



Hjerne & Sanser

Neuroanatomi & -fysiologi

af Asma Bashir, læge

HJERNEN

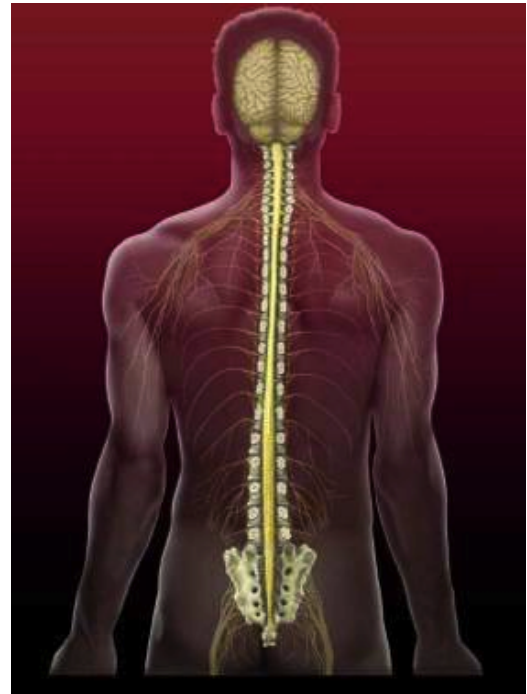
NERVESYSTEMET

Nervesystemet omfatter alt nervevæv i organismen og har som hovedfunktion kommunikation. Stimuli i form af tryk eller berøring bliver opfanget af sensoriske receptorer. Denne stimuli omdannes til elektrisk aktivitet, der i form af nerveimpulser transmitteres til central nervesystemet (CNS), hvor disse bearbejdes. Herefter sendes impulserne fra CNS til effektororganerne: skeletmuskler, glat muskulatur og kirtler.

Centralnervesystemet (CNS) består af hjernen (encephalon) der ligger i kraniehulen, og den fortsætter nedadtil som rygmarven (medulla spinalis) i hvirvelkanalen.

Hjernen opdeles i:

- Storhjernen, cerebrum, der udgøres af:
 - Telencephalon der rummer:
 - Cortex cerebri – sæde for bevidst erkendelse og viljestyret adfærd samt højere kognitive processer
 - Basal ganglier – planlægning og initiering af bevægelser
 - Diencephalon rummer:
 - Thalamus – relateret til cortex cerebri
 - Hypothalamus – den overordnede regulator af det indre miljø
- Lillehjerne, cerebellum – koordination af bevægelser og har tæt forbindelse til hjernestammen
- Hjernestamme, truncus encephali, afgiver 3.-12. kranienerve og inddeles i
 - Mesencephalon
 - Pons – hjernebroen der bagtil er sammenhængende med lillehjernen
 - Medulla oblongata – den forlængede rygmarv der nedadtil går over i rygmarven og afgiver spinalnerv



Nervesystemet indeholder mere end 100 mia. nerveceller. Mellem nervecellerne er der cellekontakter, synapser, hvor impulsbølgen overføres fra nervecelle til nervecelle vha. kemiske neurotransmittere. Nervecellerne er støttet af støtteceller, neuroglia, som er ansvarlige for opretholdelse af miljøet omkring den enkelte nervecelle, optimering af impulsledning samt beskyttelse af nerveceller.

Det perifere nervesystem (PNS) omfatter alt nervevæv udenfor hjerne og rygmarv, som sørger for kommunikation mellem CNS og resten af kroppen. Det består af grupper af nervecellelegemer, ganglier og

sammenfletninger af nervefibre, plexer, samt bundter af parallelle forløbende nervefibre i form af perifere nerver. Nerverne afgår parvis fra hjerne og rygmarg til hver side af kroppen. PNS deles i det somatiske nervesystem, som er under kontrol af viljen og styrer kroppens skeletmuskler, og det autonome nervesystem, som er uden kontrol og virker på kroppens kirtler, hjertet og den glatte muskulatur i blodkar og indre organer.

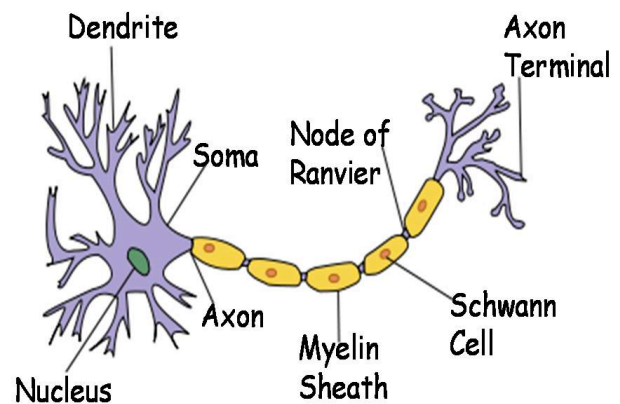
Det autonome nervesystem deles videre i det sympatiske nervesystem og det parasympatiske nervesystem. Det sympatiske nervesystem aktiveres ved stress og fysisk krævende situationer, hvilket gør, at kroppen bedre er i stand til at udføre kraftpræstationer på kort sigt. Parasympatikus kontrollerer først og fremmest funktioner, som er væsentlige for organismens opretholdelse og trivsel på længere sigt. Det virker fremmende på fordøjelsesprocesserne, sikrer udskillelse af affaldsprodukter ved tømning af blære og endetarm, beskytter øjet mod stærkt lys, dæmper hjertets aktivitet, reducerer luftvejenes diameter og øger sekretionen i luftvejene.

De to systemer adskiller fra hinanden på flere måder. De sympatiske ligger i rygmargsegmenterne T1-L2, mens de parasympatiske ligger i hjernestammen og i rygmargens sakraldel. I det sympatiske system er præganglionære relative korte og de postganglionære lange. I det parasympatiske system er de præganglionære axoner meget lange mens de postganglionære er korte. De sympatiske postganglionære neuroner bruger som hovedregel noradrenalin som transmitter, mens de parasympatiske postganglionære ofte bruger acetylcholin. De præganglionære neuroner i både det sympatiske og parasympatiske system bruger acetylcholin.

NERVE

Et neuron har et nervecellelegeme, soma, med alle dets udløbere, dendritter og et axon. Den kan være fra få μm til mere end 100 μm i diameter.

Cellelegemet består af kernen og cytoplasmaet betegnet perikaryon, størrelsen varierer mellem 4-135 μm . Kernen er oval til rund, lys og er stor i forhold til cellestørrelse. Der ses også en stor nucleolus bag den lyse kerne. Perikariets form er oftest polygonal med udløbere afgående fra hjørnerne, hvor i spinalganglier er det mere rund.



Neuron (single nerve cell)

Cytoplasmaet indeholder alle cellens sædvanlige organeller. I neuroner, farvet med toluidinblåt, ses basofile klumper (skyldes RNA) i perikaryon, Nissl-substans. Den forekommer i perikaryon og i dendritterne, men mangler i axon og udspringskonus. Ved elektronmikroskopi ses Nissl-substans at bestå af ru endoplasmatisk reticulum og er sæde for proteinsyntese. Der forekommer desuden frie ribosomer i cytoplasmet og i nogle tilfælde også ude i dendritterne. Der forekommer også betydelige mængde glat endoplasmatisk reticulum i perikaryon, dendritter og axon. Det oplagrer calciumioner. Golgi-apparat strækker sig som en ring rundt omkring kernen i perikaryon. Mitokondrier findes både i perikaryon og i alle udløbere. Nervecellen er meget afhængig af aerob ATP-produktion, hvor glukose er substrat – de kan ikke, som i muskelceller, forbrænde fedt. Man har fundet enkelte centrosomer, hvis funktion er uvis, da nerveceller ikke deler sig. Der forekommer ligeledes spinkle tråde, neurofibriller, der forløber i både perikaryon og udløbere. Neurofibriller består af bundter af filamenter af ca. 10 nm diameter, neurofilamenter og svarer til intermediære filamenter i andre celletyper. Deres vigtige opgave er at opretholde diameteren på tykke myeliniseret axoner. Der forekommer også aktinfilamenter og mikrotubuli, der er arrangeret i bundter. De bidrager ved at virke afstivende og stabiliserende på cellens facon. Mikrotubulier har også en anden opgave: transport af organeller og partikler i neurocellens axoner. Man skelner mellem 2 transport:

- Anterograd axonal transport f.eks. at bringe synaptiske vesikler, proteiner m.m. ud til nerveterminalen.
- Retrograd axonal transport f.eks. feedback, så proteinsyntesen kan modificeres til den ønskede virkning.

Retrograd axonal transport sørger også for, at slidte organeller bringes til cellelegemet, hvor de udslettes af lysosomer. Dendritter er de korte udløbere af neuronet. Nogle nerveceller har mange dendritter, der er med til at forøge neuronets overflade og dermed muligheden for at modtage mange impulser fra andre neuroner. Dendritter er besat med talrige små fremspring, spinae, der tjener til synaptisk kontakt med andre neuroners axonterminaler. Bortset fra at forøge den receptive overflade er spinae involveret i neuronal plasticitet (læring og hukommelse).

Der findes kun et axon på hvert neuron. Axonet er langt og er specialiseret i hurtig ledning af nerveimpulser over lange afstande. Axonet udspringer fra et lille fremspring på cellelegemet, udspringkonus og er karakteriseret ved ikke at indeholde Nissl-substans. Axoplasmaet indeholder glatte endoplasmatiske reticulum, neurofilamenter og mitokondrier. Nogle axoner har støtteceller (oligodendrocytter i CNS og Schwannske celler i PNS), der danner en isolerende kappe, myelinskede, rundt om axonet. Nær sit endeområde deler axonet sig i forgreninger, som slutter i form af en opsvulmet knop, en nerveterminal eller bouton, hvor talrige små vesikler, synaptiske vesikler indeholdende en eller flere neurotransmittere, er samlet. Her er ingen støtteceller eller myelinbeklædningen.

Neuroner deles i projektionsneuroner og interneuroner afhængig af længden af axonet. Projektionsneuroner har mange dendritter og et meget langt axon, som når til andre områder i CNS via tractus eller forlader CNS som en perifer nervefiber. Interneuroner har også mange forgrenede dendritter, men et relativt kort axon, som forgrener sig nær cellelegemet. Dens funktion er at formidle signaler mellem mange tætliggende neuroner i en gruppe. De har for det meste en inhibitorisk virkning formidlet af GABA. Interneuronet medfører forsinkelse af impulstrafikken og giver mulighed for større variation i respons som svar på stimuli.

Ved skader i nervesystemet kan impulstrafikken med indskudte interneuroner have betydning for genvinding af funktioner. Hvis den direkte vej mellem 1. neuron og 2. neuron er brudt, kan den indirekte med interneuroner hvis den er bevaret, tage over en del af opgaverne, som blev varetaget af den direkte vej. Dette er sandsynligvis noget af grundlaget for bedring efter en hjerneblødning.

Et meget stort antal axonterminaler kan danne synaptisk kontakt med dendritterne på en enkel nervecelle. Fremmende eller hæmmende impulser fra terminalerne fremkalder lokale ændringer i dendritmembranens elektrisk potential, og summationen af alle disse påvirkninger afgør, om der dannes et aktionspotentiale.

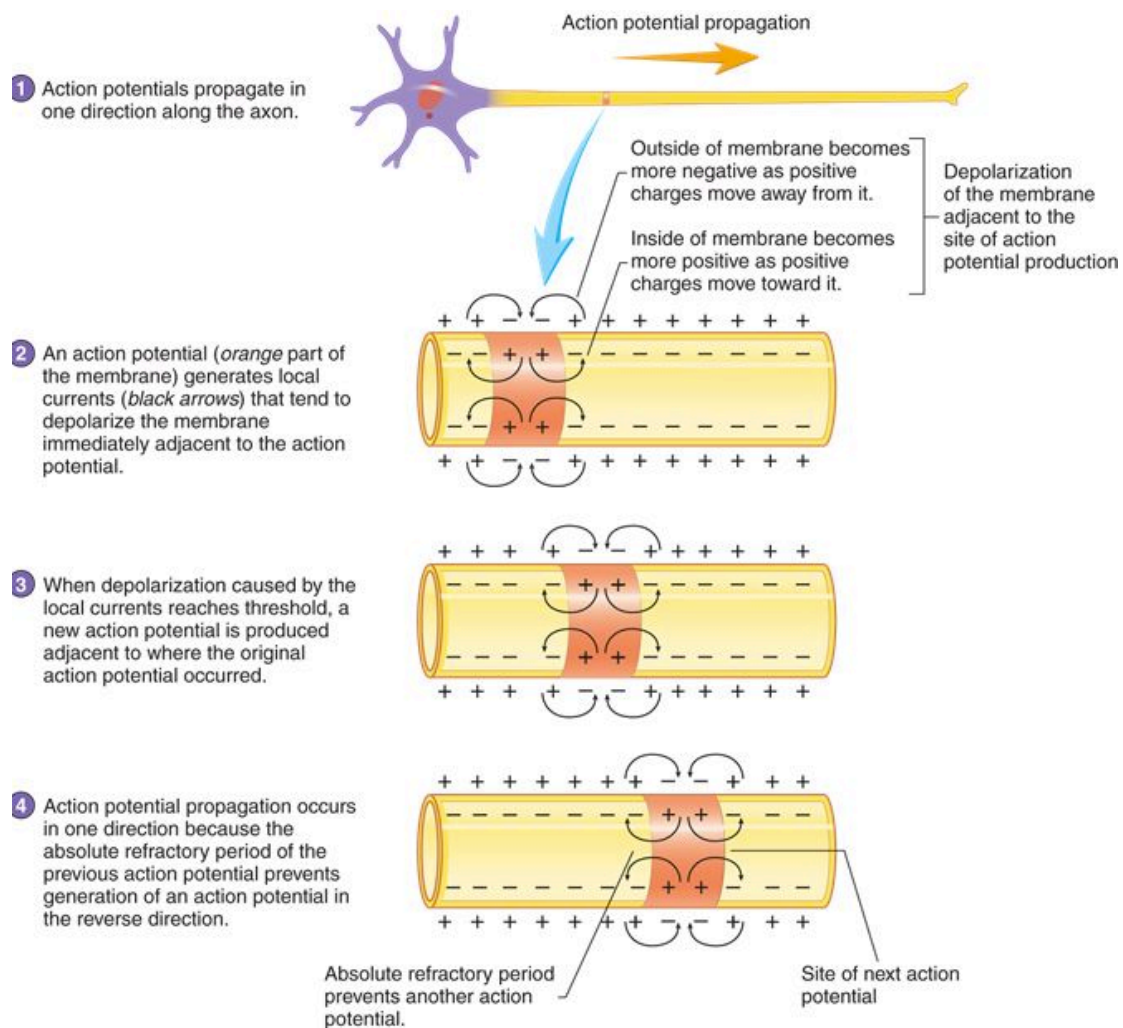
Funktionel modellering:

- Synaptisk divergens: signalet spredes fra et neuron til mange flere neuroner.
- Synaptisk konvergens: et neuron bliver påvirket synaptisk af mange andre neuroner, f.eks. både af sanseimpulser gennem pseudounipolære ganglieceller og fra neuroner i CNS, hvilket er med til at modulere neuronets aktivitet, dvs. det både kan have en stimulerende eller hæmmende effekt.
- Summation: Nogle gange skal der flere synapser til for at danne et aktionspotentiale.
- Præsynaptisk modulation: er medieret af axoaxoniske synapser. Det præsynaptisk nerveterminal kan ofte hæmme frisætning af neurotransmitteren fra den postsynaptisk nerveterminal. Det er en måde at kontrollere aktiviteten i kun den nerveterminalen uden at påvirke de andre nerveterminaler til samme axon.

AKTIONSPOTENTIALE

Neuronets reaktion på stimuli som et aktionspotentiale foregår efter alt-eller-intet princippet. Det første stykke af axon fra cellelegemet til evt. en myelinskede begynder betegnes initialsegmentet. Både perikaryon og dendritterne har en elektrisk exciterbar membran, men udløsningen af aktionspotentialet sker som regel i initialsegmentet, da det har en lavere tærskel for elektrisk excitabilitet.

Membranpotentialer er i hvile omkring -70 mV. Ved aktionspotentialet åbnes de spændingsstyrede Na-kanaler i initialsegmentet, hvor disse kanaler findes i høj koncentration. Na strømmer ind pga. koncentrationsgradient og spændingskraft. Ved depolariseringen til $+55$ mV stopper indstrømningen af Na, hvilket er ligevægtpotentialet for Na. Efter ca. 1 ms inaktiveres Na-kanalerne. Der sker udstrømningen af K-ioner, dvs. repolariseringen, hvor membranpotentialer vender tilbage til normalværdien. Det sidste sker pga. koncentrations- og spændingsforskelle. De spændingsstyrede K-kanaler åbnes under depolariseringen, dog lidt senere i forhold til Na-kanaler og lukker sig flere ms efter Na-kanaler har lukket sig. Hele processen varer ca. 1-2 ms. Tilbagereguleringen af ionerne sker via en aktiv proces imellem hvert aktionspotentiale af Na-K-pumpen.



Den videre udbredning af aktionspotentialer i axonet fremkaldes af, at nogle af de indstrømmende Na-ioner diffunderer distalt ned af axonet lige under axolemma, idet koncentrationen af Na-ioner er mindre der. Det vil sige, at der forløber en strøm af positive ladninger inde i axonet et lille stykke længere udad. Der dannes således en lokal strømkreds, der bevirker, at der et lille stykke ned af axonet er blevet mere positivt på indersiden i forhold til ydersiden af axolemma end tidligere og det medfører en ny depolarisering. Denne depolarisering udløser nu åbning af nye spændingsstyrede Na- og K-kanaler og der re-initieres et nyt aktionspotential et stykke længere henne ad axonet. Processen gentager sig og aktionspotentialer udbredes helt ud til nerveterminalerne, hvor aktionspotentialer bevirker calcium-influks-medieret frisætning af neurotransmittere.

Efter aktionspotentialer opstår der en refraktær periode, hvor der ikke er muligt at udløse et aktionspotential. Den deles i 2 faser:

- Den absolut refraktærfase, uanset hvor meget stimuli, kan der ikke udløses et aktionspotential.
- Den relative refraktærfase, efter nogen tid er det muligt ved en stærkere depolarisering at udløse et aktionspotential.

DEN KEMISKE SUBSTANS, NEUROTRANSMITTEREN OG SYNAPSE

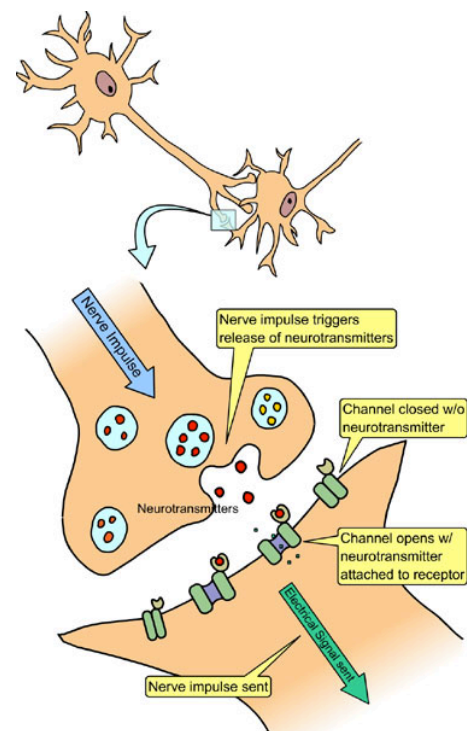
Når aktionspotentialer når ud til nerveterminalen, fremkalder depolariseringen åbning af spændingsstyrede Ca-kanaler, så calcium kan strømme ind. Det får de synaptiske vesikler til at smelte sammen med præsynaptiske cellemembranen og frisætte neurotransmitteren i den synaptiske kløft. Neurotransmitteren er en kemisk substans der overfører signalet til en postsynaptisk celle (neuron eller effektororgan), som herved exciteres eller inhiberes dvs. den ændrer membranpotentialer fra hvilepotentialer. Frisættelsen af neurotransmitter i den synaptiske kløft kaldes for exocytose. Området hvor vesikler sætter sig fast, er karakteriseret ved, at komponenter af cytoskelettet binder vesiklerne til Ca-kanaler i membranen. Hermed sikres den maksimale koncentration af calcium rundt om vesiklerne, der er klar til tømning. Området kaldes for den præsynaptiske aktive zone. Det tager ca. 0,1-0,2 ms fra calciumioner strømmer ind, til exocytosen sker.

For at et stof skal kunne betegnes som en neurotransmitter, må det:

- Dannes selv i nervecellen
- Lagres i nerveterminaler
- Der findes receptorer for transmitteren
- Frisættes ved depolarisering
- Der findes mekanismer som inaktiverer transmitteren

Der er identificeret en række neurotransmittere:

- Acetylcholin – findes i motoriske neuroner, rygmarven og hjernestammen som innervierer skeletmuskulaturen. Dens virkninger i CNS er også knyttet til opmærksomhed, læring og hukommelse.
- GABA (Gamma-amino-butansyre) – findes overalt i CNS og er den mest udbredte inhibitoriske transmitter, som åbner Cl-kanaler som fører til en kortvarig hyperpolarisering eller kortslutning af eksitatoriske synaptiske påvirkninger. Findes i interneuronerne. Den spiller en vigtig rolle i CNS udvikling. Den er den første eksitatoriske neurotransmitter i tidlig udvikling af neuronale netværk, før glutamat overtager funktionen som den eksitatoriske transmitter.
- Glutamat – har en eksitatorisk virkning, som findes i de største sensoriske og motoriske baner i CNS.
- Aspartat – Samlokaliseret med glutamat i vesikler og frisættes ved exocytose. Aspartat antages for at spille en underordnet rolle i forhold til glutamat, når det gælder eksitatorisk signalformidling i CNS.
- Glysin – virker inhibitorisk og findes i interneuronerne. Den hæmmer motoriske celler i rygmarven, i enkelte neurongrupper i hjernestammen og lillehjernen.
- De biogene aminer:
 - Noradrenalin – har langsom modulerende virkning. Findes i cortex cerebri og medulla spinalis.
 - Dopamin – virker langsom, findes i basalganglierne og cortex cerebri.



- Serotonin – virker både inhibitorisk og eksitatorisk og findes i refleksbanerne i hjernestammen. Spiller en vigtig rolle i tidlig udvikling af netværk, som behandler emotioner og stress. Den indvirker på opfattelse af smerter. Høj serotoninforekomst giver øget smertefornemmelse. Den har også betydning for søvnen – lav serotonin kan give søvnløshed.

Der er også identificeret andre signalstoffer, neuroaktive peptider, kæder af 5-30 aminosyrer. De bliver syntetiseret som store polypeptider i cellelegemet og spaltes på vej gennem axonet til terminalerne. Substans P er en neuropeptid, som findes i spinalgangliaceller og spiller en rolle ved smerteformidling. Opioider findes i rygmarven og er antagonist til substans P dvs. de undertrykker følelsen af smerter.

