa očna mišića. Svi mišići oka osim donjeg kosog mišića polaze sa Zinnijevog fibroznog prstena, što okružuje kanal vidnog živca te završavaju na bjeloočnici u različitoj udaljenosti od ruba rožnice. Većinu tih mišića inervira okulomotorički živac, a iznimka su m. obliquus bulbi superior kojeg inervira n. trochlearis i m. rectus bulbi lateralis kojeg inervira n. abducens. Sustav mišića jabučice oka

omogućuje pokretljivost očne jabučice u svim smjerovima i praćenje predmeta bez opsežnih pomaka glave.

OSJETILO NJUHA, ORGANUM OLFACTUS, I NJUŠNI PUT

Prvi neuron njušnog puta čine ganglijske stanice smještene u njušnom području, *regio olfactoria*, što zaprema dio krova nosne šupljine i gornju nosnu školjku, te gornji dio nosne pregrade. Njušni dio sluznice nosa sadrži žlijezde, *glandulae olfactoriae*, što vlaže površinu sluznice i otapaju tvari dospjele strujom uzduha, čime omogućuju djelovanje osjetnih stanica. Centralni nastavci bipolarnih ganglijskih stanica prolaze kroz rešetnicu (*lamina cribiformis*) i završavaju u njušnom

podebljanju, *bulbus olfactorius*. Drugi neuron njušnog puta čine mitralne stanice kojih se jezgre nalaze u njušnom podebljanju, a aksoni omotani mijelinskom ovojnicom tvore *tractus olfactorius*. Vlakna njušnog puta završavaju u različitim, tzv. sekundarnim njušnim centrima (*nucleus olfactorius anterior*, centri u prepiriformnom i periamigdaloidnom korteksu, *nucleus amygdaloideus*). Treći neuron polazi od stanica u sekundarnim njušnim centrima i završava u jezgrama septalnog područja i u hipokampusu. Ovi su centur povezani s limbičkim sustavom. U čovjeka je osjet njuha prilično reduciran, a u životinja gdje ima važan udio u očuvanju vrste izrazio je razvijen.

OPĆE USTROJSTVO MOTORIČKIH SUSTAVA

1. Istovjetan pokret uvijek zahtijeva kontrakciju različite kombinacije mišića u ovisnosti o vanjskoj situaciji. Naš je mozak uvijek spreman "izračunati" potrebnu kombinaciju i učiniti pravi pokret.
2. Različiti dijelovi mozga sudjeluju u kontroli različitih komponenti kretanja.
3. U čovjeka (i ostalih kralježnjaka) nalazimo tri vrste mišića: skeletne (poprečnoprugaste), srčani i glatke. Motorički sustav inervira skeletne mišiće, dok su ostale dvije vrste mišića inervirane od strane autonomnog sustava.
4. Neuromuskularna sveza je sinaptički spoj između aksona donjeg motoneurona (presinaptički dio) i skeletnog mišićnog vlakna (postsinaptički dio).
5. U mišićima i tetivama se nalaze receptori koji donose informaciju o stupnju zategnutosti mišića i tetive. Oni spadaju u skupinu tzv. proprioceptora.
6. Neki motorički pokreti odraz su jednostavne (nekada čak i monosinaptičke) interakcije, bez ikakve kontrole viših moždanih struktura. Ovakvi pokreti nazivaju se refleksima.
7. Kralježnična moždina u čovjeka predstavlja samo završnu komponentu motoričkog sustava, te samostalno može jedino biti uključena u refleksne pokrete. Za razliku od čovjeka, kod drugih životinja (npr. mačke, ali čak i kod primata) ona može sadržavati motorne programe potrebne za hodanje, trčanje, skakanje...
8. Uloga malog mozga je u usklađivanju informacija sa periferije (proprioceptivnih informacija) i informacija iz velikog mozga (planirane radnje). Poremećaji malog mozga dovode do problema u izvršavanju brzih i naglih, te ritmičkih pokreta.
9. Bazalni gangliji su skup jezgara važan u izvršavanju automatiziranih motoričkih pokreta.
10. Piramidni sustav započinje u kori velikog mozga (motoričkim i premotoričkim područjima) i važan je za izvršavanje voljnih motoričkih pokreta.
11. Ekstrapiramidni sustav započinje u složenijim motoričkim strukturama moždanog debla (složeniji predmijeva da se ne radi o motoričkim jezgrama moždanih živaca), a uloga mu je da svojim silaznim projekcijama na donje motoneurone održava mišićnu aktivnost potrebnu za održavanje ravnoteže i stava tijela, a također služi kao izlazni sustav malog mozga.