Neurotransmitteren diffunderer over den synaptiske spalte til den postsynaptiske celle, hvor den binder sig til specifikke receptorer. Der findes 2 slags receptorer:

1. Receptorer som er koblet til ionkanaler, kaldes for ionotrope receptorer. De består af 5 subunits, som omslutter en central vandfyldt pore eller kanal. De er enten eksitatoriske, hvis de er koblet til Na- eller Ca-kanaler eller de er inhibitoriske, hvis de er koblet til Cl-kanaler. Bindingen af transmitter medfører en konformationsændring. Disse receptorer fremkalder hurtige og kortvarige depolarisering eller hyperpolarisering. De er egnede til at formidle præcise informationer.
2. Receptorer der virker indirekte på ionkanaler via G-proteiner og intercellulære signalveje, kaldes for metabotrope receptorer. De består af et stort protein, som slynger sig flere gange gennem membranen, med hydrofile dele på ydersiden og indersiden. Disse receptorer fremkalder en svagere og langsommere respons.

Bindingen af transmitteren til receptorer i den postsynaptiske membran medfører et elektrisk potential over cellemembranen. Effekten kaldes excitatorisk postsynaptisk potential, EPSP, hvis membranpotentialet nedsættes (depolarisering eller øget sandsynlighed for at danne aktionspotential) og inhibitorisk postsynaptisk potential, IPSP, hvis membranpotentialet øges (hyperpolarisering eller øget sandsynlighed for at hæmme aktionspotential).

En vigtig forudsætning for en normal synaptisk signaloverføring er at neurotransmitteren bliver fjernet igen fra synapsespalten efter virkningen. Hermed opretholdes en lav baggrundsaktivering af receptorer og giver mulighed for fornyet aktivering senere. Mekanismen for fjernelse varierer for forskellige neurotransmittere. I kolinerge synapser hvor transmitteren er acetylcholin, findes enzymet acetylcholinesterase lokaliseret imellem receptormolekylerne i den postsynaptiske membran, som spalter acetylcholin til acetat og kolin. Kolin bliver optaget igen i terminalen. I adrenerge synapser, hvor transmitteren er en katekolamin (noradrenalin eller dopamin), nedbrydes enten af MAO/COMT eller genoptages i gliaceller eller neuroner vha. en energikrævende transport. Det gælder ligeledes serotonin, glutamat og GABA.

STØTTECELLER

Glia omfatter celler, der findes imellem neuronerne i CNS. Antallet af gliaceller i hjernen er højere end neuroner og leder ikke til forskel fra neuroner nerveimpulser. De har flere vigtige opgaver. De er nødvendige for at opretholde homeostase, reparationsprocesser efter skader samt fagocytose. De er også ansvarlige for at isolere axonet, så ledningshastigheden øges.

Der skelnes mellem:

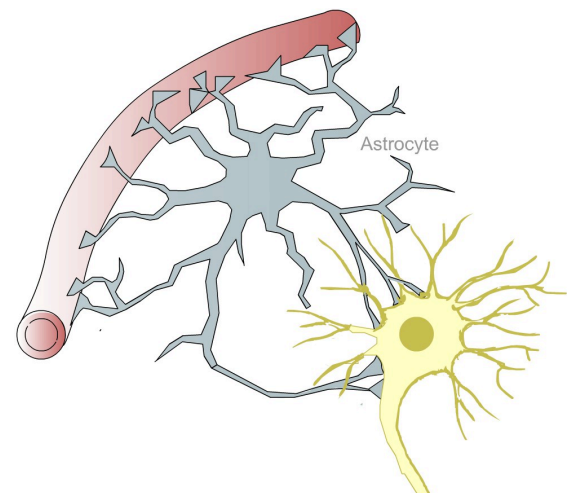
- Astrocytter
- Oligodendrocytter
- Mikroglia

Udover de 3 ovenstående findes der andre typer af gliaceller i de enkelte dele af nervesystemet. Overfladen af hjernens hulrum (ventrikelsystemet) er beklædt med et lag af cylindriske ependymceller. I retina findes såkaldte Mullerske celler, mens Bergman-glia findes i lillehjernen. I hypofysens baglap er pituicytter en specialiseret form for glia. Olfaktoriske skedeceller er særform af schwannske celler som findes i lugtenerven.

Astrocytter er stjerneformede celler med mange lange cytoplasmatiske udløbere. Astrocytternes kerne er lysere end de andre støtteceller og udløberne indeholder intermediær filamenter bestående af glial fibrillary acidic protein (GFAP) samt glykogenkorn.

Der findes 2 hovedtyper:

- Fibrøse astrocytter, der findes overvejende i hvid substans, har færre, lange og mindre forgrenede udløbere og har langt det størst indhold af gliale filamenter.
- Protoplasmatiske astrocytter, der findes i grå substans og har udløbere af høj varierende form.



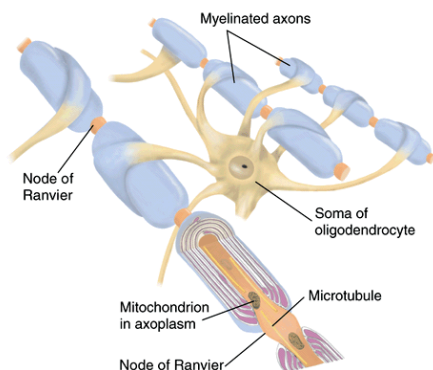
Astrocytter bidrager med strukturel isolation af neuroner og deres synapser. Begge typer danner kontakter til blodkar som perivaskulære fodprocesser, der er forbundet sammen med nexus'er og desmosomer, og udgør den såkaldte membrana limitans og er med til at adskille neuronerne i CNS fra pia mater og karrene. Den er vigtig for blodhjernebarrieren, da her forhindres uønskede stoffer i at passere fra blodet til nervevævet.

De udøver regulerende indflydelse på den neuronale aktivitet ved at fjerne glutamat. Glutamat omdannes efter optagelse i astrocytter til glutamin af enzymet glutamin syntetase, og derved mister den sin neurotransmitterfunktion. Glutamin kan gå tilbage til ekstracellulærvæsken og genoptages i neuroner for nydannelse af glutamat. Efter glutamat er aminosyren taurin, der findes i højst koncentration i nervevævet og bidrager til vævets osmolaritet. Den har ingen neurotransmitterfunktion, men transport ind og ud af astrocytten

kan være en mekanisme for regulering af neurocellernes volumen.

De er med at regulere det ekstracellulære ionmiljø. Når det gælder kontrol af ioner, er koncentration af K-ioner vigtigt. Ved høj aktivitet er der høj koncentration af kalium i ekstracellulærvæsken, som astrocytter kan optage og fordele videre til blodet og cerebrospinalvæsken. Den er også med til at kontrollere pH i hjernens ekstracellulærvæske ved at tage op CO₂.

I forbindelse med trauma øges deres funktion, hvor de optager udsivende ioner og transmittersubstanser fra de beskadigede neuroner. Det kan medføre opsvulmning af astrocytter (da de har aquaporiner), og medfører øget volumen af hjernen, hjerneødem. De er også med til at danne arvæv under helingen og bliver meget fiberrige.



Oligodendrocytter har færre udløbere. Deres kerne er mørkere og cytoplasmaet indeholder ikke intermediære filamenter og glykogenkorn. Der findes 2 hovedtyper af dem:

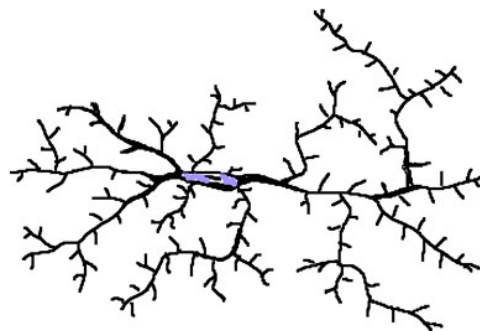
- Satellittære oligodendrocytter forekommer i grå substans tæt ved nervecellelegemet hvor deres funktion er uafklaret.
- Interfascikulære oligodendrocytter findes overvejende i hvid substans i rækker mellem nervefibre.

Oligodendrocytter danner myelin i CNS og de er således homologe med de schwannske celler i periferen. Myelinet reducerer strømtabet til væsvæsken under ledningen af nerveimpulsen. Dette bidrager til, at ledningshastigheden i myeliniseret axoner er meget højere end i den tynde umyeliniserede axoner.

Forskellen mellem oligodendroglia og schwannske celler er at oligodendroglia sender flere udløbere ud til forskellige axoner, og danner myelinskeder til dem, hvorimod en schwannske celle danner myelinskeden til kun et axonsegment. En anden forskel er, at i PNS kan et axon vokse ud igen (regenerere) hvis der findes levedygtige schwannske celler på skadestedet. I CNS sker denne udvækst ikke, da oligodendroglia producerer væksthæmmende stoffer.

Mikroglia er små støtteceller med en lille mørk kerne og spinkle udløbere med små spinae. De forekommer overalt i CNS og størst i grå substans. De er de eneste af mesodermal oprindelse, mens de andre er af neuroektodermal.

Som de første celler ved beskadigelse af nervevævet kan mikroglia omdannes til reaktiv mikroglia, der er aktiv fagocyterende og fungerer som professionelle antigen-præsenterende celler overfor T-lymfocytter ved deres recirkulation mellem neurovæv og blodbanen, og afgiver signalstoffer. Astrocytter og oligodendrocytter reagerer derefter, formentlig induceret af signalstoffer fra mikroglia. Dyreforsøget viser, at monocytter vandrer ind i CNS i fosterlivet. Efter indvandringen gennemgår monocytter forandringer med bl.a. udvikling af udløbere, så de bliver til mikroglia.



NERVESKEDE

Kemisk udgøres myelin af ca. 75% lipid og 25% protein med kolesterol og glykolipider. Lipidindholdet giver myelin et hvidt udseende i frisk tilstand. Dette er grundlag for forskellen i makroskopisk udseende af hvid og grå substans i CNS. Alle perifere nerver omgives af en skede, dannet af schwannske celler. Schwannske cellens plasmalemma ligger sig tæt op af mange axoner og danner en omslagsfold, hvor den slår sig fra axons overflade ud til schwannske cellens overflade. Denne dobbeltfold betegnes mesaxon. Mesaxon forlænges og der dannes en spiralsnoet plasmalemma omkring axonet, som presses sammen til lameller, idet schwannske cytoplasmaet fortrænges fra rummet imellem lamellerne.

Der er ca. 20 nm bred spalte mellem axolemma og myelinskede. Med 1-2 mm mellemrum findes der indsnævringer af myelinskeden, betegnet Ranviersk indsnævring, så axolemma ligger frit i en afstand på 1-2 μm . En anden betegnelse er en Ranviersk knude eller nodus, idet axonet ofte her buler ud, og strækningen mellem 2 indsnævringer betegnes et internodalsegment med en længde på ca. 0,5 mm, lidt længere i PNS.

I disse indsnævringer re-initieres aktionspotentialet da her findes de spændingsstyrede Na-kanaler. Dette medfører springvise og hurtigere udbredning af impulsen fra indsnævringen til den næste. Det kaldes saltatoriske nerveledning og giver en ledningshastighed op til 120 m/s i de tykkeste myelinerede fibre. Umyeliniserede nervetråde leder impulserne langsommere med en hastighed under 1 m/s.

I CNS dannes myelinskeden af oligodendrocytter. Her forsyner oligodendrocytten mere end et axon med myelinsegmenter. Oligodendrocytten sender spinkle udløbere til hver af de axoner, hvor den på samme måde som schwannske celle danner en spiralsnoet plasmalemma omkring axon.

Axoner med kun en schwannske skede med cytoplasmaet betegnes umyelinerede. Perifere umyelinerede nervefibre består som regel af axoner fra små neuroner. En schwannske celle ligger rundt om flere axoner og beskytter sandsynligvis axonerne mod skadelige stoffer i vævsvæsken. Dette behøves ikke i CNS, da astroglia og blodhjernebarrieren effektivt kontrollerer det interne miljø.

Nerverne ude i periferen er udsat for store mekaniske påvirkninger der hvor de ofte ligger overfladisk og udsættes for stræk ved bevægelser af kroppen, specielt arme og ben. Axoner tåler kun lidt stræk, før deres ledningsevne forstyrres. For at hindre dette indeholder nerverne et fletværk af store mængder af bindevævsstråde, kollagenfibriller, som er specielt egnet til at tåle strækpåvirkninger. Dette forklarer hvorfor nerverne bliver så meget tykkere idet de træder ud fra skallen eller hvirvelkanalen. Bindevævet i en perifer nerve er ordnet i forskellige lag. Yderst er det et kraftig lag af fast bindevæv som kaldes epineuriet. Indenfor ligger axonerne ordnet i faskler, bundter, omgivet af et specielt bindevæv, perineuriet. Inden i faskler findes mere sparsomt med bindevæv, endoneuriet, som indeholder kapillærer. Perineuriet hindrer dermed mange stoffer i blodbanen i at virke på axonet. Det er en blodnervebarriere, som den der findes i hjerneblodbarrieren.

EMBRYOLOGI



I 3. uge omkring 18 dage begynder man at se de første tegn på nervesystemet. Den underliggende notochord inducerer en fortykkelse i kranial-del af ektodermen, neuralpladen, hvor ektodermceller danner et højt enlaget cylindrisk neuralepithel bestående af neuroepithelceller. Dannelse af neuralpladen er induceret af signalstoffer udskilt fra mesodermen. Neuralpladen vokser sig kaudalt og i slutningen af 3. uge sker der

indfoldningen af hele plade, hvor den i 4. uge omdannes til et langt lukket rør, neuralrør. Den laterale del af neuralpladen dannes 2 strenge, neurallisten, lokaliseret på hver side af neuralrøret.

Fra neuralrøret formes hjernen og rygmarven, 2 komponenter af CNS. Neurallisten giver ophav til komponenter til PNS dvs. nerver, ganglier og plexer. Neurallistens celler bliver også til schwannske celler og satellitceller.

I den 4. uge dannes der kranielt 3 blæreformede udvidelser. Den kranielle blære kaldes for prosencephalon, den midterste mesencephalon og den kaudale for rhombencephalon. Samtidig dannes der 2 flexurer: flexura cervicalis mellem medulla spinalis og rhombencephalon og flexura cephalica mellem rhombencephalon og mesencephalon. Der dannes ligeledes en lodret fure, flexura pontine, der deler rhombencephalon i 2 dele. Prosencephalon bliver til diencephalon og telencephalon, der består af 2 laterale udposninger, hemisfærer med hjernebarken, det limbiske system, det olfaktoriske system og basalganglierne (i 5. uge). På undersiden af telencephalon dannes lugtelappen, bulbus olfactorius. Fra den kaudale del af prosencephalon, som senere bliver til diencephalon, dannes der øjebælre, der udvikles videre til nethinden og nervus opticus. Diencephalon's sidevægge bliver fortykket og bliver til thalamus og gulvpartiet til hypothalamus og neurohypofysen. Rhombencephalon, der består af metencephalon og myelencephalon, bliver til hhv. pons og cerebellum, og medulla oblongata. Hemisfærernes cavitet danner de laterale ventrikler, i diencephalons er der den 3. ventrikel og rhombencephalons cavitet den 4. ventrikel. Forbindelsen mellem de laterale og den 3. ventrikel kaldes foramen interventriculares (Monroi), mens forbindelsen mellem den 3. og 4. ventrikel kaldes aqueductus cerebri (Sylvii).

Neuralrøret er beklædt med en basalmembran, der består af membrana limitans externa, der ligger under pia mater, og membrana limitans interna, der ligger ind mod hulrummet. Mellem de 2 membrana vokser neuroepithellaget sig videre til et pseudolagdelt epithel. Man skelner mellem en ventrikulærzone, der vender ind mod hulrummet, hvor neuroepithelceller deler sig mitotisk, neuroblaster, som så vandrer over i en kappezone, der bliver til den grå substans, og yderst en marginalzone, der indeholder axoner fra neuroceller fra kappelaget. Som følge af myelinisering af nervetrådene får det en lys farve og danner rygmarvens hvide substans. I rygmarven holder denne lagdeling sig uændret, hvorimod i hjernestammen, hjernen og lillehjernen vandrer cellerne fra kappezonen ind i marginalzonen og begynder at danne hjernebarken over den, cerebri cortex. Selve

differentieringen af cortex cerebri i laminae afsluttes ikke før ved fødslen.

I 4. uge begynder kappezonen i neuralrøret at danne 2 fortykkelser på hver side, en ventral basalpladerne, som indeholder neuroner med motoriske funktioner, og en dorsal alarpladerne, der indeholder neuroner med sensoriske funktioner. De er adskilt af sulcus limitans. Cerebellum udvikles fra kanterne af alarpladen. Kranienervekernerne udvikles fra basal- og alarpladen.

Neuroepithelceller danner også støtteglia, astrocytter, oligodendrocytter, og mikroglia, der migrerer til kappelaget og marginallaget. De dannes efter produktion af neuroblaster er afsluttet. Ependymceller er de sidste celler, der beklæder hulrummene i hjernen. Hulrummene fyldes med cerebrospinalvæsken, produceret af plexus choroideus.

Myeliniseringen af axoner begynder i 4. fostermåned og afsluttes ved 2-3-årsalderen. For det enkelte neuron begynder myeliniseringen ved cellelegemet og breder sig distalt. Først myeliniseres de baner, som varetager de mest enkle grundlæggende funktioner f.eks. synkerefleksen, tømningsrefleksen for blæren og tarmen mm. I rygmarven starter myeliniseringen i cervikalregionen og breder sig kaudalt. De motoriske fibre myeliniseres før de sensoriske. Myeliniseringen af opstigende sensoriske baner begynder i 6. måned, mens nedstigende forbindelser fra hjernestammen (vestibulospinale og retikulospinale baner) følger kort efter. Myeliniseringen af pyramidebanerne, som har ansvaret for vores præcise bevægelser, fuldføres ved 2-årsalderen. Hjernenenerverne myeliniseres ved 6. fostermåned, undtagen nervus opticus, hvilken er centralnervøs bane.

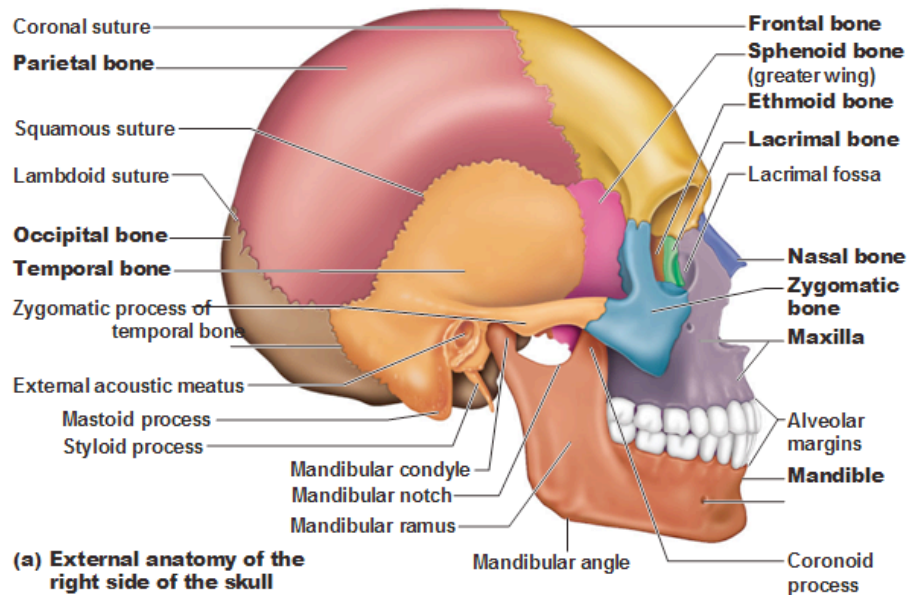
Spina bifida

Ved mangelfuld lukning af neuralrøret kan der opstå spina bifida. Der skelnes mellem 2 typer:

- Spina bifida occulta: en defekt i hvirvelbuer der er dækket med huden og ikke involverer nervevæv. Stedet er ofte markeret ved et hårbevokset område på huden.
 - Spina bifida cystica: her er nervevævet protruderet gennem åbningen og danner en cystelignende udposning og kan medføre neurologiske udfaldssymptomer (meningomyelocele).
-

KRANIET

Skull – Lateral aspect



Kraniet er den øvre bredeste hjernekasse, som via nakkeknuder på undersiden, condyli occipitalis, hviler på den øverste halshvirvel, atlas.

8 knogler indgår i den udvoksede hjernekasse, nemlig 4 uparrede:

- Pandebenet, os frontale
- Sibenet, os ethmoidale
- Kilebenet, os sphenoidale
- Nakkebenet, os occipitale

Og 2 parrede:

- Issebenene, os parietale
- Tindingebenene, os temporale

Kraniekalottens, theca cranii, er bindevævspræformede og dens overflade er præget af suturer. I midtlinien mellem issebenene findes sutura sagittalis. Fortil dannes sutura coronalis af issebenene og pandebenet. Mødestedet betegnes bregma. Bagtil forløber der skråt sutura lambdoidea på hver side mellem issebenene og nakkebenet. Fortil på sidefladen ud for spidsen af den store kilebensvinge, mødes 4 knogler i en H-formet sutur, benævnt pterion.

Kraniebunden, basis cranii externa et interna, er bruskpræformede.

Man deler kraniet i 3 afsnits, fossa cranii anterior, media et posterior, der huser hhv. frontallappen, temporallappen af cerebrum, og cerebelli og hjernestammen. Fossae er separeret fra hinanden af knoglestrukturer og duramembranen.

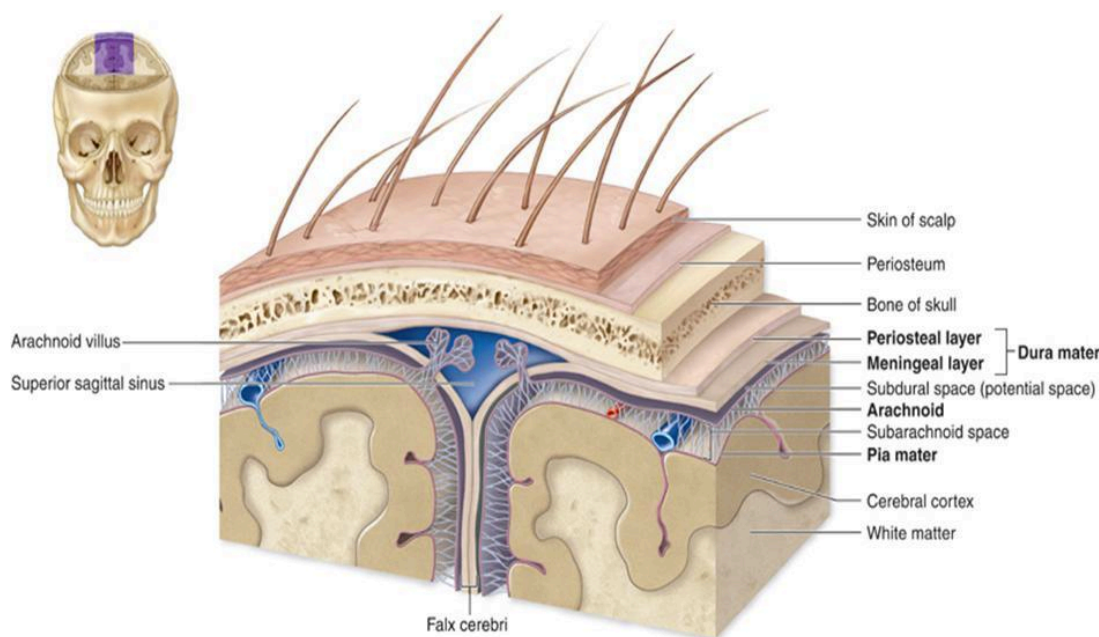
Selve væggen af hjernebarken er opbygget som en flad knogle med 2 blade af substantia compacta, lamina externa og lamina interna, og et mellemliggende lag af substantia spongiosa, diploë. Diploëet indeholder rød knoglemarv. I theca cranii findes vv. diploicae. Knoglemarven løber i vv. emissariae, der står i forbindelse med vv. diploicae, hvilke igen står i forbindelse med sinus sagittalis superior. Disse vener har ikke nogen klapper og derfor er der frie gennemstrømning. Det er meget sårbart for infektioner. Infektionen kan sprede sig fra superficielle vener til venesinusser.

HJERNEHINDER

Hjernen og rygmarven er omgivet af hjernehinder, meninges. De består af 3 lag:

- Inderst pia mater
- Udenfor arachnoidea mater
- Den tykke og sene dura mater

Arachnoidea og pia mater betegnes tilsammen for de bløde hjernehinder. Dura mater betegnes den hårde hjernehinde.



Dura mater, senehinden, omgiver hele hjernen og ved foramen magnum fortsætter som dura mater spinalis. Den består af fibrøst bindevæv og indeholder et stort antal sensoriske nerver og blodkar. Der er 2 lag i dura mater: det ydre endostalt lag, der vender mod theca cranii og fungerer som periost, og det indre meningealt lag, der beklæder hjernen og fungerer som et beskyttende hylster for hjernen. Imellem lagene af dura mater findes den venøse sinus. Den omslutter hjernen med et højre og venstre blad, som samles i spalten mellem den højre og venstre hemisfære, falx cerebri. Fortil er den hæftes til crista galli og crista frontalis, mens det bagtil når til protuberantia occipitalis interna og ind i spalten mellem storhjernen og lillehjernen som tentorium cerebelli. Den er hæftet til siderne langs furerne for sinus transversi, som løber lateralt for ved pars petrosa ossis temporalis som sinus sigmoideus at løbe ned mod foramen jugulare og ende i v. jugularis interna. Sinus sagittalis inferior er den nedre del af den frie kant af falx cerebri, der løber bagud for at ende i sinus rectus. Den løber bagud mod tentoriums tilhæftning til kraniet og mødes med sinus sagittalis superior med sinus rectus og sinus transversus i et samlingssted, confluens sinuum.

I modsætning til dura mater er dura mater spinalis adskilt fra hvirvlerne af et epiduralt rum, spatium epidurale,

som indeholder blodkar, hovedsageligt vener samt en del fedt. Karrene tjener først og fremmest til ernæring af knoglevævet, mens selve dura ikke har noget større behov for blodforsyning. Dura mater spinalis strækker sig længere end rygmarven og indeholder cauda equina. Den ender i højde med sakralhvirvel 2 (S2). Dura på basis cranii indeholder nerver fra n. trigeminus og n. vagus og er følsom for smerter. Selve hjernen er ufølsom for smerter.

Arachnoidea mater, spindelvævshinde, består af et tyndt bindevævslag, som på den indre og ydre overflade er beklædt med et enkelt lag af afladede celler. Den er adskilt fra dura ved et snævert rum, spatium subdurale, indeholdende lidt væske. Her løber en række brovener, venae encephali, som drænerer hjernevævet, og ender i de nærmeste venøse sinus. Ved traumer mod hovedet kan venerne bryde og fylde det subdurale rum med blodet, subduralblødning. Arachnoidea har talrige trabekler ind til pia mater, der giver det spinalvævsagtige udseende. Rummet mellem arachnoidea og pia mater betegnes subaraknoidalrummet, spatium subarachnoideum, der indeholder cerebrospinalvæske, liquor cerebrospinalis. Denne væske afviger fra plasma bl.a. ved at være proteinfattig og fuldstændig vandklar. Subaraknoidalrummet danner cisterner der hvor det er bredest. Den største af cisternerne, cisterna magna, ligger mellem undersiden af cerebellum og bagsiden af medulla oblongata, hvor man ved suboccipitalpunktur kan udtage cerebrospinalvæske. Der løber arterier og vener i subaraknoidalrummet. En bristning vil her hurtigt føre til, at cerebrospinalvæsken bliver blodig over hele hjernen og rygmarven, subaraknoidalblødning. Cerebrospinalvæsken bliver dræneret gennem invaginationer dannet af arachnoidea, granulationes arachnoideae, som strækker sig ind i sinus sagittalis superior.

Pia mater, årehinden, er et tyndt bindevævslag, der ud mod subaraknoidalrummet er beklædt med et lag af fladeceller og er i kontinuerligt med det arachnoidale epithel. Den beklæder hjernen og rygmarven som en karførende hinde, der sender duplikaturer ind i alle sulci mellem hjernevindingerne og forsyner de ydre dele f.eks. hjernebarken med blod. De dybere dele af hjernen forsynes af kar som går ind på undersiden af hjernen.

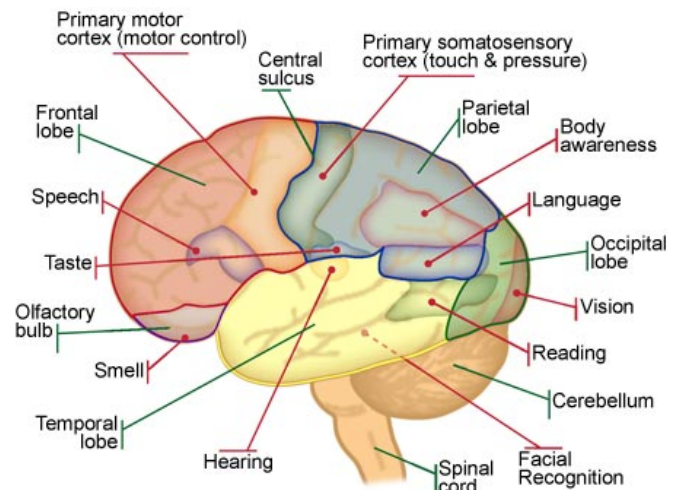
TELENCEPHALON

Telencephalon ligger i kraniekassens supratentorielle rum og er nedadtil sammenhængende med mellemhjernen, diencephalon, hvor de tilsammen danner storhjernen, cerebrum. Den er sæde for højere kognitive funktioner såsom tankevirksomhed, bevidst erkendelse og viderebearbejdning af sensoriske sanseindtryk samt udspringsstedet for viljestyret adfærd og motorik.

Telencephalon består af 2 symmetriske hemisfærer, adskilt af en spalte, fissura longitudinalis cerebri, der skyder sig ned mellem dem. Den hviler i fossa cranii anterior og media, og bagtil på tentorium cerebelli, der skyder sig ind i spalten, fissura transversa cerebelli, mellem cerebrum og cerebellum. En 3. fissura er fissura cerebri lateralis der går skråt og bagtil. I bunden af spalten ses insula.

Hemisfærene er tværforbundet gennem hjernebjælken, corpus callosum. Den indeholder ca. 200 millioner axoner og forbinder de somatosensoriske regioner på højre og venstre side med hinanden via kommissuralforbindelser. Forbindelser på samme side kaldes for associationsforbindelser.

Telencephalon udgøres af 5 mm tykt lag af den grå substans, benævnes hjernebarken, cortex cerebri, og den hvide substans med talrige fiberforbindelser. Overfladen er stærkt foldede og danner bugtede hjernevindinger, gyri cerebri, adskilt af snævre furer, sulci cerebri. Der er en større fure, der er nævneværdig kaldet centralfuren, sulcus centralis. Den er en vertikalt forløbende fure, der adskiller de motoriske barkområder fra de somatosensoriske barkområder.



Den enkelte hemisfære inddeles i 5 hjernelapper, lobi cerebri:

- Lobus frontalis – pandelappen, der afgrænses bagtil af sulcus centralis, og nedadtil af sulcus lateralis cerebri. Hjernevindingen foran sulcus centralis, gyrus precentralis, svarer til det motoriske barkområde, som har betydning for viljestyrede bevægelser og giver ophav til tractus pyramidalis. Den præmotoriske cortex og den supplementær motoriske cortex ligger umiddelbart foran gyrus precentralis og har betydning for planlægning af bevægelser og har også ansvar for dannelse af personlighed, sociale og emotionelle adfærd samt motivation og adfærd. Brocas område findes hos de fleste på venstre side lige foran gyrus precentralis' nedre del og er ansvarligt for at vi kan udtrykke os. På undersiden af pandelappen ud for lamina cribrosa ossis ethmoidalis findes der et aflangt legeme af grå substans, bulbus olfactorius, som modtager fila radicularia fra næsehulen. De danner synapser med mitralcellerne, som sender axoner bagud i en bane, tractus olfactorius. Fibrene bliver modtaget af lugtebarken, der findes på medialsiden af hemisfæren fortil i

uncus i tindingelappen og lidt over på gyrus parahippocampalis.

Skader i præfrontallappen kan give symptomer som emotionelle forandringer og personlighedsændringen. Det er almindeligt med apati, ligegyldighed og at være ukritiske. Ved Broca's område kan det give problemer med at udtrykke sig, selvom forståelsen er der 100%. Man kalder det ekspressiv afasi.

- Lobus parietalis – isselappen, der afgræses fortil af sulcus centralis, bagtil af sulcus parietooccipitalis og en linje trukket mellem denne og incisura preoccipitalis samt nedadtil af sulcus lateralis cerebri og denne arbitrære forlængelse bagud. Isselappen er fortil sæde for gyrus postcentralis (primær somatosensorisk cortex) hvor de sensoriske sanseindtryk via nucleus ventralis posterolateralis (VPL) og nucleus ventralis posteromedialis (VPM) i thalamus ender, mens området bag gyrus postcentralis udgøres af hjernebark, som er ansvarlig for højere sensoriske funktioner såsom integration af de indkommende sanseindtryk og kobling af dem til andre sansemodaliteter. Den posteriore del af parietallappen der ligger lige bag det primære somatosensoriske område, har en række integrative funktioner og kaldes associationsområdet. Man kan dele den i superior og inferior del. Den inferior del indeholder Wernickes område, som spiller en rolle i forståelsen af sprog. Det ligger hos de fleste på venstre side ved overgangen mellem temporal-, occipital- og parietallappen, som benævnes gyrus supramarginalis og gyrus angularis. I den superior del af parietallappen modtages der somatosensoriske og visuelle signaler som integreres og samordnes, og sendes videre til motoriske cortex og præmotoriske cortex, der virker ind på bevægelserne. Hvis der opstår læsion i den højre side af parietallappen, medfører det neglekt dvs. manglende opmærksomhed på stimuli på den modsatte side af kroppen og synsfelt. Man kan også have apraksi, dvs. man ikke længere kan anvende de velkendte genstande, som man tidligere kunne. Læsion i Wernickes område vil medføre store problemer med forståelsen og man har svært ved at gentage ordene som man hører. Man kalder også sensorisk (impressiv) afasi. Spontantale fejler ikke noget, men lydene sammen-sættes ofte til uforstående ord.
- Lobus temporalis – tindingelappen, der afgrænses opadtil af sulcus lateralis cerebri og bagtil af en linje trukket mellem incisura preoccipitalis og sulcus parietooccipitalis. Tindingelappen er sæde for auditorisk cortex, som ligger i den øvre tindingsvinding, gyrus temporalis superior, og modtager signaler fra cochlea i det indre øre. Den er også sæde for det limbiske system, hippocampus og amygdala. Ved dobbeltsidige ødelæggelse af temporallappen medfører det amnesi, fordi hippocampusformation og nærliggende områder i gyrus hippocampi er ødelagt. Emotionelle forstyrrelser optræder når amygdala bliver ramt.
- Lobus occipitalis – nakkelappen udgør hemifærrens bageste pol. Nakkelappen er tæt knyttet til synssansen, idet indkommende synsindtryk sendes til området omkring sulcus calcarinus og benævnes den primære synsbark, mens den resterende del af nakkelappens hjernebark, den accessoriske synsbark, foretager viderebearbejdning og integration af de indkommende synsimpulser.

- Insula regnes af mange for den 5. hjernelap, som ligger dækket af occipitallappen, parietallappen og temporallappen i dybden af sulcus lateralis cerebri. Man mener at den er associeret med højere bearbejdning af somatosensoriske og viscerosensoriske sanseindtryk da den modtager mange forbindelser fra de øvrige lapper.

Cortex cerebri inddeles i 6 cellelag og betegnes neocortex. Disse benævnes fra overfladen:

1. Lamina zonalis – svært cellefattigt. Indeholder apikaldendritter fra pyramideceller i dybere lag
2. Lamina granularis externa – består af ydre kornlag med små neuroner
3. Lamina pyramidalis externa – indeholder relativt mange mellemstore pyramideceller
4. Lamina granularis interna – svarende til lamina 2
5. Lamina pyramidalis interna – samme som lamina 3, men indeholder store pyramideceller
6. Lamina multiformis – lamina multiformis. Indeholder mange neuroner, der er lange

Lamina 2 og 4 er overvejende sensoriske dvs. afferente. Fibre, som bringer sanseinformation, ender særligt i lamina 4, og derfor er dette lag specielt udviklet i det sensoriske barkområde. Lamina 3 og 5 er overvejende motoriske, dvs. efferente. Især lamina 5 sender sine axoner til hjernestammen og rygmarven. Det er særligt udviklet i gyrus precentralis, mens lamina 3 sender axoner til association- og kommissuralforbindelser. Lamina 6 sender efferente axoner til thalamus som kortikothalamiske fibre.

Afferente fibre fra forskellige steder ender i forskellige laminae. Forbindelserne deles op i 4 grupper:

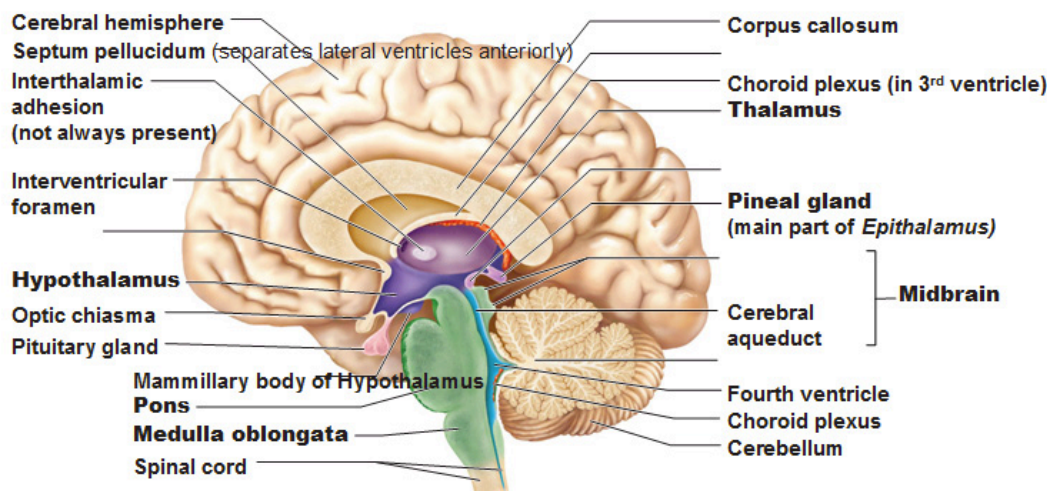
1. Præcis ordnede fibre fra thalamus (lamina 4)
2. Mindre præcis ordnede forbindelser fra de intralaminære thalamuskerner og subkortikale cellegrupper (rafekerner, locus coeruleus, nucleus basalis og dopaminerge cellegrupper i mesencephalon) (lamina 1)
3. Associationsforbindelser (lamina 2)
4. Kommissuralforbindelser (corpus callosum)

Efferente fibre er der af 2 hovedgrupper:

1. Subkortikale (thalamus, de forskellige kernegrupper i mesencephalon), forbindelser videre til cerebellum og medulla oblongata
2. Kortikokortikale forbindelser (associations- og kommissuralforbindelser = ordnet reciproke)

DIENCEPHALON

Til mellemhjernen, diencephalon, regnes thalamus og hypothalamus. Den er dybt begravet i storhjernen, kun en lille del bagtil og nedadtil er synligt. Den største del af diencephalon udgøres af thalamus, som ligger på hver side af den 3. ventrikel og lateralt er afgrænset af capsula interna.



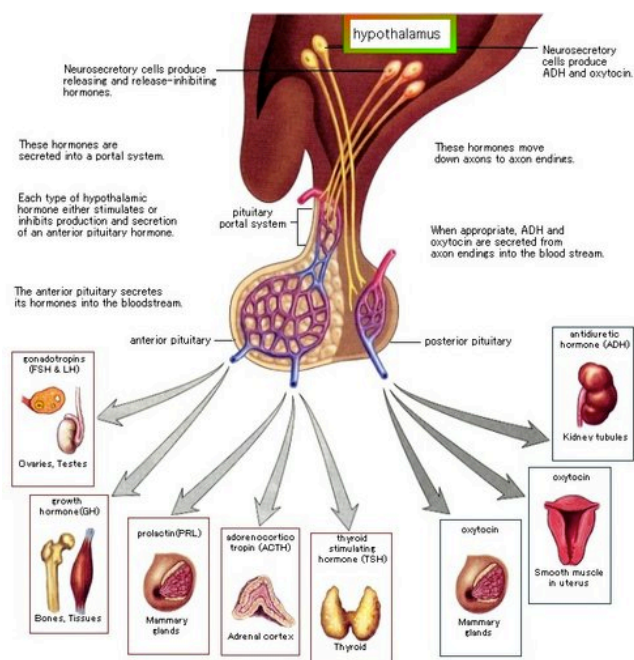
Thalamus er inddelt i 3 kernegrupper af et Y-form lamina medullaris interna:

- Anterior kernegruppe – nuclei anteriores thalami modtager via fasciculus mamillothalamicus information fra hypothalamus, som videresendes til gyrus cinguli.
- Medial kernegruppe – nuclei mediales thalami er tæt forbundet med den præfrontale cortex, som bl.a. er ansvarligt for personlighed, social adfærd og initiativ.
- Ventral kernegruppe – nuclei ventrales thalami består af flere kerner, som indgår i vigtige motoriske og sensoriske baner. Fortil ligger nucleus ventralis anterior og nuclei ventrales laterales (VA-VL), som bearbejder og videresender nerveimpulser fra lillehjernen og basalganglierne til den motoriske cortex. Bag ved VA-VL ligger nucleus ventralis posterolateralis (VPL), som modtager de ascenderende sensoriske baner (smerte- og temperatursanseindtryk via tractus spinothalamicus og tryk-, berøring- og proprioceptive sanseindtryk via bagstrengs-lemniscus medialis-systemet). VPL sender dernæst informationen videre til den primære somatosensoriske cortex (gyrus postcentralis), hvorved de registrerede sanseimpulser kan erkendes bevidst. Lige ved siden af ligger nucleus ventralis posteromedialis (VPM), som modtager ansigtets sanseindtryk fra de 3 sensoriske trigeminuskerner i hjernestammen. Pulviner er den bageste del af den ventrale kernegruppe som er tæt relateret til associationsområder i den parietale, den temporale og den occipitale hjernebark.

Desuden findes den intralaminære kernegruppe, nuclei intralaminares thalami, som deltager i integrationen af indkommende nerveimpulser til thalamus og afgiver bl.a. fibre til basalgangliernes striatum.

På undersiden af pulvinar ses yderligere 2 kerner (omkoblingskerner), corpus geniculatum mediale, der indgår i

de centrale hørebaner, og corpus geniculatum laterale der indgår i de centrale synsbaner.



Hypothalamus er et tyndt kileformet område og ligger i bunden af den 3. ventrikel. Grænsen mellem hypothalamus og thalamus er markeret af en fure, sulcus hypothalamicus. Hypothalamus vejer ca. 4-5 gram. Der findes en del kerner indlejret i en diffus masse af neuroner. Grænsen mellem kernerne er ikke så skarpe.

I den mediale del findes der 3 kernegrupper: anteriore, tuberele og mamillare kernegrupper. I den anteriore kernegruppe findes nucleus supraopticus og paraventricularis. Herfra afgår fibre, som danner den direkte bane til neurohypofysen, tractus hypothalamohypophysialis, og transporterer 2 peptidhormoner: antidiuretisk hormon (ADH) og oxytocin til neurohypofysen, hvorfra disse frigøres.

Den tuberele kernegruppe er tæt relateret til hypofysen, og her findes nucleus arcuatus (infundibularis), nucleus ventromedialis og nucleus dorsomedialis samt det kaudale forløb af nucleus paraventricularis. Disse kerner indgår i regulation af adeno-hypofysen via deres frisætning af stoffer såsom væksthormon, thyroidea-stimulerende hormon (TSH), adrenokortikotrop hormon (ACTH), prolaktin samt follikelstimulerende hormon (FSH) og luteniserende hormon (LH). Hypothalamus regulerer frisætningen af disse hormoner fra adeno-hypofysen via et portåresystem, som sammen med tractus tuberoinfundibularis udgør den indirekte bane til adeno-hypofysen.

I den mamillare kernegruppe findes nucleus posterior og nucleus mamillaris. Corpus mamillaris er den synlige del af nucleus mamillaris, og ses som små glatte halvkugleformede prominenser, der ligger side om side i bunden af diencephalon bag ved tuber cinereum og foran fossa interpeduncularis. Den udgør via sine forbindelser til hippocampus og thalamus en del af det limbiske system.

Hypothalamus' funktion er at samordne autonome, endokrine og somatisk motoriske reaktioner til målrettet adfærd. Vi finder neurongrupper som indvirker på funktioner som blodtryk, kropstemperatur, vandbalance, stofskifte, søvn, tarmkanalens virksomhed, seksuel funktion og forsvarsadfærd.

Hypothalamus er med til at regulere homøostase i kroppen, fordi den modtager information på mange måder f.eks. hormoner der binder sig til receptorer eller neuroner, som fungerer som sanseorganer (termoreceptorer, osmoreceptorer), ved ændringer i temperaturen, smerter, blodtryk og om lysmængden (retinohypothalamisk bane). Den får afferente fibre fra de højere dele af CNS, medulla spinalis (via kerner i retikulærsubstansen) og

de limbiske strukturer (følelsesmæssig tilstand).

Hypothalamus integrerer al information fra de forskellige steder, før den sender kommandoer til hypofysen om udskillelsen af vigtige hormoner, til de limbiske strukturer, retikulærsubstansen, PAG, dele af cortex cerebri, medulla spinalis, til autonome præganglionære fibre (autonome processer som blodtrykregulering, hjerterytme, temperaturregulering og fordøjelse), de sympatiske neuroner (intermediolaterale celledøje) og til somatisk-efferente neuroner.

Neurogrupper i den anterior del af hypothalamus er nødvendige for koordinering af processer som øger varmetabet (parasymatiske effekter), mens neurogrupper i posterior del er nødvendige for at reducere varmetabet og øge kroppens temperatur (sympatiske effekter). Tilsammen virker hypothalamus som en termostat og forsøger at holde kropstemperaturen på ca. 37°C.