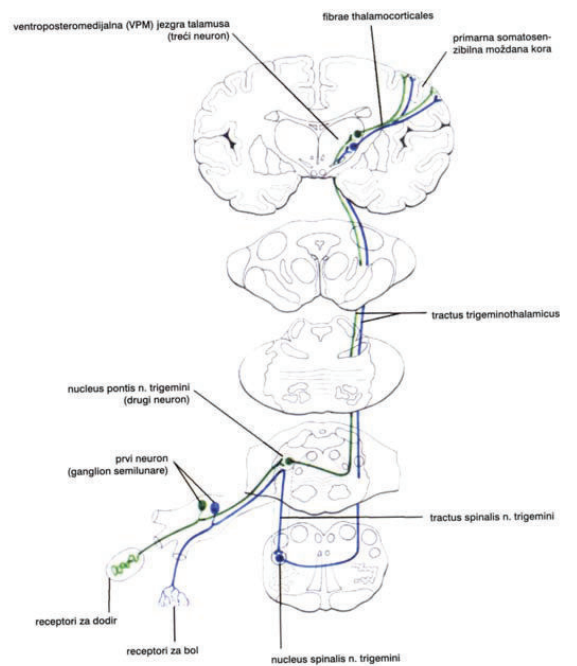
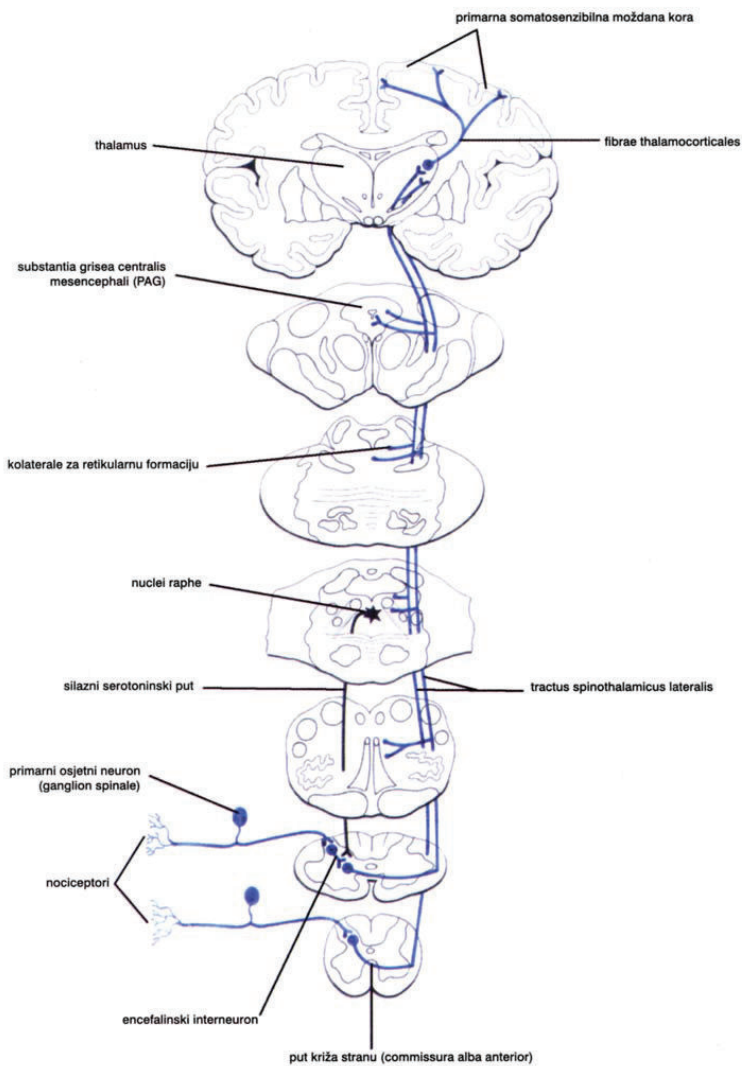
Piramidni put; 1. (središnji) neuron (križa stranu, u potpunosti za medulu spinalis, a za dijelove nekih jezgara moždanih živaca postoji i značajan broj neukriženih vlakana). Iz kore velikog mozga kroz kapsulu internu i cerebralne pedunkule do interneurona prednjeg i stražnjeg roga (*tractus corticospinalis lateralis*, *tractus corticospinalis anterior*, tijelo neurona smješteno je u precentralnoj vijuzi, *gyrus praecentralis*).

Odvajanje vlakana za jezgre moždanih živaca (*tractus corticonuclearis* i *tractus corticobulbaris*). Većina vlakana piramidnog puta završi neizravno na motoneuronima (preko interneurona), ali za mišiće koji sudjeluju u posebno finim pokretima (primjerice šake i grkljana) veliki dio aksona piramidnog puta završi izravno na motoneuronima. Izravni završetak piramidnog puta nalazi se u velikoj mjeri samo kod čovjeka, ali samo u manjem broju motoričkih jezgara.

2. (periferni) neuron (završetak motoričkih puteva, α -motoneuron). Od prednjeg roga odlazi do

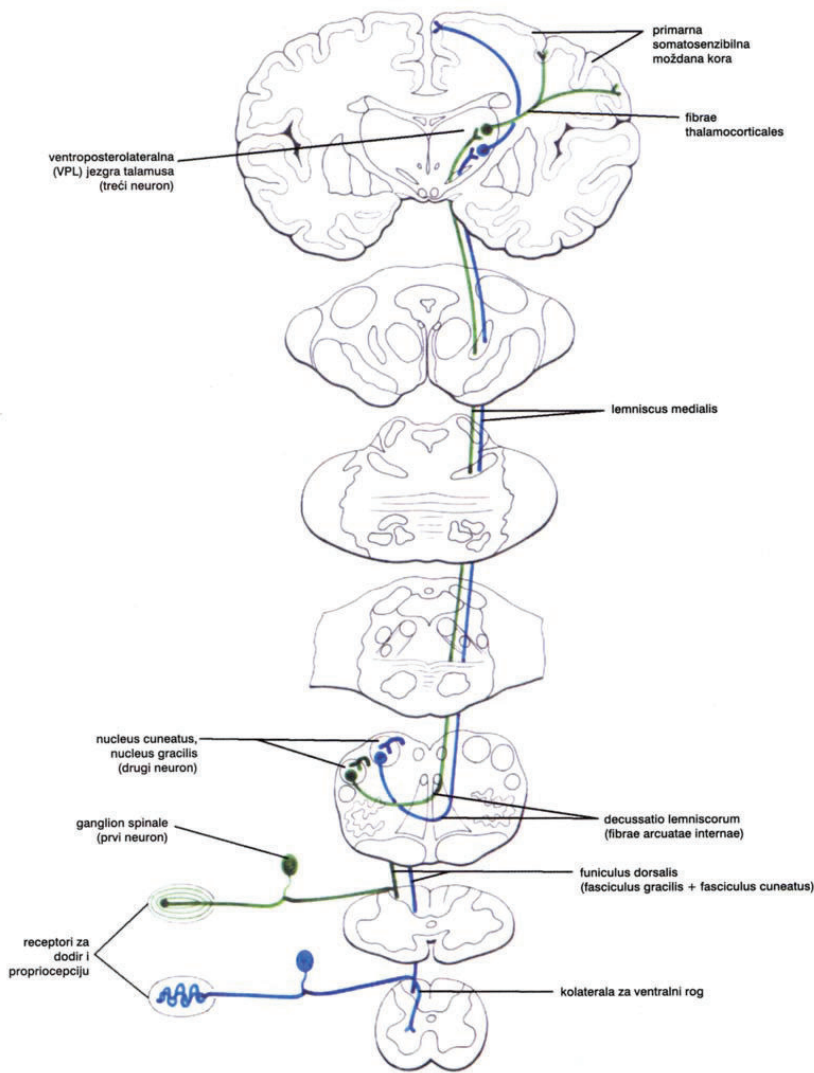
motornih ploča na skeletnim mišićima (motoneuroni, tijelo u prednjem rogu medule spinalis i motoričkim jezgrama moždanih živaca).