I hypothalamus overfor chiasma opticum i midtlinjen ligger der nucleus suprachiasmaticus, der sammen med corpus pineale spiller en rolle i døgnvariationer, dvs. en 24-timers cyklus. Dette kaldes den sirkadiane rytme. Corpus pineale indeholder pinealocytter, som danner melatonin. Melatonin påvirkes af lysmængden dvs. udskillelsen hæmmes af lys/dag. Information om lysmængden registreres af nethinden, hvor axoner fra retinale gangliaceller ender i nucleus suprachiasmaticus via retinohypothalamiske bane. Kernen får også afferente fibre fra corpus geniculatum laterale og fra rafekerne.

Hypothalamus spiller også en stor rolle i indtagelse af føde og kontrollere appetit. Man har påvist at den laterale del af hypothalamus kan fremkalde øget madindtagelse, mens de mediale dele kan reducere madindtagelse. Nucleus arcuatus er med til at kontrollere dette. Der findes 2 neurongrupper i kernen med modsatte virkninger: Neuropeptid Y (NPY) øger madindtagelse, mens POMC-neuroner reducerer den. Nucleus solitarius modtager signaler fra n. vagus om mavesækkens fyldningsgrad, blodsukker og lipidniveau i blodet og formidler signaler videre til hypothalamus, herunder til nucleus arcuatus. Leptin produceres i fedtceller, og insulin produceres af β -celler i pancreas. Begge hormoner slippes igennem blodhjernebarrieren, hvor de binder sig til deres receptorer med størst tæthed i nucleus arcuatus og hæmmer injektion af NPY og stimulerer POMC-neuroner. Et andet hormon ghrelin som produceres i mavesækken ved sult, virker også på nucleus arcuatus og aktiverer NPY-neuroner.

Regulering af væskebalancen i kroppen er en homeostatisk regulering som styres fra hypothalamus. Antidiuretisk hormon ADH udskilles fra hypofysens baglap og hæmmer vandudskillelsen gennem nyrerne. Osmoreceptorer i hypothalamus reagerer på blodets osmotiske tryk. Øges dette tryk f.eks. ved sved eller væsketab på anden måde, stimuleres cellerne i hypothalamus til øget produktion af ADH. ADH transporteres til hypofysens baglap og udskilles. Det medfører at urinmængden aftager.

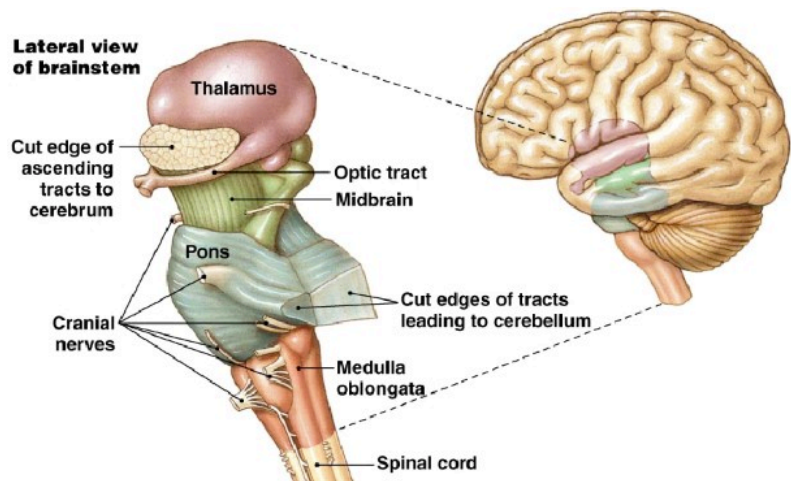
Hypofysen er ophængt foran corpora mamillaria ved en stilk, infundibulum. Partiet mellem hypofysestilk og

corpora mamillaria kaldes tuber cinereum på undersiden af hypothalamus. Hypofysen består af 2 dele: adenohipofysen og neurohipofysen. To forskellige veje er ansvarlige for påvirkning af hypofysen fra hypothalamus. Neurohipofysen har en direkte bane, tractus hypothalamohypophysialis, mens adenohipofysen påvirkes indirekte via en bane, tractus tuberoinfundibularis og et hypofysære portåresystem. De fleste arterier går ind i adenohipofysen og fortsætter op i hypofysenstilken. Her danner de sinusoider som samler sig i større vener, de hypofysære portårene. Disse går tilbage til adenohipofysen, hvor de danner et nyt sæt af sinusoider om epithelcellerne. Talrige tynde axoner fra hypothalamiske neuroner ender i den øverste del af hypofysestilken, som kaldes eminentia mediana. Axoner ender i kontakt med sinusoider som er fenestrerede (her mangler blodhjernebarrieren). Derved kommer de neuropeptidmolekyler over i blodbanen. Hypofysen bliver forsynet med kar fra a. carotis interna eller a. communicans posterior.

HJERNESTAMMEN

Hjernestammen inddeles i medulla oblongata (den forlængede marv), pons (hjernebroen) og mesencephalon (midthjernen). Hjernestammen har yderst den hvide substans og inderst den grå substans (ansamlinger af nerveceller) ligger dybere og er opdelt i flere dele af den hvide substans.

Mesencephalon afgrænses på ventralsiden fra pons ved en transversel fure, flexura cephalica. Desuden findes der en midtstillet fordybning, fossa interpeduncularis, hvor n. oculomotorius (III) træder frem. På hver side af fossa interpeduncularis ses 2 tykke hvide strenge, pedunculi cerebri eller crus cerebri. Crus cerebri er en fortsættelse af nedstigende fibre fra capsula interna, som ender i hjernestammen og medulla spinalis.



Kaudalt går mesencephalon til pons, som fremtræder som en fortykkelse af hjernestammen og har en glat overflade. På forsiden af pons (mellem overgangen mellem pons og medulla oblongata) træder 3 hjernenerver frem (medialt til lateralt): n. abducens (VI), n. facialis (VII) og n. vestibulocochlearis (VIII). Den største af nerverne er n. trigeminus (V), der afgår mere rostralt ved afgangens af pedunculus cerebellaris medius. Den fører de sensoriske fibre fra ansigtet, mens de motoriske fibre går til tyggemusklene. Dorsalt for pons er der lillehjernen, cerebellum, der er sammenknyttet via pedunculus cerebellaris superior, medius og inferior, som også er med til at afgrænse fossa rhomboidea, der strækker sig på bagfladen og markerer bunden i 4. ventrikel. Man kan dele fossa rhomboidea i den øvre og nedre halvdel, hvor i den øvre halvdel findes en lille forhøjning nær midtlinien (colliculus facialis), hvor facialisfibre laver et sving bagover abducenskernen inden de træder ud af hjernestammen. Lidt rostralt findes et mere pigmenteret område locus caeruleus, som indeholder noradrenalin som transmitter og er specielt vigtig for opmærksomhed. I den nedre halvdel findes 2 forhøjninger, medialt trigonum n. hypoglossi og lateralt trigonum n. vagi. Opadtil afgrænses fossa rhomboidea af mesencephalons bagflade, tectum, hvor der ses 4 forhøjninger, 2 på hver side af midtlinien, corpora quadrigemina, der består af 2 øvre colliculis superiores, og 2 nedre colliculis inferiores. Colliculus superior er et reflekscenter for bevægelser af øjnene og hovedet, mens colliculus inferior formidler information om hørelse til højere niveau af CNS. Under colliculus inferior kommer n. trochlearis (IV) ud, der løber dorsalt og krydser midtlinjen for at træde igennem velum medullare superius og innervere m. rectus medialis med motoriske fibre. Midt foran forhøjningerne er der et lille hulrum, akvedukten, aqueductus cerebri, som forbinder den 3. og 4. ventrikel med hinanden. Rundt om akvedukten findes et område med grå substans, periakveduktelle grå substans, PAG, som har betydning for hæmningen af indkommende smerteimpulser. I midten foran PAG findes oculomotoriskernen. Der findes nucleus ruber og substantia nigra bag ved crus cerebri, der har betydning for motorikken gennem samspillet med cerebellum og motorisk cortex. Substantia nigra bruger dopamin som

neurotransmitter.

I centralområdet i pons og mesencephalon findes der et fint netværk af nervetråde, retikulærsubstans, formatio reticularis, som bl.a. kontrollerer søvn og den vågne tilstand. Den opdeles i 3 zoner, hvor man skelner mellem et storcellet medalt retikulært område, area gigantocellularis (efferent) og et småcellet lateralt retikulært område, area parvocellularis (afferent), mens i midtlinjen findes raphekernerne, nuclei raphes, som hovedsageligt er serotonerge. Beskadiges cellerne i formatio reticularis, bliver personen bevidstløs. Ved brug af bedøvelsesmidler er det bl.a. cellerne i formatio reticularis, man påvirker. Den har også betydning for reguleringen af kardiovaskulære og respiratoriske kontrol. Ved alvorligere skader kan effekten være koma, vegetativ stand eller død, da hjernens arousal system er ødelagt.

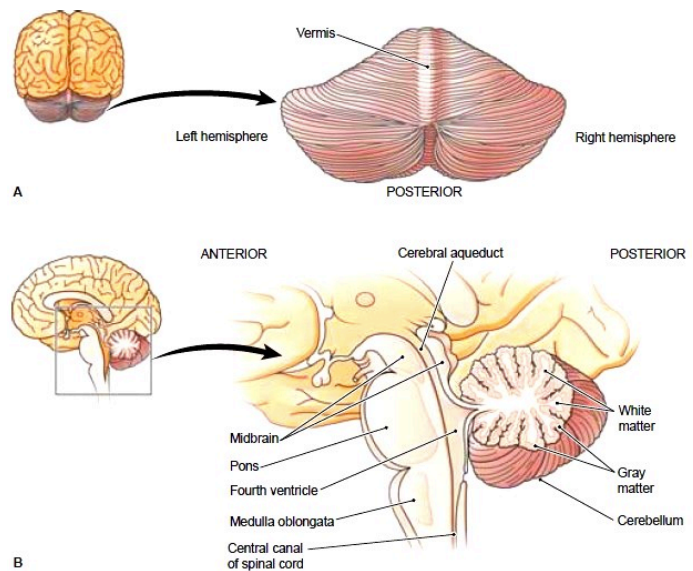
Kaudalt går pons over i medulla oblongata. Man sætter grænsen ud for foramen magnum eller ved de øverste rødder af første spinalnerve. Superior sættes grænsen ved flexura cervicalis, som skiller medulla oblongata fra pons. Den er ca. 2.5 cm lang. I den nedre del af tværsnit af medulla oblongata har en længdegående fure i midtlinjen, som er en fortsættelse af fissura mediana anterior i medulla spinalis. Længdefuren stopper brat i overgangen til pons. På begge sider af længdefuren findes der en fremhævelse, pyramide, dannet af pyramidebanen, tractus pyramidalis, som via fibre forbinder storhjernens motorisk cortex med de somatomotoriske motorneuroner i hjernestammen og rygmargens forhorn. Ved overgangen til medulla spinalis ses der pyramidekrydsningen, decussatio pyramidum. Lateral for pyramiden ses oliva, som dannes af en stor kerne, oliva inferior, der har forbindelse med lillehjernen. Mellem pyramiden og oliva træder den 12. hjernenerve, n. hypoglossus, som forsyner tungens muskler med motoriske fibre. Lateralt for oliva ligger sulcus retroolivaris, hvor der udspringer 9., 10. og 11. hjernenerver, nn. glossopharyngeus, vagus og accessorius. Nn. glossopharyngeus og vagus forsyner hhv. svelget og strubehovedet og de fleste indvoldsorganer med motoriske og sensoriske fibre. N. accessorius indeholder motoriske fibre til 2 muskler på halsen, m. trapezius og m. sternocleidomastoideus. Nucleus ambiguus er lokaliseret dybt i den rostrale del af medulla oblongata og forsyner 9., 10. og 11. hjernenerver med somatomotoriske tråde. Dorsalt i den nedre del af medulla oblongata ligger bagstrengkernerne, medalt nucleus gracilis og lateralt nucleus cuneatus, hvorfra afgår afferente fibre i en bue fremad og løber gennem en sensorisk bane, lemniscus medialis. Denne bane bringer signaler til somatosensoriske barkområder via nucleus ventralis posterolateralis i thalamus. Nucleus gracilis modtager signaler fra benene, mens nucleus cuneatus modtager fra overkroppen. Hypoglossuskernen ligger foran lemniscus medialis og har de motoriske neuroner for n. hypoglossus. Herfra afgår de efferente fibre og træder frem mellem oliva inferior og pyramiden. Lateralt for hypoglossuskernen ligger den spinale del af trigeminuskerne. I den øvre del af medulla oblongata ser man ligevægtskernerne, der ligger dorsalt og lateralt under bunden af 4. ventrikel. De sender efferente fibre gennem fasciculus longitudinalis medialis til øjenmusklerkernerne (III, IV og VI), som styrer øjnenes bevægelser og har betydning for balancen.

LILLEHJERNEN

Lillehjernen, cerebellum, er udviklet i den laterale del af metencephalon og varetager derfor behandlingen af afferente impulser. Den spiller en stor rolle i motorisk koordination, muskeltonus og ligevægtsreflekser. Den har først og fremmest at gøre med koordineringen af viljestyrede bevægelser. Afferente fibre fra forskellige steder ender forskellige dele af cerebellum, hvorfra sendes efferente fibre til forskellige neurongrupper. Til forskel fra hjernebarken har cerebellum ingen associationsforbindelser, dvs. de forskellige dele af cerebellum "taler" ikke sammen.

Den ligger i fossa cranii posterior og er tæt knyttet til hjernestammen via pedunculi cerebellares. Den adskilles fra storhjernen af fissura transversa cerebri med tentorium cerebelli. Fortil er cerebellum afgrænset med bladene velum medullare superius og velum medullare inferius, hvor mødet mellem bladene benævnes fastigium.

Lillehjernen er affladet med den største diameter på tværs. Den består af 2 symmetriske hemisphærum cerebelli, hvor i midten findes vermis cerebelli. På overfladen findes der fine parallelle furer, fissurae cerebelli, der går på tværs og afgrænser smalle, bladformede vindinger, foliae cerebelli.



Som storhjernen består cerebellums ydre lag af grå substans, cortex cerebellaris med underliggende hvid substans, der danner en træliggende struktur benævnt arbor vitae. Cortex cerebellaris består af 3 lag. Yderst ligger molekylærlaget. Det indeholder mest dendritter og axoner fra celler i de dybere lag og har få neuroner. Det midtste lag indeholder store purkinjeceller og kaldes derfor purkinjecellelag. Inderst ligger korncellelaget, som består af tætliggende små neuroner som kaldes kornceller, granuleceller. Axonerne fra korncellerne går ud i molekylærlaget, hvor de deler sig i grene, som forløber i folienes længderetning.

Purkinjeceller er de eneste neuroner der sender sit axon ud af cerebellarcortex og modtager også fibre fra hjernestammen, rygmærken, ligevægtsapparatet og storhjernen. Purkinjeceller kontakter herefter de intracerebellar kerner, og virker tilbage på de neurogrupper hvor afferente fibre kommer fra. Purkinjeceller indeholder GABA, og virker inhibitorisk på neuroner i cerebellarkernerne og i vestibulokernerne. Korncellerne har eksitatorisk virkning på purkinjecellerne og benytter glutamat som transmitter.

De talrige afferente fibre der kommer til cortex, er af 2 typer:

- Klatrefibre, som er de eneste fibre der kommer fra oliva inferior
- Mosfibre, der kommer fra fibre fra spinocerebellare, vestibulocerebellare, reticulocerebellare og pontocerebellare

Mosfibre ender i kornlaget, hvor de danner synapser med korncellernes dendritter. Da kornceller danner synapser med purkinjeceller. Først når der er tilstrækkelige mange mosfibre, medfører det dannelse af aktionspotentialer i purkinjeceller. Mosfibre bruger også glutamat og bringer information om bevægelsens retning og hastighed, varighed og lokalisation af hudstimuli, om motoriske kommandoer fra cortex cerebri. Klatrefibre ender helt ind til molekulærlaget og danner synapser med purkinjecellernes dendritter. Her er en enkel klatrefiber rigeligt til at fremkalde aktionspotentialer. Klatrefibre bruger glutamat som transmitter og informerer om fejl i udførelsen af en bevægelse.

Lillehjernen består i 3 forskellige funktionelle dele og har følgende funktioner:

- Lobus flocculonodularis består af nodulus i midtlinjen og flocculus på hver side. Denne del af lillehjernen modtager særligt fibre fra ligevægtsapparatet og ligevægtskerner via pedunculus cerebellaris inferior og kaldes vestibulocerebellum. Cerebellum får hermed information om hovedets stilling og bevægelser og vha. efferente fibre påvirker motoneuroner, som kontrollerer kroppens balance og øjenbevægelser.
- Corpus cerebelli ligger foran lobus flocculonodularis afgrænset af fissura posterolateralis. Corpus cerebelli deles på tværs i 2 dele af en dyb tværgående fure, fissura prima. Den del der ligger foran fissura prima, kaldes lobus anterior, mens den del der ligger bag, kaldes lobus posterior. Hemisfæerne får information fra cortex cerebri gennem pons via pedunculus cerebellaris medius, og kaldes pontocerebellum. Der er også væsentlige bidrag fra supplementære motorisk og præmotorisk cortex og fra bagre parietal cortex. De kortikopontine fibre forløber i capsula interna og indtager en stor del af crus cerebri. Fibre fra pons er krydset, dvs. fibre ender i den modsatte side af hemisfæerne.
- Vermis i midten og lige lateralt intermediærzonen kan afgrænses pga. sine afferente fibre. Vermis og intermediærzonen modtager fibre fra medulla spinalis og kaldes spinocerebellum. Disse fibre giver information om stilling og motorik opfanget af kroppens kutane og proprioceptive sansereceptorer. Afferente fibre fra medulla spinalis deles i 2 baner:
 - Direkte spinocerebellare bane består af 2 grupper:
 - Den del (tractus spinocerebellaris dorsalis) bringer information fra muskelspoler, senespoler og lavtærskel mekanoreceptorer fra underkroppen.
 - Den anden del (tractus spinocerebellaris ventralis) bringer information om aktivitetsniveau til interneuroner i rygmarvens grå substans.
 - Indirekte spinocerebellare bane, der bliver afbrudt i oliva inferior i medulla oblongata, som så sender fibre videre til den modsatte side af cerebellum.

De efferente fibre udgår fra de intracerebellare kerner (nucleus dentatus, nucleus emboliformis, nucleus

globosus og nucleus fastigii) samt fra purkinjecellerne i vestibulocerebellum og spinocerebellum og påvirker det motoriske system. Man skelner mellem fibre fra pontocerebellum, de neocerebellare fibre (finmotorikken), og vestibulocerebellum og spinocerebellum (den posturale/aksiale muskulatur).

Neocerebellare fibre udgår fra nucleus dentatus, nucleus emboliformis og nucleus globosus, som løber via pedunculus cerebellaris superior over i mesencephalon og krydser midtlinjen i decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum for at ende i nucleus ruber samt i nucleus ventralis lateralis thalami (VA-VL). Fibrene herfra påvirker den motoriske cortex som danner tractus pyramidalis, mens fibrene fra nucleus ruber danner tractus rubrospinalis. Disse baner påvirker de somatomotoriske nerveceller i hjernestammen og rygmarvens forhorn og er ansvarlige for innervationen af ekstremitetsmuskulaturen.

Fibre fra de spinocerebellare og vestibulocerebellare dele af cerebellum udgår fra nucleus fastigii. Fibrene løber via pedunculus cerebellaris inferior ud til formatio reticularis og de vestibulære kerner, som hhv. danner tractus reticulospinalis og tractus vestibulospinalis. Disse baner løber ned i rygmarvens funiculus anterior og påvirker de somatomotoriske nerveceller liggende medalt i forhornet og er ansvarlige for innervationen af den posturale/aksiale muskulatur.

Cerebellare symptomer giver altid udfald på samme side, da forbindelserne fra cerebellum og ned til de motoriske celler i rygmarvens forhorn krydser midtlinjen 2 gange. Den første overkrydsning sker i mesencephalon, hvor de neocerebellare fibre krydser midtlinjen svt. decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum, men den anden overkrydsning foregår svt. decussatio pyramidum, hvor tractus pyramidalis krydser midtlinjen eller rostralt i hjernestammen hvor de rubrospinale fibre, tractus rubrospinalis, krydser. Skader nær midtlinjen i cerebellum vil give symptomer af balanceproblemer, gang- og holdningsproblemer, problemer med øjenbevægelser (vestibulocerebellare skader) samt nedsat balance og kontrol af proximal muskulatur og nedsat timing af komplekse bevægelser (spinocerebellare skader). Skader lateralt i den cerebellare hemisfære vil give nedsat evne til at planlægge og iværksætte bevægelser samt nedsat præcision af bevægelser.

Følgende symptomer kan ses ved læsioner:

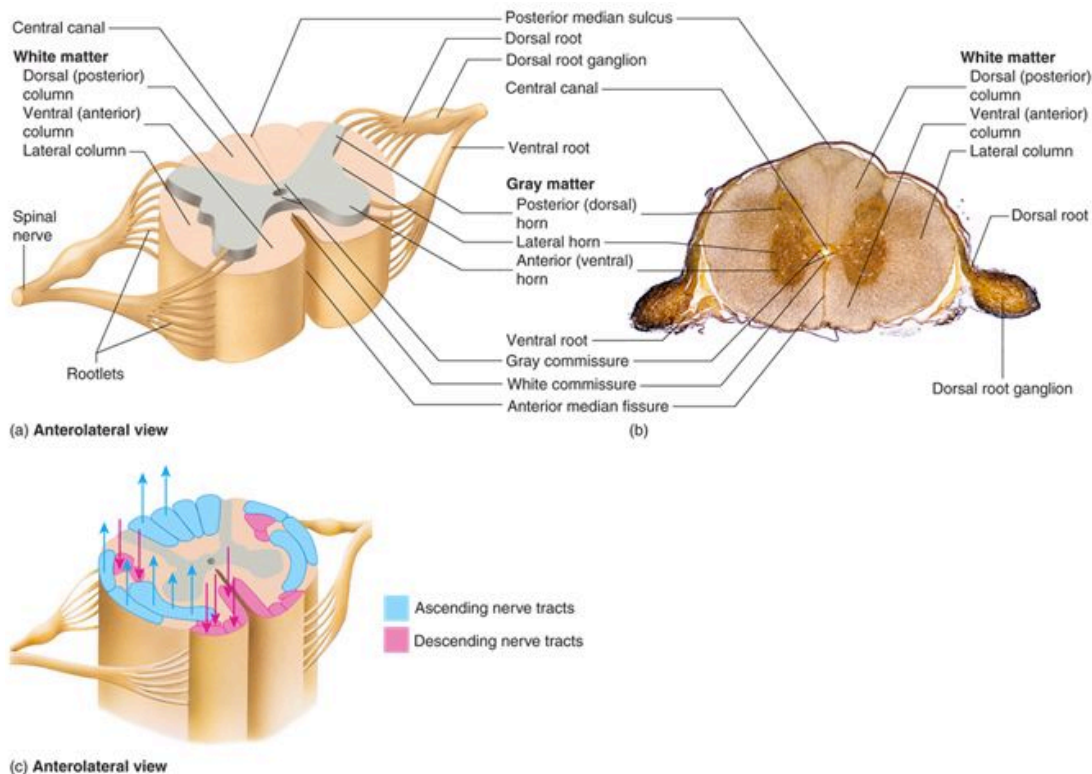
- Nystagmus (vestibulocerebellum)
- Ataksi (lobus anterior)
- Neocerebellare syndrom
 - Asynergi (dekomponering af sammensatte bevægelser)
 - Dysmetri (overshooting)
 - Dysdiadokokinese (hurtige alternerende bevægelser)
- Intentionstremor
- Tale ataksi
- Cerebellar hypotoni

RYGMARVEN

Medulla spinalis strækker sig fra hjernestammen og ender med en tilspidset ende, conus medullaris, i højde med den øvre rand af 2. lumbalvirvel. Som helhed aftager den i tykkelse, men har fortykkelser 2 steder i rygmarven, intumescencia cervicalis et lumbosacralis, hvorfra afgives nerver til ekstremiteterne. Det svarer til 4. cervikal- til 2. torakalsegment, og 1. lumbal- til 2. sakralsegment. Fra conus medullaris afgår en fibrøs streng, filum terminale. Under den øvre rand af 2. lumbalvirvel findes der længdegående bundter af spinalnervetotter, kaldes hestehalen, cauda equina. Rygmarven er fæstet til hinderne, dels ved spinalnerverne, dels ved 2 stærke sidebånd, ligamentum denticulatum.