Ekstrapiramidni sustav; 1. Središnji neuron (neki križaju, a neki ne križaju stranu). Iz kore velikog mozga, posebice precentralne vijuge i susjednih područja frontalnog režnja, polaze neuroni koji se prekapčaju u bazalnim ganglijima, talamusu, subtalamičkoj jezgri, substanciji nigri i malom mozgu, te preko njih završavaju na interneuronima prednjeg roga medule spinalis (*tractus rubrospinalis*, *tractus vestibulospinalis medialis et lateralis*, *tractus reticulospinalis*, *tractus tectospinalis*). 2. periferni neuron (završetak motoričkih puteva, α -motoneuron) Od prednjeg roga odlazi do motornih ploča na skeletnim mišićima (motoneuroni, tijelo u prednjem rogu medule spinalis i motoričkim jezgrama moždanih živaca).

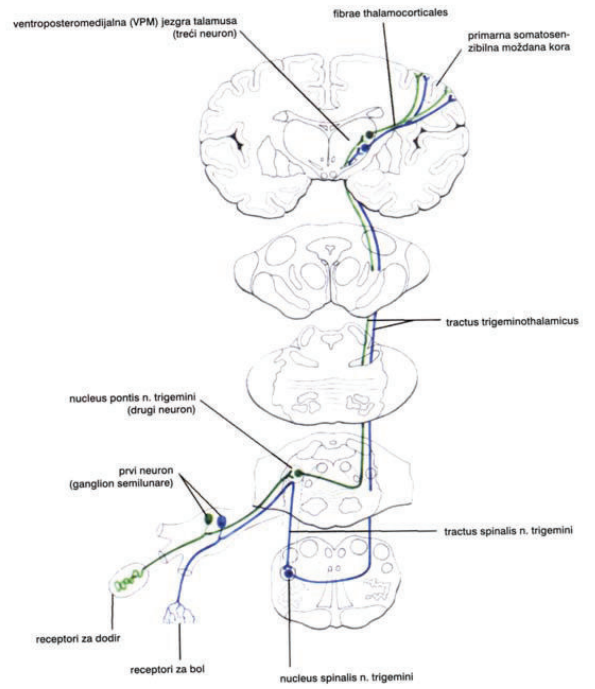


Slika 24-6. Trigeminalni put prenosi osjet dodira i kinestezije iz područja lica. Prvi neuron osjetnog puta je pseudounipolarni neuron polumjesečastog ganglija (ganglion semilunare). Tijelo drugog neurona smješteno je u nucleus pontis n. trigemini (uočite da je tijelo drugog neurona za prijenos osjeta boli i temperature iz područja lica smješteno u spinalnoj jezgri, nucleus spinalis n. trigemini – za pojedinosti vidi Z3. poglavlje!). Aksoni drugog neurona oblikuju tractus trigeminothalamicus, što završava u ventroposteromedijalnoj (VPM) jezgri talamusa. Odatle talamokortikalni aksoni (fibrae thalamocorticales) odlaze u primarnu somatosenzibilnu koru postcentralne vijuge.

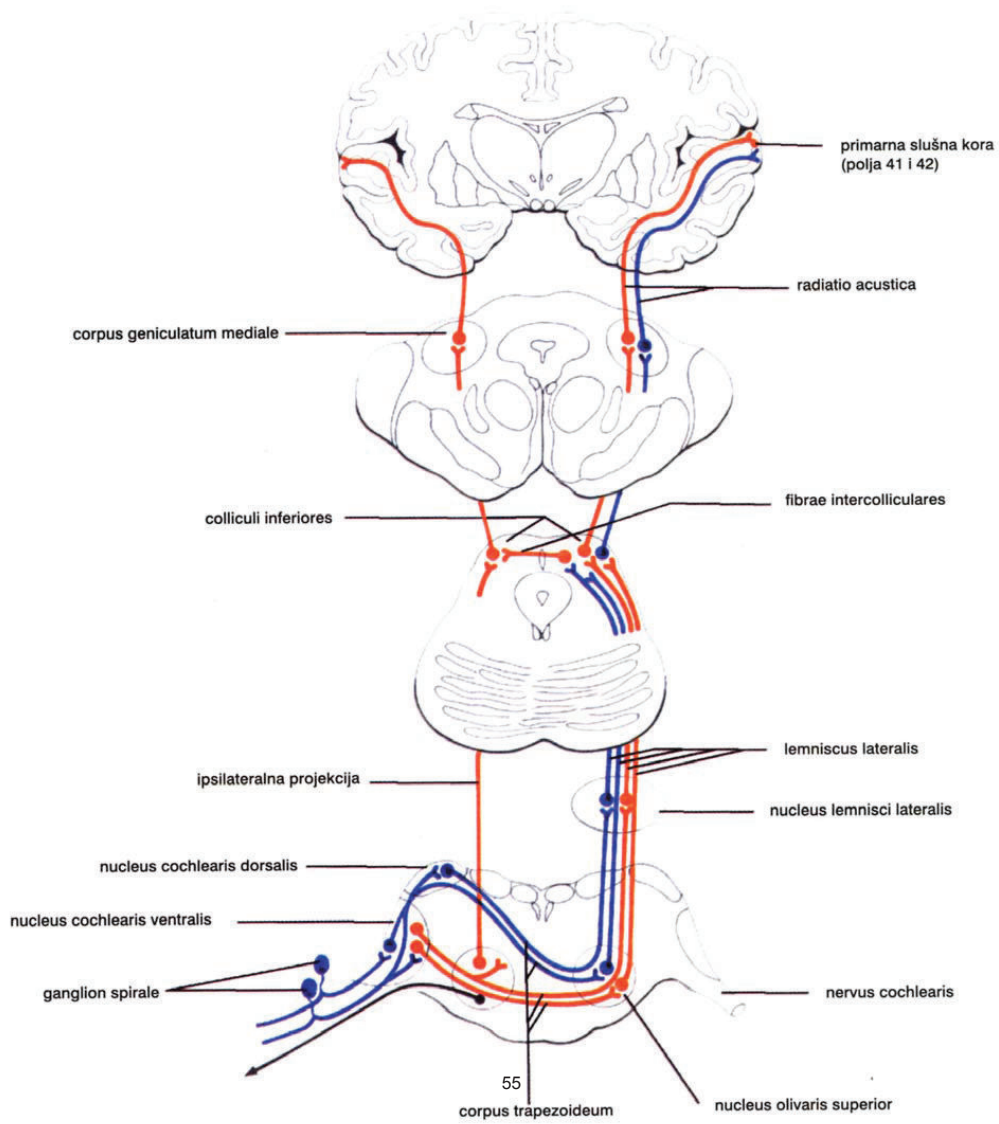
Slika 23-5. Tractus spinothalamicus lateralis je dugi uzlazni osjetni put za prijenos svjesnog osjeta boli. Za pojedinosti vidi tekst; uočite i silaznu projekciju iz nuclei raphe.