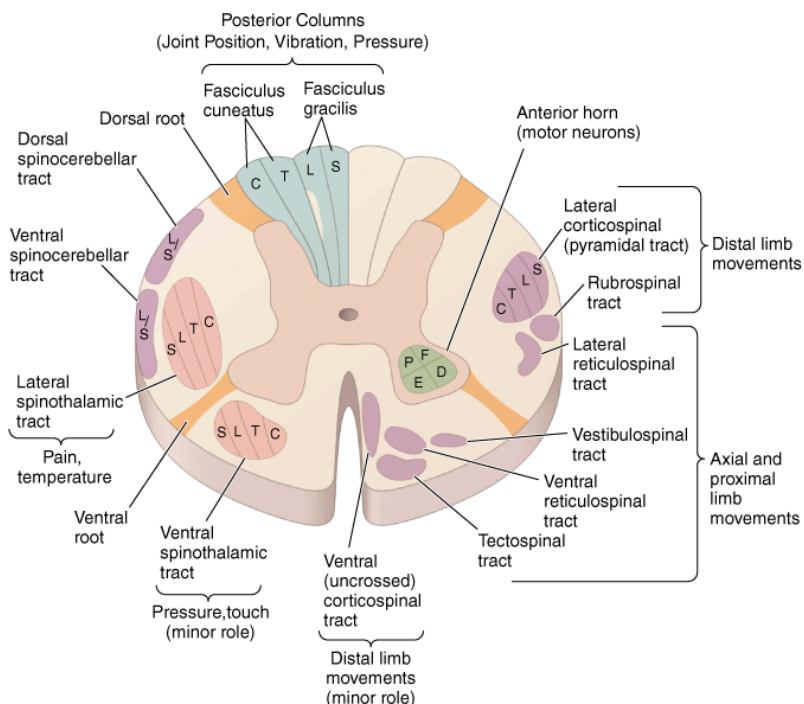
Medulla spinalis inddeles anatomisk i 31 skiver, segmenter. Fra segmenter afgår spinalnerver, der forbinder rygmarven med kroppen. En spinalnerve dannes ved smårødder, fila radicularia, der forlader overfladen af rygmarven ud for spidsen af hhv. forhornet og baghornet og smelter sammen til en ventral rod (somatomotoriske fibre) og dorsal rod (somatosensoriske og viscerosensoriske fibre), som igen smelter sammen i selve spinalnerven. I alt dannes 31 par spinalnerver langs rygmarven på hver side:

- 8 par cervikale
- 12 par thorakale
- 5 par lumbale
- 5 par sakrale
- 1 par coccygeale



I medulla spinalis findes inderst den grå substans, der opdeler den hvide substans i ventral, lateral og dorsal funiculi. På tværsnit danner den grå substans en H-formet figur, hvis ben benævnes et forhorn og et baghorn hhv. cornu anterius og cornu posterior. Forhornet afgiver motoriske tråde til spinalnervens forreste rod, baghornet modtager sensitive tråde fra bageste rod. Den dorsale rod har en oval opsvulmning, spinalganglion, der indeholder nervecellelegemer. Fra disse sendes en axonudløber ind i rygmarven via den dorsale rod, mens en anden axonudløber løber i den perifere nerve og ender i enten viscere som en visceral afferent fiber, eller i hud, slimhinder, led, ligevægtsorganet og muskler som en somatisk afferent fiber. Disse afferente fibre bidrager med information om hvad der sker ude i kroppen. De ender i deres respektive kerner, hvorfra ledes signalerne videre til thalamus og cortex. De sendes også til retikulærsubstansen via interneuroner og videre til somatiske og visceral efferente kerner i hjernestammen og er derfor led i refleksbuer. Cornu lateralis svarer til rygmarvssegmenterne T1-L2 (sympatiske præganglionære visceromotoriske nervefibre) og S2-S4 (parasympatiske præganglionære visceromotoriske nervefibre), som hører til det autonome nervesystem. Lumbal og cervikaldelen adskiller sig fra thorakaldelen ved at have bredere forhorn og manglende sidehorn.

Den grå substans i medulla spinalis inddeles i zoner, lamina. Man har identificeret 10 laminae, hvor laminae 1.-6. danner baghornet, mens laminae 7. til 9. danner forhornet. Lamina 2., substantia gelatinosa, har sammen med laminae 3. og 4. betydning for modulation af indkommende smerteimpulser, hvor stærk vi oplever smertefulde stimuli. Lamina 7. udgør overgangszonen mellem dorsalthornet og ventralhornet og har sammen med laminae 5. og 6. betydning for reguleringen af motorik og stilling. Lamina 8. ligger medialt for forhornet, indeholder mange neuroner, som forbinder de modsatte sider af rygmarven med hinanden (kommissuralforbindelse).



Den hvide substans i medulla spinalis (myeliniserede axoner) tiltager i mængden fra caudalt til rostralt. Den inddeles i en forstreng, funiculus anterior, en bagstreng, funiculus posterior og en sidestreng, funiculus lateralis. Funiculus posterior inddeles yderligere i en medial fasciculus gracilis og en lateral fasciculus cuneatus.

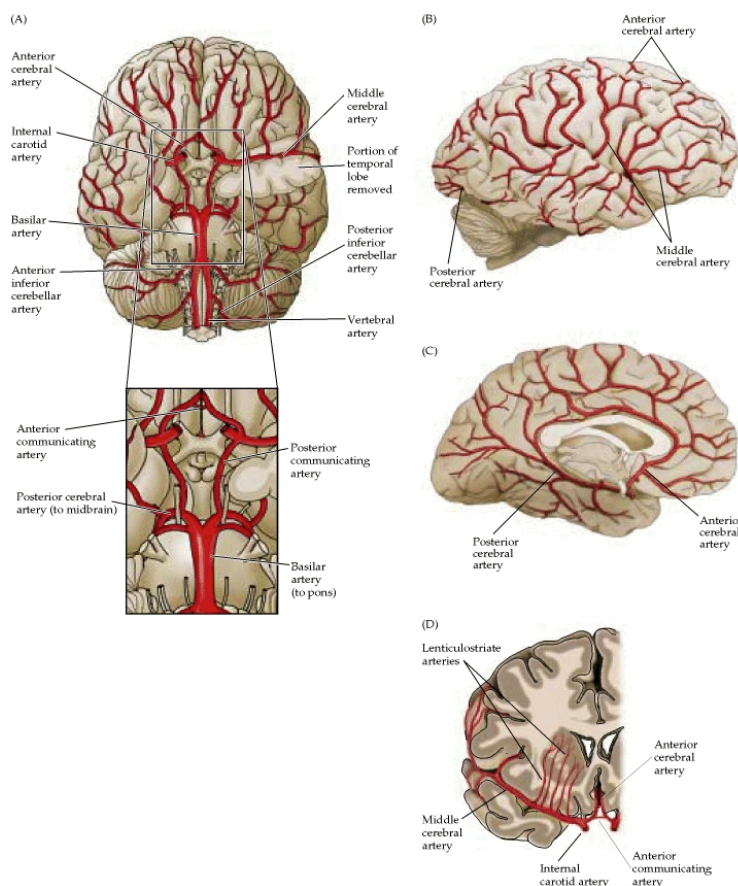
Af ascenderende baner kan der nævnes tractus spinothalamicus beliggende mellem funiculus anterior og funiculus lateralis hvor der løber smerte- og temperaturinput til VPL i thalamus. I bagstrengsbanerne i funiculus posterior, bagstrengs-lemniscus

medialis-systemet, løber tryk-, berørings- og proprioceptive input ligeledes til thalamus. I tractus spinocerebellaris anterior et posterior i funiculus lateralis føres nervefibre fra rygmarven til cerebellum, som giver information om kroppens stilling og motoriske tilstand.

Af descenderende baner nævnes tractus corticospinalis lateralis og tractus rubrospinalis beliggende i funiculus lateralis, hvor der løber "finmotoriske" input til de somatomotoriske forhornsceller, mens i tractus corticospinalis medialis, tractus vestibulospinalis og tractus reticulospinalis beliggende i funiculus anterior løber der "grovmotoriske" input til aksiale/posturale muskler.

HJERNENS BLODFORSYNING

Hjernen forsyner sig i hvile med ca. 15% af minutvolumen, selv om det udgør under 2% af kropsvægten. Reguleringens mekanisme sørger for, at hjernen får det blod, den trænger til, hvis nødvendig på bekostning af alle andre organer. Der er autoregulering af hjernens cirkulation, dvs. forhold i hjernen der er bestemmende for blodgennemstrømning. Ved lavt blodtryk udvides arterierne sådan, at modstanden sænkes og blodstrømmen i hjernen opretholdes. Ved øget blodtryk sker det modsatte. Arterierne forsnavres. Øget kapillærtryk i hjernen vil medføre hjerneødem. Hjernen kan således opretholde en konstant blodstrøm med et systolisk blodtryk mellem 60 og 160 mmHg. Hvis blodtrykket kommer under 60 mmHg, vil blodstrømmen aftage så meget, at personen besvimer. Lav koncentration af ilt (hypoxi) og høj kuldioxid (hyperkapni) fremkalder kraftige åreudvidelse og øgning i cerebral blodstrøm.



Aa. carotides internae og aa. vertebrales bidrager med blodforsyning til hjernen. Mens aa. carotides internae forsyner det meste af storhjernens, er aa. vertebrales ansvarlig for blodforsyning af hjernestammen og cerebellum.

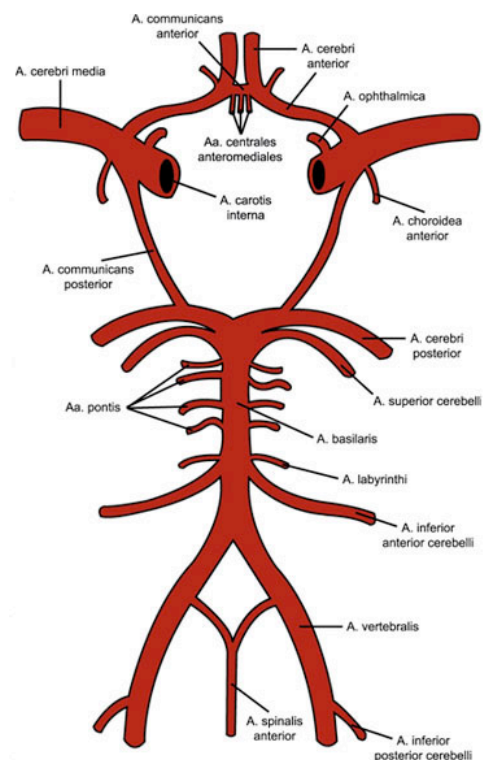
A. carotis interna udspringer i trigonum caroticum, hvor den først ligger bag a. carotis externa lateralt for, men passerer hurtigt mediet for at ascendere langs svælgets sidevæg i spatium lateropharyngeum. Den ligger på prævertebralmuskulaturen med relation med n. vagus, truncus sympathicus og v. jugularis interna. Den passerer herefter op under n. hypoglossus, venter posterior m. digastrici, adskilt fra a. carotis externa ved m. styloglossus, m. stylopharyngeus, n. glossopharyngeus samt rami. pharyngei n. vagi og træder ind fossa cranii media gennem canalis caroticus, der er beliggende i pars petrosa ossis temporalis. Under forløbet afgiver den små grene til mellemøret. Efter at have perforeret dura og arachnoidea forbi processus clinoideus anterior bøjer den sig til en slynge, carotissiphonen gennem sinus cavernosus hvorfra der afgives a. ophthalmica, som ledsager n. opticus i fælles duraskede ind i orbita gennem canalis optica. Grenen der forsyner nethinden, hedder a. centralis retinae. Af andre grene nævnes a. lacrimalis til glandula lacrimalis, aa. ciliares posteriores longae et breves til bulbus, a. supraorbitalis gennem foramen supraorbitalis til pandehulen og a. ethmoidalis anterior til den forreste del af

næsehulen. Af endegrenene kan der nævnes a. cerebri anterior, der afgiver a. communicans anterior som kommunikerer med den modsidige a. cerebri anterior. Herefter løber a. cerebri anterior ud for corpus callosum i fissura longitudinalis cerebri og afgiver a. pericallosa og a. callosamarginalis til forsyning af medialsiden af hjernen. A. cerebri media er den største af dem og forløber i sulcus lateralis og afgiver talrige grene som forsyner størstedelen af barken på hemisfære, bl.a. størstedelen af det motoriske og sensoriske barkområder. Høre cortex forsynes også af a. cerebri media. Område, der repræsenterer benene, som forsynes af a. cerebri anterior. Mindre grene som aa. centrales anteromediales fra a. cerebri anterior og aa. centralis anterolaterales fra a. cerebri media perforerer hjernens ventrale overflade og trænger i dybden for at forsyne den forreste ventrale del af storhjern, capsula interna og basalganglierne.

A. vertebralis træder ind i canalis vertebralis ved at perforere membrana atlantooccipitalis posterior, der forbinder arcus posterior atlantis med kraniebunden. Den perforerer dura mater og arachnoidea og løber ind i kraniekaviteten gennem foramen magnum. På halsen afgiver den rami spinales, som træder ind i rygmarven gennem foramina intervertebralia. Den ender til sidst ud for underkanten af pons, hvor den løber sammen med den modsatte a. vertebralis og danner a. basilaris. Fra a. basilaris afgives forskellige grene, som forsyner cerebellum, medulla oblongata, pons og mesencephalon. De største af dem er til forsyning af cerebellum og pons: a. inferior anterior cerebelli og a. superior cerebelli. En lille gren fra a. basilaris, a. labyrinthi, forsyner ligevægtsapparatet i det indre øre. Ved øvre rand af pons deler a. basilaris sig i 2 endegrene, aa. cerebri posteriores, der bøjer bagover rundt mesencephalon og fortsætter på medialsiden af hemifærrens til occipitallappen (bl.a. synsområdet) og undersiden af temporallappen. Den afgiver desuden talrige grene, a. choroidea posterior samt aa. centrales posteromediales og aa. centrales posterolaterales som perforerer den ventrale del af hjernen for at forsyne plexus choroideus af den bageste del af 3. og lateralventrikler, diencephalon samt capsula interna. På hjernens basis (subarachnoidalrummet) er der en forbindelse mellem a. cerebri posterior og a. cerebri media, a. communicans posterior. Der findes tilsvarende forbindelse mellem aa. cerebri anteriores, a. communicans anterior, der ved anastomose med a. communicans posterior danner circulus arteriosus cerebri (Willisi).

Willisi ligger i subaraknoidalrummet. Willisi rummer mange strukturer f.eks. tractus opticus, hypofysen og hypothalamus. Willisi sørger for blodforsyningen hvis der opstår en blokering af en af grenene på en af siderne, dog danner Willisi og tilhørende grene ikke helt sufficente anastomoser. En blokering kan derfor medføre en skade i den ramte del af hjernen.

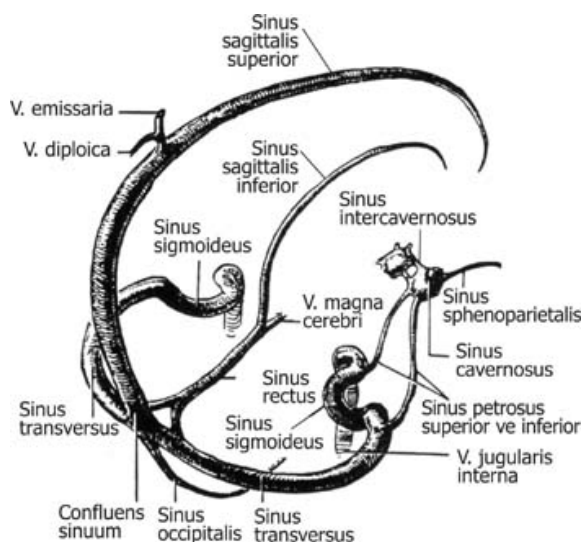
Rygmarvens arterier er ordnet sådan at der findes en ventral arterie,



a. spinalis anterior, og 2 dorsale a. spinalis posteriores, alle sammen fra a. vertebralis.

A. meningeal media forsyner dura mater og afgår fra det første stykke af a. maxillaris og træder ind i kraniehulen gennem foramen spinosum. I fossa cranii media løber den fremad og lateralt med overkanten af arcus zygomaticus deler sig i 2 grene, ramus frontalis og ramus parietalis. Ramus frontalis løber op og frem til pterion og herfra op mod vertex cranii ud for motoriske hjernebark i gyrus precentralis. Ramus parietalis løber mere bagud. Den forsyner den supratentorielle del af dura og den anastomoserer gennem fissura orbitalis superior med a. lacrimalis. A. meningeal anterior og posterior forsyner hhv. fossa cranii anterior og posterior og er små grene fra hhv. a. ethmoidalis anterior og a. pharyngea ascendens.

På overfladen af rygmarven samles det venøse blod i netværk af vener, hvor der er afløb til store venefletninger på ydersiden af dura, epidurale plexus.



I kraniet, meninges og cerebri cortex bliver det venøse blod fra de overfladiske vener dræneret i sinus sagittalis superior, som findes mellem duralagene til afløb af ven blodet i v. jugularis interna. Kanalerne er endotelbeklædte og uden klapper. Af sinus'erne kan der nævnes den største sinus sagittalis superior, der ligger langs falx cerebri begyndende fra crista galli til protuberantia occipitalis interna. Herfra bliver større mængde blod tømmt i højre sinus transversus, der sammen med den modsidige sinus transversus og sinus rectus danner confluentia sinuum foran protuberantia occipitalis interna.

Sinus sagittalis inferior er en lille sinus, som ligger i den nedre frie kant af falx cerebri. Bagest er der hæftet sinus rectus i midtlinjen af tentorium. Blodet tømmes derfra hyppigst i den venstre sinus transversus. Det meste af blodet fra hjernens dybe vener samler sig i vena magna cerebri, der kommer frem på undersiden af corpus callosum og går over i sinus rectus. Sinus transversus løber lateralt i den tilhæftede kant af tentorium cerebelli svarende til overkant af fjeldbenet og bøjer derefter som sinus sigmoidea nedad til den bageste del af foramen jugulare, hvor den fortsætter i v. jugularis interna.

En af sinusser på basis af hjernen, sinus cavernosus, ligger ved siden af hypofysen og synsnervekrydsningen. Blodet fra hypofysen tømmes i sinus cavernosus og fortsætter bagover i sinus petrosus inferior, der løber til den forreste del af foramen jugulare eller tømmer sig i v. jugularis interna.

BLODHJERNEBARRIERE

CNS udøver en effektiv kontrol, når det gælder passage af småmolekylære stoffer. Stoffer der kan forstyrre nervecellernes eksitabilitet, må holdes ude. Flere faktorer udgør tilsammen blodhjernebarrieren:

- Hjernens kapillærer er væsentlig tættere end kapillærer andet sted i kroppen pga. okkludenskontakter mellem endothelcellerne. Det forhindrer selv de små molekyler i at komme ind. Undtagen er de små fedtopløselige stoffer, der lettere kan komme ind. Astrocytter spiller en stor rolle her. De danner endefødder på endothelcellerne, som er afgørende for at endothelceller udvikler rigelige med okkludenskontakter. Neksusser mellem astrocytter gør at signaler let kan brede sig fra en astrocyt til alle den har kontakt med.
- Der findes små endocytiske vesikler i CNS's endothelceller, der transporterer både små og store molekyler gennem karvæggen.
- Endothelceller er udstyret med ATP-afhængige transportører, P-glykoprotein, i den lumenale del af membranen. Det kan binde mange forskellige lipofile stoffer, og transporterer dem tilbage til blodbanen, inden de når at virke på nervecellerne. Dette passer med at mange lægemidler forhindres i at komme ind i hjernevævet af P-glykoprotein.
- Vandopløselige stoffer som glukose eller aminosyrer optages vha. aktiv transport.
- Der foregår en begrænset receptorformidlet transport af makromolekyler f.eks. vækstfaktorer og cytokiner fra blodbanen ind i CNS. Enkelte steder i hjernen mangler der blodhjernebarrieren f.eks. i eminentia mediana og epifysen, så neuropeptider let kan komme over i blodbanen. Når det gælder area postrema, har nervecellerne forbindelser til kerner, som let kan udløse brækningsreflekser som svar på giftstoffer i blodet. Neuroner i det subfornikale organ registrerer bl.a. blodets saltkoncentration. Derfra formidles informationen videre til hypothalamus, som iværksætter tiltag for at opretholde kroppens væskebalance.

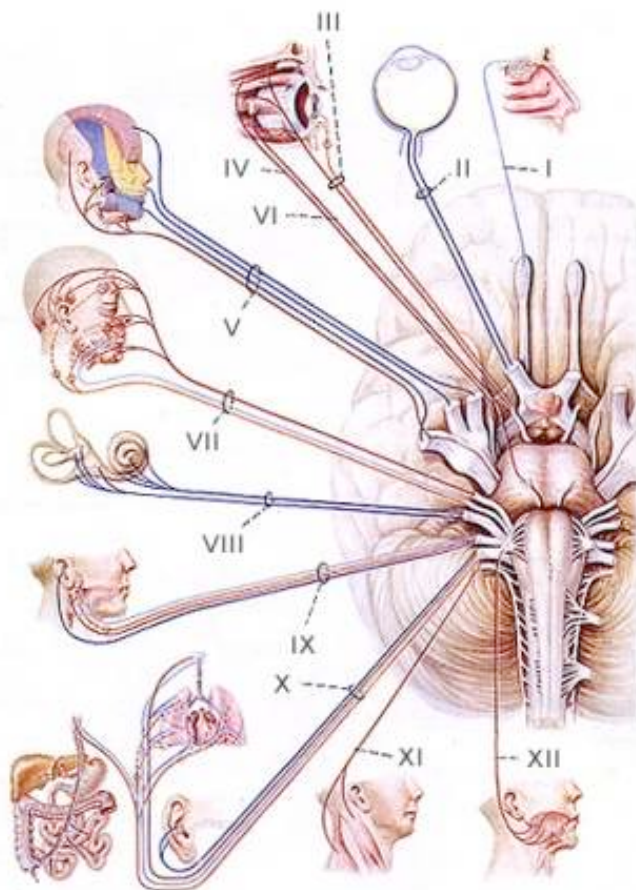
KRANIENERVER

Ved kranienerven forstås de nerver, der udspringer fra hjernen. Der findes 12 parrede kranienerver. Nogle af hjernenerven er ren motoriske, nogle sensoriske og andre blandet. Som spinalnerver indeholder flere af hjernenerven også autonome nervefibre som forsyner kar, kirtler og viscerale organer.

1. N. olfactorius – udspringer fra bulbus olfactorius, som udgøres af små nervetråde, fila olfactoriae, fra neuroepithelceller i lugteslimhinden i næsehulen. De løber op igennem hullerne i lamina cribrosa i os ethmoidale til bulbus olfactorius. Her danner de synapser med store pyramideformede nerveceller, mitralceller, hvis axoner løber videre i tractus olfactorius langs undersiden af frontallapperne til cortex på temporallappernes mediale side, hvor lugtecentret befinder sig, og som er tæt relateret til det limbiske system.
2. N. opticus – udviklingmæssigt er denne nerve en fremskudt udvækst af diencephalon. Den er opbygget af et stort antal nervetråde, ca. 1 million dvs. 30% af samtlige hjernenervefibre. Det lys, der rammer øjet, omsættes til nerveimpulser af receptorceller (stavceller og tappeceller), der er placeret i øjets nethinde, retina. De har kontakt til ganglieceller via bipolarceller, de 1. neuroner, også beliggende i retina. De transporterer impulserne videre til ganglion n. optici, hvor efter synapse sendes trådene bagest i øjet og der dannes n. opticus, som træder ud af kraniet gennem en åbning, foramen opticum, bagest i øjenhulen, orbita. Herefter passerer den gennem canalis opticus, hvor den mødes med den modsidige nerve i et kryds, chiasma opticum, hvor trådene fra den nasale halvdel krydser over på den modsatte side og trådene fra den temporale halvdel fortsætter ukrydset. Trådene fortsætter videre i tractus opticus og de fleste af dem ender i corpus geniculatum laterale, mens enkelte fortsætter direkte til hypothalamus eller colliculus superior. Fra corpus geniculum laterale fortsætter de videre i radiatio optica gennem den bageste del af capsula interna til occipitallappen omkring sulcus calcarinus i area 17, hvor synscenter ligger.
Ved ensidige læsion af nerven medfører det ipsilateral blindhed, dvs. på den samme side. Ved skade på chiasma opticum medfører det bitemporal hemianopsi, dvs. patienten ikke kan se den temporale halvdel af synsfeltet, da indtrykkene fra nasale halvdele ikke kommer til bevidstheden. Ved tractus opticus' skade bliver udfaldet anderledes. Hvis skaden sidder på højre side, ser patienten ikke noget i venstre halvdel af synsfeltet – venstresidige homonym hemianopsi.
3. N. oculomotorius – er øjets vigtigste bevægenerve. Trådene kommer fra nucleus oculomotorius og nucleus Edinger-Westphal i mesencephalon. Fra kernerne løber trådene ventral forbi og gennem nucleus ruber til sit apperente udspring ved overkanten af pons i fossa interpeduncularis. Efter forløbet i fossa cranie media træder den ind gennem fissura orbitalis superior, hvor den i annulus tendinus deler sig til ramus superior, der innerverer m. rectus superior og m. levator palpebrae, og ramus inferior til mm. rectus inferior et medialis og m. obliquus inferior. Den sender også tråde til ganglion ciliare, hvorfra afgår nn. ciliares breves til øjeæblet og visceral efferente til m. ciliaris og m. sphincter pupillae. De sympatiske tråde afgår fra ganglion cervikal

superius til øjeæblets kar og m. dilatator pupillae.

Ved skade af nerven drejes øjet nedad og udad da m. obliquus superior og m. rectus lateralis virker alene. Der optræder ptose, dvs. øjenlåget hænger ned. I tillæg fører ødelæggelse af de parasympatiske fibre, så pupillen bliver større end den raske pupil. Lysrefleksen og akkomodationen er borte.



4. N. trochlearis – har sin kerne, nucleus nervi trochlearis, i bunden af mesencephalon lige foran akvedukten, og er som den eneste nerve, som går ud på bagsiden af hjernestammen. Den løber frem i subaraknoidalrummet og perforerer dura i tentorium cerebelli, følger n. oculomotorius i sinus cavernosus og træder ind i orbita gennem fissura orbitalis superior og innoverer m. obliquus superior.

5. N. trigeminus – den trigeminuskerne er beliggende i mesencephalon. Selve nerven udspringer fra lateralsiden af pons, hvor den afgår med en større sensorisk rod og en mindre motorisk rod. Den indeholder somatisk efferente tråde til tyggemusklene og somatisk afferente fibre fra hud og slimhinder og tænder. Den er ansigtets vigtigste sensitive nerve. Den afgiver 3 store grene fra ganglion trigeminale på forfladen af pars petrosa ossis temporalis:

- N. ophthalmicus – deler sig før fissura orbitalis superior til n. lacrimalis der innoverer glandula lacrimalis, sammen med parasympatiske sekretoriske fibre fra n. zygomaticus fra n. maxillaris via ganglion pterygopalatinum. N. frontalis deler sig i n. supraorbitalis til pandehuden op til vertex og n. supratrochlearis til huden over glabella. N. nasociliaris afgiver nn. ciliaris longi, som fører sensoriske tråde til øjeæble inkl. cornea, og n. ethmoidalis, der innoverer sibenscellerne i fossa cranie anterior. Den ender som n. infratrochlearis til huden på det nedre øjenlåg og ved næseroden.
- N. maxillaris – forlader kraniet gennem foramen rotundum og fortsætter ind i fossa pterygopalatina, hvor den afgiver n. zygomaticus og den passerer videre ind i orbita gennem fissura orbitalis inferior og fortsætter som n. infraorbitalis gennem canalis infraorbitalis og træder ud gennem foramen infraorbitale på ansigtet. N. zygomaticus løber også i fissura orbitalis inferior, hvor den langs lateralvæggen deler sig til 2 mindre grene: ramus zygomaticofacialis og ramus zygomaticotemporalis. Nn. alveolares superiores danner plexus dentalis superioris, hvor rødderne

descenderer og innerverer tænderne og tandkødet i overmund.

- N. mandibularis – forlader kraniet gennem foramen ovale og deler sig i 2 stammer, den bageste sensitive og den forreste motoriske stamme. De motoriske tråde går til tyggemuskler (m. temporalis, m. masseter, mm. pterygoidei samt m. tensor tympani, m. tensor veli palatina, m. mylohyoideus og venter anterior m. digastrici). De få sensitive tråde fra den forreste stamme samler sig i en enkel nerve, n. buccalis, der innerverer slimhinden i m. buccinator (m. buccinator innerveres af n. facialis). Fra den bageste stamme afgår der n. auriculotemporalis, der innerverer den midtste del af tindingeregionen og indeholder parasympatiske sekretoriske fibre fra glossopharyngeus (n. petrosus minor) via ganglion oticum til glandula parotidea. N. alveolaris inferior ligger først sammen med n. lingualis medialt for m. pterygoideus lateralis og passerer gennem pterygoideointerstitet ud i regio infratemporalis og løber gennem foramen mandibulare ind i canalis mandibulae. Inden foramen mandibulare afgiver den motoriske grene til mylohyoideus. Den forsyner undermundstænder og tandkød gennem plexus dentalis inferior og ender som n. mentalis i huden over hagen og underlæber. N. lingualis innerverer den forreste del af tungen og mundhulens små spytkirtler. Den modtager chorda tympani fra n. facialis hvorfra parasympatiske sekretoriske fibre overføres via ganglion submandibulare til glandula submandibularis og glandula sublingualis.

6. N. abducens – nucleus n. abducentis ligger i midtlinjen i pons i gulvet af 4. ventrikel. Den træder frem ved underkanten af pons. Den løber langs clivus mod sinus cavernosus, medialt for n. oculomotorius og n. trochlearis og træder ind i orbita gennem fissura orbitalis superior indenfor annulus tendineus communis og løber lateralt frem til m. rectus lateralis og innerverer den.

Ved abducenslammelse kan øjet ikke drejes helt lateralt.

7. N. facialis – den kommer af 3 kerner: nucleus n. facialis, nucleus salvatorius superior og nucleus solitarius. Den træder frem ved overgangen mellem pons og medulla oblongata lateralt for udspringet af n. abducens ved den cerebellopontine vinkel. Herfra passerer den meatus acusticus internus og i canalis facialis mod hiatus canalis nervi petrosi majoris, hvor n. petrosus major afgives til tåresekretion. Herefter løber n. facialis lidt bagud, hvor geniculum n. facialis dannes og løber videre i 2. stykke af canalis facialis. Ved canalis facialis' 3. stykke svarende til mellemørets bagvæg afgives chorda tympani (smagssans) og n. stapedius (m. stapedius til stapediusrefleks). N. facialis forlader kraniet via foramen stylomastoideum og innerverer ansigtets mimiske muskulatur. Herudover innerverer facialisfibre venter posterior m. digastrici, platysma og m. stylohyoideus. Nervens parasympatiske tråde overføres til ganglion submandibulare, hvorfra postganglionære tråde via n. lingualis fortsætter til glandula submandibularis og sublingualis samt de små spytkirtler i kinder, læber, mundbund og tunge.

8. N. vestibulocochlearis – kernerne er beliggende i den dorsale del af pons og medulla oblongata. Den træder frem ved underkanten af pons lige lateralt for n. facialis. Herfra løber den sammen med n. facialis gennem

cisterna cerebellopontine i fossa crani posterior ind i meatus acusticus internus, hvor n. cochlearis innerverer sansecellerne i det indre øre. Impulserne løber derfra i hørebanerne lateralt og ender i nuclei cochlearis ventralis et posterior. Banen undergår krydsning for at fortsætte i lemniscus lateralis. Lemniscus lateralis løber op til colliculus inferior med de fleste fibre, mens de resterende ender i geniculatum mediale og videre til høre cortex cerebri (der er ingen direkte bane til cortex). N. vestibularis ender i nuclei vestibulares, der ligger i forsiden af bunden af 4. ventrikel og forbindelser til medulla spinalis, øjnene via fasciculus longitudinalis medialis og cerebellum. Der er 2 baner til medulla spinalis:

- Tractus vestibulospinalis lateralis – fra lateral kerne til medulla spinalis i alle niveauer. Den ender medialt for forhornet. Dens funktion er kontraktion af ekstensorer, som modvirker tyngdekraften.
- Tractus vestibulospinalis medialis – fra medial kerne til cervikale og øvre thorakale segmenter. Den løber i forstrengen. Dens funktion er at lave refleksbevægelser af hovedet som svar på vestibulære stimuli.

9. N. glossopharyngeus – nerven har sin oprindelse i nucleus ambiguus, der ligger i medulla oblongata bag ved oliva inferior; nucleus salvatorius inferior, der ligger i retikulærsubstansen og nucleus solitarius. Nervens træder frem i den øverste del af medulla oblongata svarende til sulcus retroolivaris, og løber sammen med n. vagus og n. accessorius igennem kraniet via foramen jugulare i en fælles duraskede. Den er forsynet med 2 små ganglier, ganglion superius, der ligger i foramen jugulare og ganglion petrosus lige under foramen jugulare. Helt oppe efter foramen jugulare efter duraperforation afgiver ganglion petrosus n. tympanicus, der løber til trommehulen gennem canaliculus tympanicus, hvor den på promotoriet sammen med sympatiske tråde fra plexus caroticus danner plexus tympanicus. Den forlader atter plexus gennem et hul på pars petrosus som n. petrosus minor. Den løber gennem fissura sphenopetrosa og ender i det parasympatiske ganglion oticum, hvor der føres præganglionære parasympatiske tråde og postganglionære sekretoriske tråde løber til gl. parotidea gennem n. auriculotemporalis fra trigeminusgrenet. Der afgives også en anden gren lige efter n. tympanicus, der fører visceral-afferente fibre fra væggen af sinus caroticus af a. carotis interna. Dette er mekanoreceptorer som reagerer på stræk af årevæggen. De kaldes for baroreceptorer. Signalerne ledes til nucleus solitarius, og derfra kobles de over til den motoriske vaguskerne. Nervens afgiver grene til plexus pharyngeus og en muskulær gren til m. stylopharyngeus. Den afgiver også en sensitiv gren til tonsilla palatina og fauces.

10. N. vagus – den træder frem ved sulcus retroolivaris lige under afgang af n. glossopharyngeus. Den forlader kraniet gennem foramen jugulare mellem n. glossopharyngeus og v. jugulare interna. Den ligger i en fælles duraskede med n. accessorius. Nervens er i sit forløb forsynet med 2 ganglier med pseudounipolære nerveceller, hvoraf ganglion jugulare (superius) er lille og modtager de somatisk afferente fibre, ramus auricularis, og ganglion nodosum (inferius) er tenformet og indeholder viscerale afferente fibre fra indvoldsorganer og danner tractus solitarius til nucleus solitarius. Den har forbindelse til retikulærsubstansen og hypothalamus. Efter foramen jugulare afgiver den n. laryngeus recurrens, der løber forskellige på de to

sider: den afgår i højde med aortabuen på venstre side og a. subclavia på højre. Den bøjer sig herefter bag disse kar og løber op mellem spiserøret og luftrøret for at gå ind i strubehovedet. Den innerverer alle larynx tværstribede muskulatur. Ved læsion medfører det hæshed. Som fingerregel hæmmer n. vagus alle innerverede organer over mellemgulvet, mens den stimulerer alle under mellemgulvet.

11. N. accessorius – nerven udspringer fra samme sted som n. vagus og derfor også kaldes vagus hjælpenerve. Den udspringer med en kranial rod og en spinal rod. Den spinale rod udspringer fra sidestrengen af de 5-6 øverste cervicale rygmarssegmenter langs en vertikal linie midt imellem ventrale og dorsale rødder. Den kraniale rod afgår fra medulla oblongata med 3-6 fila radicularia i serie med rodtrådene til n. vagus. Rødderne samler sig og forener med den ascenderende spinalrod, der løber op gennem foramen magnum. Efter passagen gennem foramen jugulare i fælles duraskede med n. vagus og n. glossopharyngeus, skiller trådene i den kraniale rod sig igen og slår sig som ramus internus over på n. vagus ud for ganglion inferius. Den fortsætter som ramus externus nedad og bagud og innerverer m. sternocleidomastoideus. Den går på indersiden af m. sternocleidomastoideus og videre overfladisk gennem regio colli lateralis før den munder ind i m. trapezius.

Ved skaden på den laterale halstrekanal kan m. trapezius blive lammet. Patienten vil have det svært ved at tage armen over skulderen.

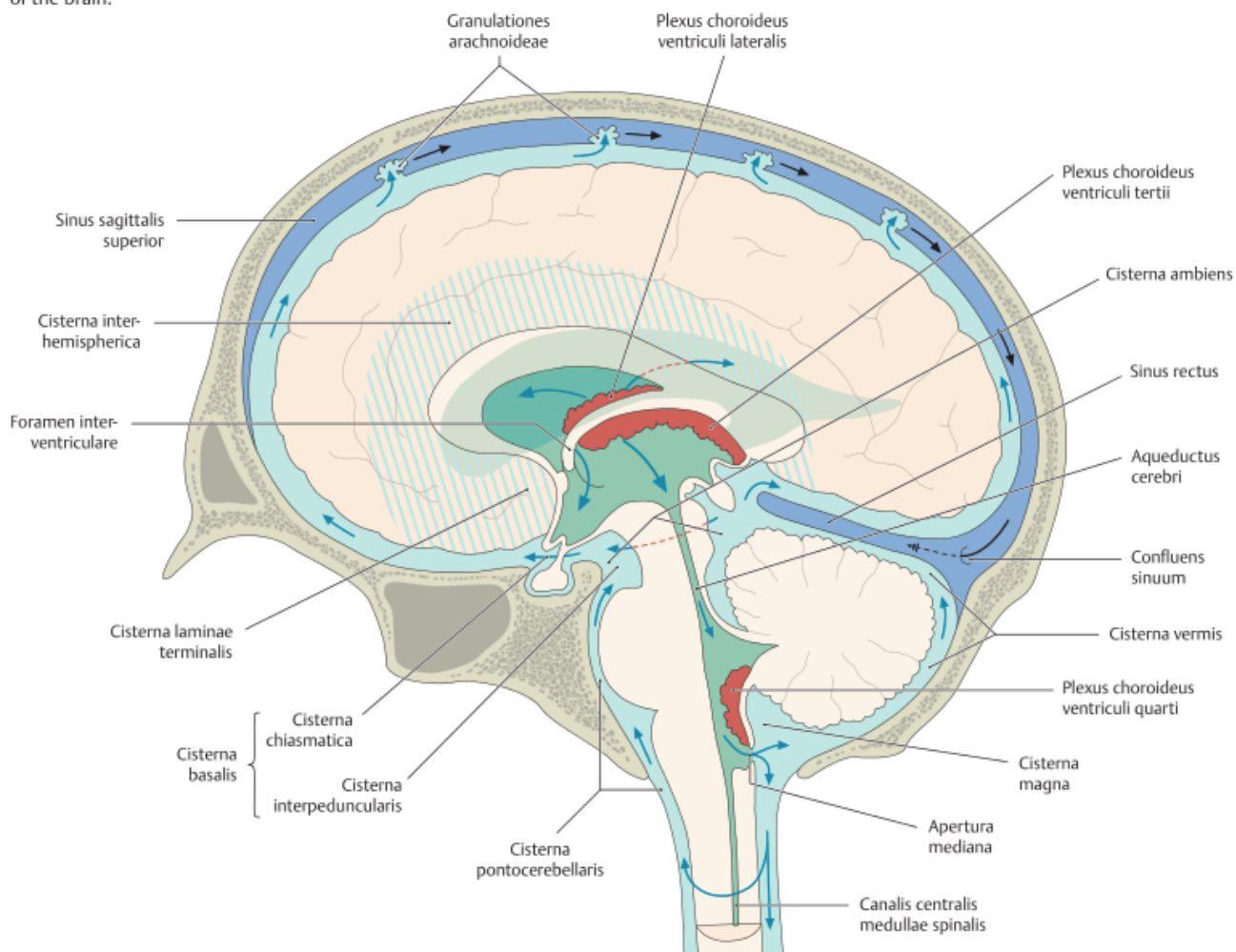
12. N. hypoglossus – nerven forsyner den tværstribede muskulatur i tungen. Hypoglossuskernen ligger medalt i medulla oblongata. Fibrene passerer mellem oliva inferior og pyramidebanen og træder ud som 10-15 fila radicularia mellem pyramiden og oliva. De forskellige bundter samler sig til en nerve, og træder ud af skallen gennem canalis hypoglossi i baghovedet. Den ligger efter canalis hypoglossi superficielt for aa. carotis externa et interna. Herefter i spatium lateropharyngeum ligger den medalt for v. jugularis interna, a. carotis interna og n. vagus. Bagefter snor den sig rundt om n. vagus og kommer til at ligge lateralt for begge carotider. Den løber ind i sprække mellem mylohyoideus og hyoglossus og splitter sig op i grene og innerverer m. genioglossus, m. hyoglossus og m. styloglossus.

Ved central skade vil man se parese af tungen på den modsatte side, ofte sammen med hemiplegi. Hvis der er samsidig atrofi af muskulaturen og tungedeviation mod den syge side, er man sikker på at skaden ligger perifert. Atrofi af muskulaturen vil gøre overfladen rynket.

VENTRIKELSYSTEMET OG CEREBROSPINALVÆSKEN

Fig. 39.29 Circulation of liquor cerebrospinalis (cerebrospinal fluid, CSF)

The brain and spinal cord are suspended in CSF. Produced in plexus choroideus, CSF occupies the spatium subarachnoideum and ventriculi of the brain.



Ventrikelsystemet består af 4 ventrikler:

- 2 lateralventrikler i de cerebrale hemisfærer
- En 3. ventrikel i diencephalon
- En 4. ventrikel i pons og medulla oblongata

Et foramen interventriculare (Monroi) forbinder hver lateralventrikel med den 3. ventrikel. Aqueductus cerebri forbinder den 3. ventrikel med den 4. ventrikel. Lateralventriklerne har et central parti i parietallappen med udløbere til de andre lapper: et frontalhorn, et occipitalhorn og et temporalhorn. Midterpartiet af ventriklerne ligger over thalamus. Frontalhornet er den største og begrænses medialt af septum pellucidum mens hovedet af nucleus caudatus fra basalganglierne bøjer sig ind fra lateralsiden.

Fra indersiden af loftet af lateralventriklerne dannes årefletninger, plexus choroideus, der producerer cerebrospinalvæsken. Plexus choroideus findes i alle ventrikler, især i lateralventriklerne. Fletninger dannes ved at pia mater er vokset sig ind fra de tynde dele af neuralrøret tidligt i fosterudviklingen. Der dannes totter bestående af rigelige løst bindevæv og fenestrerede kapillærer. Mellem totterne er der okkludenskontakter. Overfladen er dækket af kubisk epithel, som hænger sammen med lag af ependymceller, der beklæder indersiden af ventriklerne. Overfladen af epithel er beklædt med mikrovilli, der øger deres overflade. Epithelet i plexus choroideus repræsenterer en barriere for mange stoffer som findes i blodet. Dette kaldes en blodcerebrospinalvæskebarriere. Ependymet er frit permeabelt for vand og stoffer fra nervevævet, derfor kan man gå ud fra, at cerebrospinalvæskens sammensætning svarer til miljøet omkring neuronerne.

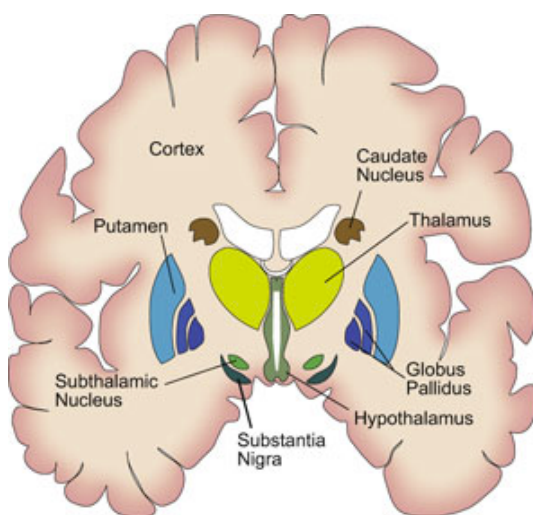
Cerebrospinalvæsken dannes ved, at det hydrostatiske tryk i kapillærerne presser væske med opløste stoffer ud i bindevævet i totterne. Transport af vandet sker ved en aktiv proces, hvor Na-ioner pumpes gennem epithelet i bytte med K-ioner fra cerebrospinalvæsken. Pumpningen af Na skaber en osmotisk gradient, så vandet gennem epithelet diffunderer ud i ventriklerne. Cerebrospinalvæsken indeholder omkring samme koncentration af Na og K som i blodet. Glukosekoncentration er omkring 2/3 af blodet og proteinkoncentration er 0,5% af plasmaet.