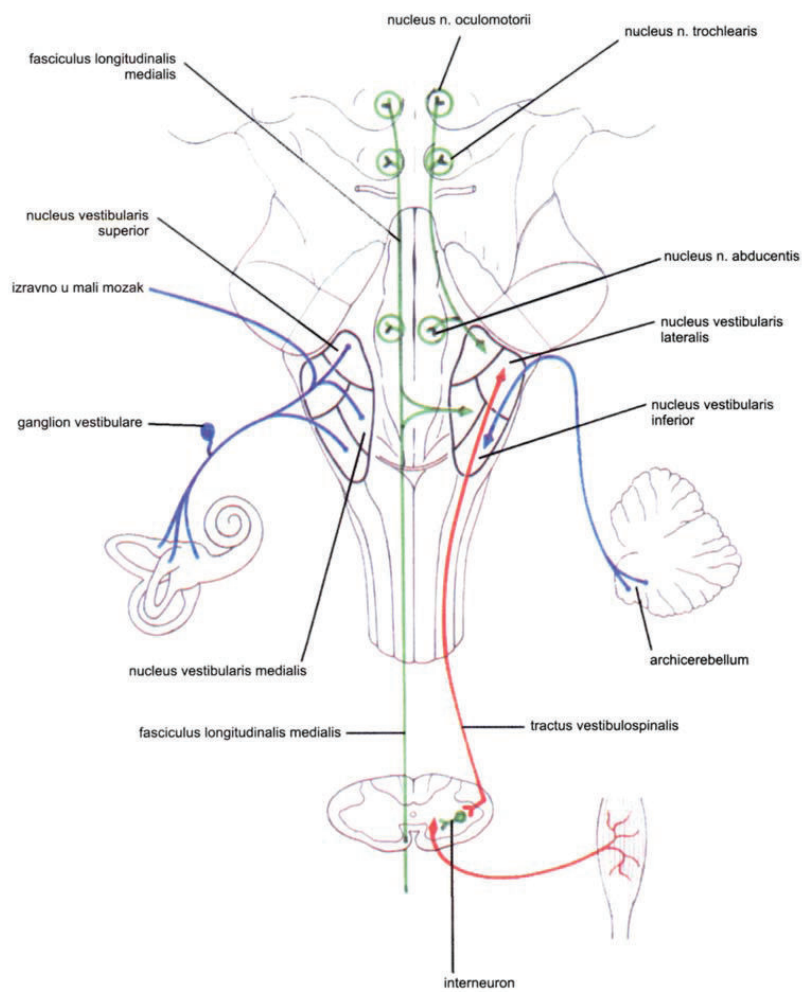
Slika 24-3. Put za svjesni osjet dodira, pritiska, vibracije i kinestezije iz područja trupa i udova. Za pojedinosti vidi tekst.



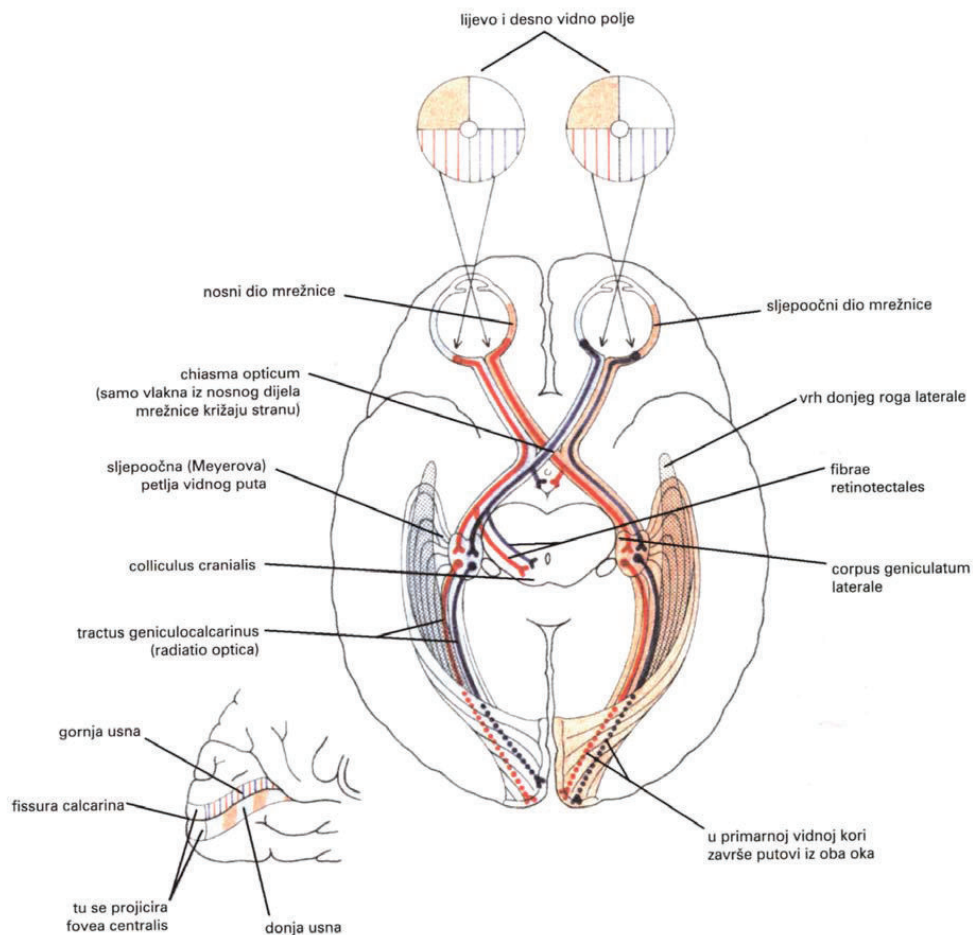
Slika 24-6. Trigeminalotalamički put prenosi osjet dodira i kinestezije iz područja lica. Prvi neuron osjetnog puta je pseudounipolarni neuron polumjesečastog ganglija (*ganglion semilunare*). Tijelo drugog neurona smješteno je u *nucleus pontis n. trigemini* (uočite da je tijelo drugog neurona za prijenos osjeta boli i temperature iz područja lica smješteno u spinalnoj jezgri, *nucleus spinalis n. trigemini* – za pojedinosti vidi 23. poglavlje!). Aksoni drugog neurona oblikuju *tractus trigeminothalamicus*, što završava u ventroposteromedijalnoj (VPM) jezgri talamusa. Odatle talamokortikalni aksoni (*fibrae thalamocorticales*) odlaze u primarnu somatosenzibilnu koru postcentralne vijuge.