Der dannes omkring 0,5 liter cerebrospinalvæske pr. dag, mens det samlede volumen i ventriklerne og subaraknoidalrummet er 130-140 ml. I ventriklerne er der 25 ml og i rygmarven ca. 75 ml. Efter dannelsen i sideventriklerne, kommer den over i den 3. ventrikel gennem foramen monroi. Derfra går strømmen videre gennem den trange akvedukten til den 4. ventrikel. Undervejs kommer der bidrag af væske fra plexus choroideus fra den 3. og 4. ventrikel. Væsken kommer ud i subaraknoidalummet gennem foramen Magendie og bilateralt foramen Luschka i den 4. ventrikel. Størstedel af væsken går herfra over i subaraknoidale cisterner og videre til hjernens venesinusser via granulationes arachnoideae.

Cerebrospinalvæsken har en beskyttende virkning på hjernen. Et stød mod kraniet afdæmpes på den måde, da hjernen nærmest flyder i den.

BASALGANGLIERNE

Basalganglierne deltager i det motoriske system. Men i modsætning til de motoriske baner medfører basalganglierne ikke lammelser, men medfører bevægelsesforstyrrelser og ændringer i hviletonus. Basalganglierne modtager information fra cerebral cortex og thalamus, hvor den bearbejdes inden svarene sendes tilbage. Basalganglierne er vigtige for etablering af bevægelsesvaner dvs. læring af automatiske og rutineprægede bevægelsesmønstre. De er således vigtige i planlægning og initiering af bevægelser. Basalganglier medvirker også til kognitive funktioner, hvor dele af dem bidrager til kontrol af motivation og emotionel betinget adfærd.



Basalganglierne ligger dybt i telencephalon og har nær relation til capsula interna og thalamus. Basalganglierne udgøres af nucleus caudatus, putamen og globus pallidus, hvor de sidste 2 tilsammen benævnes nucleus lentiformis. Putamen og nucleus caudatus tilsammen kaldes striatum, og ventralt er de sammenhængende og danner nucleus accumbens og indgår i det limbiske system. Nucleus pallidus inddeles i lateralt globus pallidus pars externa og en medial globus pallidus pars interna. På et funktionelt niveau inkluderes også substantia nigra og nucleus subthalamicus i basalganglierne pga. deres vigtige forbindelser. Nucleus lentiformis ligger lateralt for capsula interna, og medalt for ligger nucleus caudatus med sit hoved (caput) og strækker sig langs i væggen af sideventriklerne med sin hale (cauda), og ender i tæt relation til amygdala.

Substantia nigra er beliggende i den rostrale del af mesencephalon bagved crus cerebri og deles i en dorsal pars compacta indeholdende nerveceller der bruger dopamin, og en ventral pars reticularis indeholdende dendritter fra pars compacta samt celler, der bruger GABA. Nucleus subthalamicus ligger overgang mellem diencephalon og mesencephalon medalt for capsula interna.

Afferente fibre kommer fra cerebri cortex (den største del), nuclei intralaminare thalami og substantia nigra pars compacta og kommer ind i basalganglierne via striatum. Fra striatum sender GABAerge inhibitoriske nerveceller impulser videre til globus pallidus og substantia nigra pars reticularis via 2 baner: den direkte baner fra striatum til globus pallidus pars interna og substantia nigra pars interna, og den indirekte bane, som først går fra striatum til globus pallidus pars externa til nucleus subthalamicus inden den når til globus pallidus pars interna og substantia nigra pars reticularis. Efferente fibre fra pallidus pars interna afgår herfra via 2 fiberbundter benævnt fasciculus lenticularis og ansa lenticularis til hhv. thalamus motoriske kerner (nucleus ventralis anterior (VA) og nucleus ventrales laterales (VL)), hvorfra sendes fibre videre til motorisk hjernebarken, som virker eksitatorisk. Efferente fibre fra substantia nigra pars reticularis går til motoriske centre i hjernestammen.

De mest udtalte symptomer ved skader i basalganglierne er motoriske. Karakteristisk ved skaderne er et symptombillede som enten skyldes tab af aktivitet eller abnormt øget aktivitet. Bevægelserne er vanskelige at starte, akinesi (Parkinsons sygdom), og når de først starter, foregår de langsommere end normalt, bradykinesi. Det er også hypokinesi, dvs. påfaldende få spontane bevægelser. Der kan også være mere eller mindre udtalte ufrivillige bevægelser, dyskinesi f.eks. hemiballisme.

Man grovinddeler sygdomme i 2 grupper:

- Sygdomme der er karakteriseret ved akinesi og rigiditet f.eks. Parkinsons sygdom. Har sammenhæng med manglende dopamin i basalganglierne.
- Sygdomme der er karakteriseret af dyskinesi f.eks. Huntingens chorea. Er præget af dopaminerge overaktivitet.

Parkinsons sygdom

Opstår hos mange ældre, som regel over 60 år, uden kendt årsag. Familiære former findes. Skyldes en degeneration af dopaminerge neuroner i substantia nigra medførende mangel på dopamin i striatum, som har vigtige (hæmmende) forbindelser til de basale hjernekerne.

Klinisk diagnose stilles hvis der er 2 af 3 symptomer tilstede:

1. Hviletremor (rystelser tilstede ved hvile)
2. Hypokinesi
 - Akinesi (manglende evne til at starte bevægelser)
 - Bradykinesi (langsomme bevægelser)
3. Rigiditet (øget muskeltonus men ikke øgede reflekser, blyrør, tandhjul)

Sygdommen begynder med hviletremor i hænder og fødder, senere opstår rigiditet som er en sej vedvarende modstand mod passive bevægelser, gangen bliver slæbende og motorikken nedsættes. I de senere stadier optræder massiv intellektuel reduktion (demens).

Ved indgift af DOPA kan symptomerne reduceres for en tid. Af kirurgisk behandling kan der nævnes Deep brain stimulation, hvor der indsættes elektroder i nucleus subthalamicus.

Huntingtons chorea

Denne lidelse skyldes en sjælden genetisk defekt lokaliseret til kromosom p4. Debuterer i 40-50-årsalderen. Opstår ved læsioner i striatum og overaktivitet i det dopaminerge system (tab af GABAerge neuroner i striatum). Lidelsen medfører ufrivillige (choreiforme) bevægelser: enkelte muskelgrupper, ofte i serier. Medfører også demens.

Der er ingen behandling.

Hemiballisme

Tilstanden opstår oftest som følge af apopleksia cerebri og medfører tab af nucleus subthalamicus på en side. Medfører voldsomme ufrivillige bevægelser, ofte rotatoriske.

Behandlingen svarer til deep brain stimulation.

DET SOMATOSENSORISKE SYSTEM

Det sensoriske system omfatter de perifere sansereceptorer, som registrerer de forskellige sansemodaliteter såsom smerte, temperatur, berøring osv, og som via perifere sensoriske fibre ledes til de sensoriske kerner i thalamus. Her foregår en lokal integration af de indkommende sanseimpulser, hvorefter de ledes videre til hjernebarken, der er ansvarlig for den bevidste erkendelse og højere bearbejdning af sanseindtrykkene.

Sensoriske signaler kommer til CNS fra alle dele af kroppen og fortæller om forholdene i kroppen og i vores omgivelser. Strukturer, der fanger signaler til CNS, kaldes sanseorganer eller receptorer. Receptorer udgøres enten af endeforgreninger af et axon (i hud, led, muskler, indvolde) eller de dannes af specielle receptorceller (nethinden, det indre øre). Signaler bliver oversat til elektriske impulser og fremkalder receptorpotentialet dvs. der sker en gradvis ændring af membranpotentialet i receptoren. Her sker der også en indstrømning af Na-ioner medfølgende depolariseringen.

Den type stimulus, som receptoren reagerer lettest på, kaldes receptorens adækvat stimulus. Receptoren er specifik mht. hvad den informerer om. Den kan dog godt blive stimuleret af andre slags stimuli, men tærsklen er her generelt højere, dvs. tærsklen for inadækvate stimuli er højere end for adækvate.

Der findes følgende former for receptorer:

- Mekanoreceptor – receptorer der reagerer på ændringer i vævet og mekaniske stimuli f.eks. en bevægelse i et led, berøring af huden osv. Der skelnes mellem lavtærskelmekanoreceptorer og højtærskelmekanoreceptor hhv. lav og høj stimulering. F.eks. nocireceptorer i huden er højtærskelmekanoreceptorer. Lavtærskelmekanoreceptorer er mange af; fra frie nervefibre til fibre omgivet af en kraftig bindevævskapsel. Der er 4 typer af lavtærskelmekanoreceptorer i huden som formidler de forskellige variationer af berøring og tryksans. De er specielt udviklet i hårløs hud. To af receptorerne, merkelskiverne (findes særligt i de distale delene af ekstremiteterne, læberne og de ydre genitalier) og ruffinilegerner er langsom adapterende og antages for at informere om hhv. tryk og stræk. De to andre, meissnerlegemer og pacinilegemer (findes i krøsene, i karrene, omkring led, muskler og hinder; i huden findes de i overgang mellem læderhud og underhud), er hurtige adapterende og informerer om når en stimulus begynder og slutter, dvs. forandringer. Disse receptorer er nødvendige for at kunne bedømme bevægelser af objekter mod huden og friktion mellem ting og huden.
- Kemoreceptor – receptorer, der reagerer på bestemte kemiske stoffer i væsken f.eks. smags- og lugtereceptorer. De reagerer også på stoffer, der dannes ved celledød og betændelse. Nocireceptorer, der formidler smerter, er også kemoreceptorer.
- Nocireceptor – giver oplevelse af smerter. Nocireceptorer er frie nerveender. Der er 2 typer: den ene type der reagerer på stærkt stimuli f.eks. ved stræk, skæring osv (højtærskelmekanoreceptorer), og den anden type er den tavse hvor der er en vedvarende intens mekanisk stimulering f.eks. ved varme eller udskillelse af kemiske stoffer (sygdom), der over tid fører til celledød. Mange stoffer kan aktivere nocireceptorer

f.eks. ATP kan aktivere nociceptorer ved binding til purinoceptorer. ATP findes normalt ikke ekstracellulært og derfor er det et sikkert tegn på celledød. Andre betændelsesformidlere som prostaglandiner, histamin, serotonin, substans P og adenosin kan bidrage til at aktivere nociceptorer. H-ioner (pH <6) er også en effektiv stimulus. En karakteristisk egenskab ved nociceptorer er, at deres følsomhed øges ved vedvarende stimulering og er det modsatte af adaptation. Dette fænomen kaldes sensibilisering og skyldes bl.a. opreguleringen af spændingsstyrede Na-kanaler, som udtrykkes i sensoriske neuroner. Vævet er ekstra følsomt for smerter ved let berøring kaldes allodyn. En unormal stærk smerteoplevelse i forhold til en svag styrke kaldes hyperalgesi.

- Fotoreceptor – receptorer, der reagerer på lyset (elektromagnetiske bølger)
- Termoreceptor – receptorer, der reagerer på opvarmning eller afkøling af vævet, de ligger i. De har frie endeforgreninger. Der er af 2 typer: kuldereceptorer, der reagerer på temperatur <32°C, og varmereceptorer, der reagerer på temperatur op til 45°C. Højere temperatur opfattes som smertefuld fordi nociceptorerne aktiveres ved at åbne Ca-kanal. En forandring i hudtemperaturen på 0,2°C er nok til at fremkalde en tydelig forandring i impulsfrekvensen fra termoreceptorerne. Termoreceptorernes information gør det muligt at tilpasse sig omgivelserne for at holde kropstemperaturen konstant. Signalerne fra kuldereceptorer ledes til CNS gennem tynde myeliniserede axoner (A δ -fibre) mens umyeliniseret (C-fibre) ledes fra varmereceptorerne.
- Eksteroceptor – impulser der kommer udefra, fra miljøet. Receptorerne sidder i huden og opfanger stimuli om de forskellige tilstande udefra (temperatur, berøring mm.)
- Proprioceptor – stimuli, der kommer indefra kroppen f.eks. fra muskler, sener, led og bindevæv. Det findes rigelige med frie nerveforgreninger fra tynde myeliniseret og umyeliniseret og tykke myeliniseret axoner både i musklerne og i bindevæv i tilslutning til muskler og led. I huden er der mange af disse som nociceptorer. Funktionelt er de lavtærskelmekanoreceptorer. Deres stimulus er stræk i vævet, de ligger i.
- Enteroceptor – stimuli, der kommer fra indvoldene f.eks. lunger, tarme, blæren mm.

Der er 2 hovedveje for ledning af den somatosensoriske information, som gennemgås hver for sig. Impulser for tryk og berøringen ledes via de tykkeste fibre A α og β , der ligger medialt i medulla spinalis, mens de tyndeste A δ og C, der leder smerte og temperaturimpulser og ligger mere lateralt.

A α og β (lavtærskelmekanoreceptorer) (tryk, berøring, vibration, ledessans) har sin første neuron liggende i ganglion spinale i den dorsale rod i spinalnerven. De løber ind i medulla spinalis gennem sulcus lateralis dorsalis. Herfra lægger de sig i funiculus dorsalis. I takt med at man kommer proximalt, deler funiculus dorsalis i 2 afsnit: funiculus gracilis som ligger medialt i funiculus dorsalis og funiculus cuneatus som ligger lidt mere lateralt i funiculus dorsalis. Her ligger cellelegemerne for 2. neuron. Her sker en synaptisk omkobling med de sekundære sensoriske neuroner. Axonerne følger herfra en sensorisk bane, lemniscus medialis. Der bruges glutamat som neurotransmitter. I pons modtager lemniscus medialis tilskud fra kontralaterale trigeminuskerne. Ved medulla oblongata krydser de midtlinjen og danner herved decussatio lemnisci medialis. Herefter

ascenderer disse fibre op igennem hjernestammen for at ende i nucleus ventralis posterolateralis (VPL) thalami. Fibre fra trigeminuskernen afbrydes i nucleus ventralis posteromedialis. Herfra går axonerne fra 3. neuron gennem crus cerebri i mesencephalon og capsula interna i storhjernen til cerebri cortex, det primære somatosensorisk cortex SI, i gyrus postcentralis samt til et kortikalt område langs den bageste øvre del af insula og fossa lateralis cerebri, som benævnes sekundær somatosensorisk cortex SII. Denne bane er specielt egnet til at formidle hurtige og præcis information fra huden og bevægeapparatet, også med hensyn til rumlige og tidsmæssige stimuli samt diskriminerende sensibilitet.

Symptomer ved læsion i somatosensorisk cortex er nedsat stillingssans, nedsat vibrationssans og paræstesier og positiv Romberg (faldtendens med lukkede øjne pga. manglende proprioceptive impulser). De motoriske problemer er ofte mere fremtrædende end de rent sensoriske. Der kan være nedsat 2-punkt diskriminerende sensibilitet. Skrivning og knapning foregår med vanskeligheder.

De perifere smerte- og temperaturførende somatosensoriske fibre, A δ og C, ender i rygmargens baghorn (primært lamina I-IV) på samme segmentære niveau som de træder ind i rygmargen. Axoner krydser herfra midtlinien gennem baghornet i medulla spinalis og kommer over i den hvide substans i sideforstrengen på den modsatte side og danner den centrale bane for smerte- og temperatursansen benævnt tractus spinothalamicus. Herfra ascenderer de op gennem rygmargen og hjernestammen for at ende i nucleus ventralis posterolateralis (VPL) thalami. I medulla oblongata ligger tractus spinothalamicus lateralt lige ventralt for n. trigeminus spinale kerne og bibeholder denne laterale position i pons og mesencephalon, og benævnes derfor også tractus anterolateralis. Andre spinothalamiske fibre ender i de mediale del af thalamus, de intralaminære thalamuskernerne, i nucleus centralis lateralis, CL, og enkelte andre kerner. På vej op til thalamus afgiver mange spinothalamiske fibre kollaterale til kerner i hjernestammen som deltager i den autonome kontrol (cirkulation, respiration) som svar på smertestimuli.

Symptomer ved læsioner er ændret følsomhed overfor grovere tryk og berøring, nedsat smertesans og temperatursans.

Synsimpulser vil via tractus opticus nå corpus geniculatum laterale og herfra via radiatio optica blive videresendt til den primære synsbark, mens høreimpulser via de centrale hørebåner når corpus geniculatum mediale og herfra via radiatio acustica videresendes til auditorisk cortex.

DET MOTORISKE SYSTEM

Det motoriske system innerverer kroppens muskulatur og kirtler.

Det somatomotoriske system udgøres af perifere (nedre) og centrale (øvre) motorneuroner. De perifere motorneuroner har deres cellelegemer i rygmarvens forhorn og hjernestammens somatomotoriske kerner og afgiver myelinerede axonale udløbere (primært store A-fibre) og forlader rygmarvens ventrale overflade som fila radicularia, der ved sammenløb danner spinalnervens forreste rod radix anterior. Disse fibre fortsætter uafbrudt igennem spinalnerven og innerverer kroppens tværstribede muskulatur via specialiserede kontaktpunkter (motoriske endeplader). Aktiviteten i de perifere motorneuroner reguleres af de centrale motorneuroner via de centrale descenderende motoriske baner udgående fra den motoriske hjernebark og kerneområder i hjernestammen. Viljestyrede bevægelser udløses således fra motorisk cortex under indflydelse af basalganglierne og cerebellum, der medvirker til planlægning og koordination af bevægelserne ved ultimativt at påvirke aktiviteten i den motoriske hjernebark via thalamus' motoriske kerner (VA-VL).

Pyramidebanen, tractus pyramidalis, er den vigtigste bane idet den knytter den motoriske hjernebark sammen med de perifere motorneuroner i hjernestammen (via kortikonukleære fibre) og rygmarven (via kortikospinale fibre) og hermed muliggør bevidste, viljestyrede bevægelser. Der er ca. 1 mill. fibre i pyramidebanen. Fra hjernebarken løber de afgivne nervefibre mod capsula interna, hvor de lægger sig somatotopisk ordnet i det bageste ben (crus posterius), således at fibre til ansigtet (de kortikonukleære fibre til hjernestammens somatomotoriske kerner) ligger anteriort for de kortikospinale fibre til over- og underekstremiteter. Fibrene følger capsula interna ned i mesencephalons crus cerebri, dernæst gennem pons, hvor de ligger meget spredt mellem nuclei pontis og de mange ledningsbaner fra cortex cerebri til cerebellum. Nederst i pons samles banerne atter for i den øverste åbne del af medulla oblongata for at danne fremspringet pyramis helt ventralt. I den nederste lukkede del af medulla oblongata krydser de midtlinjen og danner herved decussatio pyramidum. De krydsede kortikospinale fibre (~80%) fortsætter i rygmarvens funiculus lateralis som tractus corticospinalis lateralis, hvor de fleste ender i laminae VII, VIII og IX og virker på α -motoneuroner i forhornet eller indirekte via interneuroner enten med eksitatorisk eller inhibitorisk virkning (den sidste kan fremkalde resibrok inhibition ved mange voluntære bevægelser). Disse innerverer ekstremiteter og har dermed betydning for finmotorikken. De ukrydsede kortikospinale fibre (~20%) fortsætter som tractus corticospinalis medialis ned i funiculus anterior. Tractus corticospinalis anterior ligger mediant i rygmarvens funiculus anterior og innerverer den posturale/aksiale muskulatur og dermed har betydning for grovmotorikken.

Fibre som innerverer aksiale muskler (ryg, hals, bug- og bækkenmuskler) ligger helt mediant i forhornet, mens de som innerverer muskler i ekstremiteterne ligger længere lateralt. Dette forklarer at forhornet er bredere i de segmenter af rygmarven som innerverer ekstremiteterne dvs. C5-T1 og L1-S2.

Retikulospinale fibre stammer fra retikulæresubstansen i pons og medulla oblongata, der sender fibre til

motoneuroner i medulla spinalis. Det område får selv fibre fra motoriske barkområder. Banen fra retikulærsubstansen i pons fibre løber i forstrengen medialt, mens banen fra medulla oblongata løber i forstrengen mere lateralt. De fleste fibre går til nakkemusklerne. Disse baner er særligt vigtigt for at holde sig oprejst, orientering af kroppen og grovere bevægelser af ekstremiteterne.

Den tektospinale bane udgøres af colliculus superior i mesencephalon og kaldes tractus tectospinalis. Banen løber medialt i forstrengen og ender i ventralhornet i cervikalsegmentet, og har derfor betydning for bevægelsen af hovedet og øjnene rettet mod noget (opmærksomhed). Colliculus superior modtager rigeligt med fibre fra synsbarken og den sender også fibre til via præmotoriske netværk i retikulærsubstansen til motoneuronerne, som styrer øjnenes bevægelser.

De vestibulospinale baner udgøres af fibre fra ligevægtsapparat, som ender i vestibulariskernerne i pons og medulla oblongata. Der findes 2 baner, den laterale og den mediale. Den laterale bane, laterale vestibulospinale bane, forløber i forstrengen af alle niveauer af rygmærven og ender på forhornet, delvis monosynaptisk på α - og γ -motoneuroner. De innerverer især ekstensormusklerne. Den overordnede funktion er at modvirke tyngdekraften og opretholde balancen. Den mediale bane når til cervikalsegmenterne og de øverste thorakalsegmenter og har betydning for at formidle refleksbevægelser af hovedet som svar på vestibulære signaler. Mange neuroner er her inhibitoriske og bruger glysin som neurotransmitter. De modtager kun få fibre fra cortex og er derfor for det meste uafhængige af cortex.

De rubrospinal baner udgøres af fibre fra den røde kerne i mesencephalon, som går til oliva inferior, som sender sine efferente fibre til den modsatte del af cerebellum (den øvre del af mesencephalon modtager selv de fleste af sine afferente fibre fra nucleus dentatus i cerebellum). De efferente fibre fra cerebellum virker videre på motorisk cortex via thalamus. Det er derfor sandsynligt at nucleus ruber påvirker først og fremmest motorik gennem sit samspil med cerebellum og motorisk cortex.

En motorisk enhed udgøres af et enkelt motorneuron og alle de muskelfibre, som innerveres heraf. Det er den mindste funktionel enhed i det motoriske system. Her sker der signaloverføring fra nerve til muskel, neuromuskulær transmission og medfører en kortvarig kontraktion af cellen varende $\sim 1/10$ sek. Acetylcholin er neurotransmitteren.

En refleks er en reaktion på en stimulus formidlet af nervesystemet og optræder uafhængigt af viljen. Reflekser med reflekscentrum i rygmærven kaldes spinale reflekser. Hjernestammereflekser har reflekscentrum i medulla oblongata, pons eller mesencephalon, mens kortikale reflekser har en refleksbue som går via hjernebarken. Nogen reflekser er enkle, mens andre samarbejder mellem flere muskelgrupper og kan være langt mere kompliceret. En refleksbue består af følgende dele:

- En receptor registrerer en stimulus og oversætter den til et aktionspotentiale

-
- Et afferent led leder signalerne ind til CNS
 - Et reflekscenter, hvor stimulus evt. kobles med de andre stimuli og sendes videre til det efferent led, enten hæmning eller forstærkning
 - Et efferent led leder signalerne til det organ, som giver respons (skeletmuskulatur, hjertemuskulatur, glatte muskulatur, kirtelceller)

Ved ødelæggelse af motorisk cortex eller pyramidebanen på lavere niveau vil de nedadstigende fibre være beskadiget. Dermed vil der være nedsat inhibition af gamma-efferenter. Dette vil medføre øget kontraktion af muskelspolerne pga. øget følsomhed overfor stræk. Symptomerne vil være spastisk lammelse, øget muskeltonus og hyperrefleksi.