Slika 26.5. Služni putovi. Desni i lijevi slušni putevi su bilateralni osim spiralnog ganglija (*ganglion spirale*). Centralni nastaci



Slika 26-12. Vestibularni sustav. Prvi neuron vestibularnog puta su bipolarni neuroni vestibularnog ganglija (*ganglion vestibulare*), a njihovi centralni nastavci završavaju u četiri vestibularne jezgre u moždanom deblu. No, dio primarnih aksona odlazi izravno u mali mozak. Od lateralne vestibularne jezgre polazi silazni *tractus vestibulospinalis lateralis*, što preko interneurona snažno facilitira motoneurone prednjeg roga za inervaciju »antigravitacijskih« mišića (fleksora ruku i ekstenzora nogu). Ostale tri vestibularne jezgre su dvosmjerno povezane s malim mozgom i sustavom okulomotoričkih jezgara (*nucleus n. oculomotorii*, *nucleus n. trochlearis*, *nucleus n. abducentis*) a snop što povezuje vestibularne s okulomotoričkim jezgrama je *fasciculus longitudinalis medialis* (FLM).



Slika 28-1. Dijagram tri temeljna dijela i ustrojstva primarnog vidnog puta. **Infranuklearni dio primarnog vidnog puta čine:** retina, nervus opticus, chiasma opticum i tractus opticus; **nuklearni dio primarnog vidnog puta čine:** colliculi superiores, corpus geniculatum laterale, nucleus praegeniculatus i pulvinar; **supranuklearni dio primarnog vidnog puta čine:** radiatio optica i area striata. Nosni (nazalni) dijelovi mrežnice gledaju sljepoočne (temporalne) dijelove vidnog polja, i obrnuto. Nadalje, vlakna iz sljepoočnog dijela mrežnice završavaju u istostranom CGLd (corpus geniculatum laterale), dok vlakna iz nosnog dijela mrežnice kroz hijazmu odlaze u CGLd suprotne strane. Stoga primarna vidna moždana kora (area striata, polje 17, polje V1) gleda desnu polovicu vidnog polja (a obrnuto vrijedi za desnu moždanu polutku). Gornja usna fisure kalkarine gleda donji dio vidnog polja, dok donja usna fisure kalkarine gleda gornji dio vidnog polja. Mjesto najoštrijeg vida (fovea centralis) projicira se u dio primarne vidne moždane kore što je smješten u vrhu zatiljnog režnja.