Skader i de øvre motoneuromer	Skader i de nedre motoneuroner
• Ingen atrofi af muskulaturen • Spastisk lammelse • Hyperrefleksi • Spasmer • Øget hviletonus • Fodklonus • Positiv babinski tegn	• Atrofi af muskulaturen • Slap lammelse • Bortfald af reflekser • Nedsat hviletonus

DET AUTONOME NERVESYSTEM

Det autonome nervesystem består af 2 hoveddele:

- Det sympatiske nervesystem
- Det parasympatiske nervesystem

Det sympatiske nervesystem aktiveres ved stress og fysisk krævende situationer og det medfører, at kroppen bedre er i stand til at udføre kraftpræstationer på kort sigt. I situationer med angst og raseri ser man øget sympatikus som forhøjet blodtryk, hurtig puls og pupildilatation. En lille muskel, m. tarsalis, i det øvre øjenlåg, som er også innervet af sympatikus, der hjælper med at holde øjenlåget åbent. Binyrerne stimuleres til at frigøre mere adrenalin, der har virkninger på hjertet og luftvejene. Tarmkanalens aktivitet nedsættes. Der er øget koncentration af glukose og fedtsyrer i blodet efter adrenalins stimulation. Blodkarrene i hud og bugorganer forsnævres. Ved behov for varmetab ses der øget aktivitet i fibre til svedkirtler og reduceret aktivitet i fibre til karrene.

Parasympatikus kontrollerer først og fremmest funktioner, som er væsentlige for organismens opretholdelse og trivsel på længere sigt. Det virker fremmende på fordøjelsesprocesserne, sikrer udskillelse af affaldsprodukter ved tømning af blære og endetarm, beskytter øjet mod stærkt lys, dæmper hjertets aktivitet, reducerer luftvejenes diameter og øger sekretionen i luftvejene.

Den perifere del af sympatiske og parasympatiske systemer har fællestræk i opbygningen. I modsætning til de somatisk-efferente fibre som går ubrudt til organerne de forsyner, afbrydes de visceral-efferente fibre i autonome ganglier. Neuroner, der sender axoner til gangliet, kaldes præganglionære og ligger i rygmarven og hjernestammen, mens gangliecellerne og deres axoner kaldes postganglionære.

De to systemer adskiller sig fra hinanden på flere måder. De primære sympatiske neuroners cellelegemer findes i rygmarvens lateralhorn ud for de spinale segmenter T1-L2. Præganglionære neuroner føres til truncus sympathicus, hvor de danner synapse med de postganglionære neuroner. Sympatiske nervefibre (postganglionære) til overekstremiteten, underekstremiteten og kropsvæggen følger med nerverne perifert inkorporeret i disse. De kontrollerer blodkarrenes kontraktion gennem deres innervation af de glatte muskelceller i karvæggen og svedsekretionen gennem deres innervation af hudens svedkirtler. Desuden innerveres hudmuskler knyttet til hårsækkene, m. arrector pili. Aktivisering af musklerne får hårene til at rejse sig, og huden trækkes ind (gåsehud). Sympatiske nervefibre (postganglionære) til hovedet afgår fra ganglion cervicale superius via nerveplekser omkring karrene ind i kraniet. Nervefibrene fordeles herfra via de parasympatiske ganglier ud til de strukturer, som også modtager parasympatisk innervation.

I det parasympatiske system er kernerne beliggende i midthjernen, medulla oblongata eller i den nederste, sakrale del af medulla spinalis. Bortset fra de sakrale grene følger de parasympatiske nervetråde hjernenerver

III, VII, IX og X. Ganglierne ligger tæt ved organet således, at de præganglionære axoner er meget lange, mens de postganglionære er korte. De vigtigste parasympatiske ganglier i kraniet er ganglion ciliare, ganglion pterygopalatinum, ganglion oticum, ganglion submandibulare.

Parasympathicus danner synapse i de parasympatiske ganglier, mens sympathicus går ubrudt igennem.

De sympatiske postganglionære neuroner bruger som hovedregel noradrenalin som neurotransmitter, mens de postganglionære parasympatiske ofte bruger acetylkolin. De præganglionære neuroner i både sympatiske og parasympatiske system bruger acetylkolin.

Så godt som alle dele af kroppen modtager sympatisk innervation, mens de parasympatiske fibre stort set er begrænset til de egentlige indvoldsorganer. Huden og bevægeapparatet modtager ikke parasympatiske fibre. De sympatiske fibre danner nervus cardiacus cervicalis superior, medius og inferior til hjertet. De kommer fra hvert af de 3 halsganglier. I bughulen går fibrene i nervus splanchnicus major og minor. De stammer fra T6-T11-segmenterne og går ubrudt gennem grænsestrengsganglierne. De danner synapserne med postganglionære neuroner i ganglier på forsiden af aorta øverst i bughulen. Den øverste af dem er ganglion coeliacum og de andre ganglion mesentericum superior og inferius. De forsyner mavesækken, pancreas, galdeblæren, tyndtarm og tyktarm.

De parasympatiske præganglionære fibre (viscerale efferente) går fra hjernestammen i nervus oculomotorius, facialis (intermedius), glossopharyngeus og vagus. Disse fibre ender i ganglier, ganglion ciliare, pterygopalatinum, oticum og submandibulare. Derfra går de postganglionære fibre til de forskellige organer: m. sphincter pupillae, m. ciliaris i øjet, tårekirtel og spytkirtlerne. Fibre fra n. vagus ender ikke i ganglier som disse, men ender i postganglionære neuroner enten udenfor eller ind i væggen på organerne. N. vagus indgår i dannelse af plexus cardiacus sammen med postganglionære sympatiske fibre.

I sakraldel ligger de i S2-S4 med en placering på overgang mellem den ventrale og dorsale rod. De forlader også den ventrale rod i spinalnerven og kort efter forlader de spinalnerven igen og går som selvstændige nervegrene, nervi pelvici splanchnici. De indgår i fletninger sammen med de postganglionære parasympatiske fibre, plexus pelvici og innoverer alle de organer der ligger i det lille bækken.

Det enteriske nervesystem udgøres af talrige neuroner, som ligger i væg af tarmkanalen fordelt i 2 nervefletninger og kontrollerer tarmfunktionen. Det arbejder selvstændigt, men integrerer også lokal information fra tarmen med centrale kommandoer gennem postganglionære sympatiske og parasympatiske fibre. Den største af fletning er plexus myentericus, der ligger mellem de 2 ydre lag af glat muskulatur, mens den mindre, plexus submucosus, ligger under slimhinden. I tarmvæggens fletninger findes også interneuroner og sensoriske neuroner. Forskellige neurontyper indeholder forskellige kombinationer af peptider og klassiske transmittere

(acetylcolin, GABA, serotonin, neuropeptider). Eksitatoriske neuroner, som fremkalder kontraktion af tarmens glatte muskulatur, sender sit axon opover i tarmen (mod mundhulen) og sørger for forsnævring af tarmen med en portion med tarmindehold. Sådanne neuroner indeholder typisk acetylcolin og substans P. Inhibitoriske neuroner sender sit axon ned mod anus og hæmmer ringmuskulaturen, så den afslappes forud for tarmindehold som presses nedad. Sådanne neuroner indeholder sandsynligvis enten ATP, VIP eller NO. Neuroner som virker på epithel og kirtelceller og øger transport af vand og elektrolytter, kan indeholde enten acetylcolin eller VIP.

Den sympatiske grænsestreng, truncus sympathicus, er en kæde af sympatiske ganglier indbyrdes forbundet ved nervetråde, som på hver side af hvirvelsøjlen, columna vertebralis, strækker sig fra basis cranii til spidsen af os sacrum. Der er ca. 20 ganglier i alt, hvor 3 af dem findes på halsen, ganglion cervical superior, medium et inferius. De præganglionære sympatiske fibre bøjer sig fra spinalnerven, ramus communicans albus. Pga. sin udstrækning af den intermediolaterale cellesøjlen har kun thorakalnerverne og de 2 øverste lumbalnerverne ramus communicans albus. I gangliet danner nogle af de præganglionære fibre synapser med postganglionære fibre, mens andre går ubrudt igennem eller går opad og ned; den måde kommer de på flere niveauer til de andre grænsestrengsganglier og danner synapser med dem, hvor der postganglionære fibre fortsætter videre i spinalnerven. Det er fordelingen af præganglionære fibre via grænsestrengen til alle ganglier – og derved til alle spinalnerverne – som gør at hele kroppen bliver forsynet med sympatiske fibre. Fra gangliet går en del af de postganglionære fibre tilbage til spinalnerven og danner et fiberbundt, ramus communicans griseus. Det er umyeliniseret og følger spinalnerven ud i alle dens forgreninger. Alle grene af spinalnerven indeholder derfor sympatiske fibre. Andre postganglionære fibre forlader grænsestrengen og går over i større arterier i nærheden og følger dem. Undervejs innoverer de den glatte muskulaturen i arterievæggen. Disse innoverer mindre kar, svedkirtler og glattemuskler omkring hårsækkene.

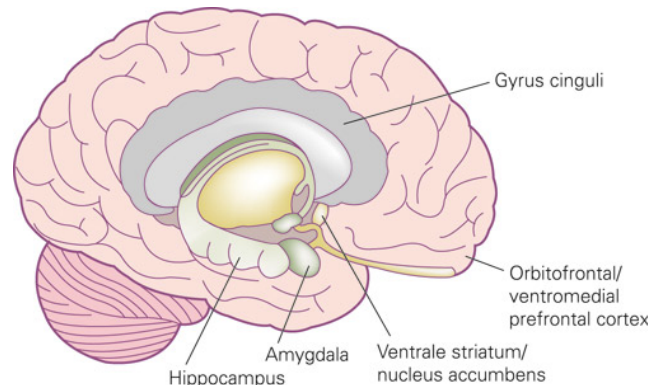
Hvis grænsestrengen på den ene side bliver afbrudt, bliver huden varmere og rødere i samme ansigtshalvdel (vasodilatation). Det er samtidigt tørt pga. ophævet svedsekretion. Pupillen er mindre (miose) på den syge side pga. lammelse af m. dilatator pupillae, mens øjenlåget hænger lidt ned (ptose) pga. lammelse af af m. tarsalis. Denne kombination af symptomer kaldes for Horner's syndrom.

DET LIMBISKE NERVESYSTEM

Strukturer i det limbiske system er knyttet til emotioner, læringen og hukommelsen. Disse er fundet i en ring, der omgiver diencephalon. To af de store strukturer er fra temporallappen og er hippocampus med fornix og amygdala med stria terminalis. Andre strukturer er gyrus cinguli, septumkernerne, neurongrupper i basale dele af hemisfærene.

Gyrus cinguli, insula og orbitofrontal cortex er også engageret i bearbejdning af emotioner og kognitiv kontrol. Gyrus cinguli er især vigtig for organisering og igangsætning af forskellige typer af målrettet adfærd.

Ventrale striatum med nucleus accumbens er relateret til emotioner, men deltager også i andre funktioner.



Amygdala ligger i temporallappen medalt for uncus. Der skelnes mellem den kortikomedial gruppe og basolateral gruppe. Den kortikomediale gruppe er knyttet til hypothalamus, lugtelappen, uspecifikke kerner i thalamus og septumkerner, som den modtager afferente fibre fra. Den modtager også fibre fra det parabrakiale området dorsolateralt i pons (smags- og smerteimpulser). Denne bane er med til at farve vores smerteoplevelse. Den basolaterale gruppe modtager fibre fra områder i præfrontal cortex, temporallappen, gyrus cinguli og intralaminære thalamuskerner. De efferente fibre fra amygdala er for en stor del resiproke til de afferente. Disse forbindelser bidrager til øget opmærksomhed om stimuli med emotionel farvning dvs. de sørger for at vi bruger vore begrænsede opmærksomhedsressourcer på det der er vigtigt, og emotioner integreres i beslutninger og handlinger. Der går også fibre til PAG, retikulærsubstansen og parasympatiske hjernekerneenerver. Disse fibre formidler de autonome og somatiske motoriske komponenter ved forskellige emotioner f.eks. frygt. Forbindelser til PAG fremkalder frygtbetinget forsvarsadfærd og den er også med til at undertrykke signaltrafik fra nociceptorerne ved denne reaktion. Der går også fibre til ventral striatum og nucleus basalis, der bidrager til emotionel påvirkning af bevægelser.

Manglende adfærdsreaktioner på frygt kan forklares ved bortfald af amygdalas påvirkning af hypothalamus og af autonome og somatiske motoriske centre i hjernestammen (PAG). Man har vanskeligt ved at opfatte, om et ansigt udtrykker frygt samt vanskeligt ved tolke andres følelsesmæssige tilstand, hvilket giver problemer med social tilpasning. Undersøgelser med aber hvor man har fjernet amygdala viser en øget tamhed hos dem. Hvis man til gengæld stimulerer amygdala medfører det ofte angst.

Gyrus cinguli regnes også for en del af det limbiske system og fremkalder forskellige kombinerede autonome og somatiske effekter. Den modtager fibre fra associationscortex i temporal, frontal og parietalcortex. Efferente fibre går til hippocampus, amygdala, septumkerner, der alle sender fibre videre til hypothalamus. Effekterne er nedsat

sympatisk aktivitet og øget parasympatisk aktivitet. Lignende effekter kan også fremkaldes af unsula, præfrontal cortex og temporallappen, da de sender deres efferente fibre til amygdala, som så sender den videre til hypothalamus.

Hippocampusformation er vigtig for læring og hukommelse. Den består af hippocampus, gyrus dentatus, subiculum og area entorhinalis, som ligger gyrus parahippocampalis. Den modtager afferente fibre fra thalamus, hypothalamus, septum kerner og amygdala og via area entorhinalis fibre fra ekstrastrialt, auditiv fibre, gyrus cinguli, gyrus dentatus, præfrontal og somatosensorisk cortex. Hovedparten af efferente fibre går til cortex i temporal og frontal. Der går også fibre til corpus mamillare gennem fornix som påvirker gyrus cinguli via thalamus, samt til hypothalamus og amygdala. Den er især knyttet til korttidshukommelse og læring og kan føre information fra korttidshukommelse over til langtidshukommelse. Hvis man fjerner begge hippocampi, giver det problemer med indlæring.

Man skelner mellem langtidshukommelse og korttidshukommelse. Langtidshukommelse varer i dage, måneder eller år, mens korttidshukommelsen kun varer i sekunder eller minutter og så glemt igen. Man skelner mellem 2 former for hukommelse:

- Deklarativ, eksplicit: at huske begivenheder eller fakta/oplysninger
- Non-deklarativ, implicit: færdigheder, vaner

Deklarativ er relateret til temporallappen, især hippocampus, mens non-deklarativ er relateret til cerebellum, basalganglier og præmotorisk cortex. Amnesi kan skyldes skader i thalamus, corpus mamillare og forbindelse fra corpus mamillare til thalamus. Desuden er hukommelsessvigt relateret til skader i cellegrupper i basale dele af hemifæren og af orbitofrontalcortex. Deklarativ hukommelse benytter sig flere neurongrupper der indbyrdes forbundet i et hukommelsesnetværk. Når en del af netværket er skadet, optræder der også funktionsændringer i de andre dele. Derfor kan skaden i et af områdene være nok til at give en vis hukommelsessvigt, men ikke fuld amnesi.

RETIKULÆRSUBSTANSEN

Retikulærsubstansen, formatio reticularis, strækker sig fra medulla oblongata til mesencephalon. Den findes som diffuse ansamlinger af nerveceller mellem hjernenervekerne og andre velafgrænsede neurongrupper og udfylder "hullerne". Retikulærsubstansen har centre som styrer dele af det autonome nervesystem: åndedræt, blodtryk, svedsekretion osv. En måde som retikulærsubstansen arbejder på at den danner præmotoriske netværk og organiserer målrettede, sammensatte bevægelsesmønstre og andre typer af adfærd. Det gælder f.eks. kontrol af stilling og orientering af hovedet og kroppen i forhold til stimuli, mere specifik kontrol af øjenbevægelser og samordningen af motorik i indvoldsorganer.

Der er 2 neurongrupper der har nær relation til retikulærsubstansen:

- Rafekernerne
- Locus coeruleus

Rafekernerne består overvejende af serotonerge neuroner, mens neuroner i locus coeruleus er noradrenerge. Et andet træk ved dem er at de sender fibre direkte til hjernebarken uden synaptiske afbrydelser i thalamus. Begge transmittorer har virkninger på plastisitet og læring. De virker også ind på kardiovaskulær kontrol og andre funktioner kontrolleret af det autonome nervesystem. De har også betydning for opmærksomhed og søvn. Begge kerner har det til fælles at de er aktive ved vågenhed og helt stille ved søvn. For rafekernerne er et pågældende træk nemlig at de er kemosenitive og måler CO₂-niveauet i blodet. De bidrager med respirationskontrol og normaliserer CO₂-niveauet. Opfatning af smerter er også en led i en homøostatisk respons. De bidrager til øget vågenhed. For locus coeruleus er det overordnet opgave at øge bevidsthedsniveauet og opmærksomhed ved modtagelse af vigtige sensoriske information.

Den laterale del af retikulærsubstansen er modtagende, mens den mediale del af efferent og formidler virkningen på højere niveau som thalamus og cortex og lavere som medulla spinalis med retikulospinale fibre. Disse descenderende fibre løber ned i sideforstrengen (fra medulla oblongata) og forstrengen (fra pons) og ender særligt på interneuroner, som virker på motoneuroner. Ventrale retikulospinale baner er af særlig betydning for at opretholde oprejst stilling, for orientering af kroppen og hovedet mod noget i omgivelserne og for grovere voluntære bevægelser af ekstremiteterne. Dorsale retikulospinale baner har hovedvirkning på sensorisk signaltrafik fra PAG, colliculus superior, hørelsesbarken, cerebellum og ligevægtskerner. Banerne er både krydset og ukrydset. De afgiver mange kollateraler undervejs, så muskler i forskellige dele af kroppen kan påvirkes samtidigt.

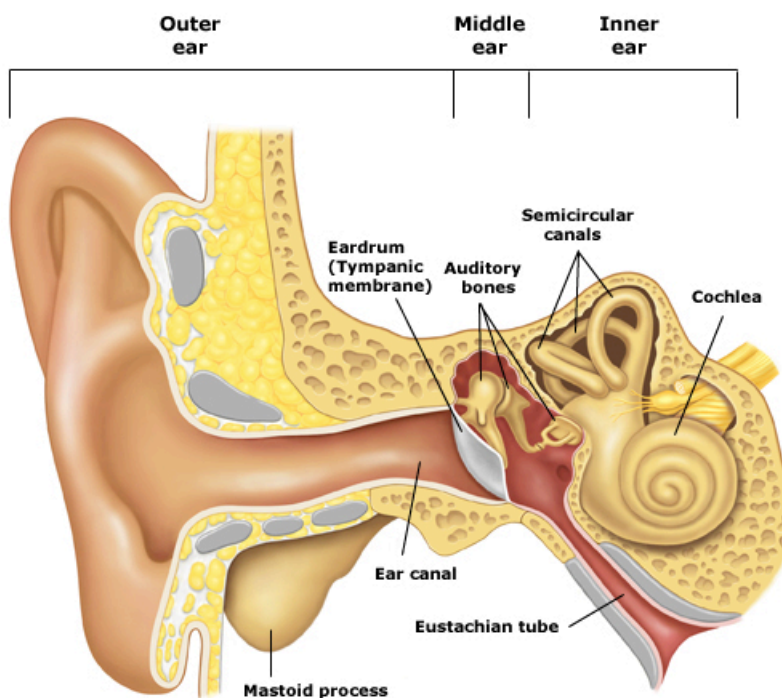
De ascenderende fibre ender i de intralaminære thalamuskernerne og ikke som lemniscus medialis og tractus spinothalamicus i den laterale kerne. De ascenderende forbindelser har en væsentlig betydning for funktion af cerebri cortex. Man kalder retikulærsubstansen for aktiveringssystemet, når det gælder aktivitet i cortex. Dens påvirkning af hjernebarken er nødvendig for den bevidste opfatning og de adækvate reaktioner på sanseindtryk.

Elektroencephalografi kan vise forandringer i hjernebarkens aktivitet, når man stimulerer retikulærsubstansen. Den viser, at ved stimulation af retikulærsubstansen forandres EEG med de langsomme bølger til de mere hurtige uregelmæssige bølger med lavere amplitude. Det sker ved overgang fra afslappet tilstand til opmærksomhed.

Retikulærsubstansen er nødvendigt for opretholdelse af normal vågen tilstand. Ved markant nedsættelse af retikulærsubstansen eller hvis der sker en afbrydelse af de ascenderende forbindelser til cortex, vil det medføre det bevidstløshed, fordi der ikke vil ske en aktivering af cortex. Der vil stadig komme sensoriske information til cortex, men det vil ikke fremkalde opmærksomhedsreaktion.

SANSEORGANER

ØRET



Øret, auris, er i stand til at registrere periodiske trykændringer, der opstår som følge af hurtige svingninger i genstande eller som tale fra personer. Adækvat stimulus er lydbølger fra 20 Hz til 20 kHz. Tryksvingninger omsættes i det indre øre til nerveimpulser, som ledes ind til hørecentrene i storhjernens, hvorved den subjektive fornemmelse af lyd opstår.

Øret er lokaliseret til tindingebenet, os temporale. Man skelner mellem pars squamosa, pars tympanica og pars petrosa. Pars squamosa er den skalformede del, der ligger over øregangen og indgår i hjernebassens sidevæg. Pars tympanica er det lille krumme knogleblad, som danner gulv i den ydre øregang. Pars petrosa er fjeldbenet, der ligger medialt for øregangen og rummer høre- og ligevægtorganet.

Øret kan inddeles i det ydre øre, mellemøret og det indre øre.

Det ydre øre, auris externa, dannes af øremuslingen og den ydre øregang, som strækker sig ind til trommehinden. Øremuslingen, auricula, udgøres af hud, som er foldet omkring en plade af elastisk brusk med form som en muslingeskal med flere fremspring og fordybninger. Ørebrusken mangler nedadtil, hvor der er øreflippen, lobulus auricularis, der består af fedtvæv dækket af hud. Der er stive terminalhår, tragi, der især hos mænd dækker indgangen til den ydre øregang.

Det ydre øregang, meatus acusticus externus, har en længde på ca. 3,5 cm fra den frie rand af tragus. De yderste 2/3 udgøres af elastisk brusk og de inderste 1/3 af knogle. Huden i den ossøse del er tynd og stramt bundet. I den bruskede del er den noget tykkere og indeholder fine hår og fedtkirtler samt apokrine svedkirtler, glandula ceruminosae, som producerer et svedlignende sekret. Sekretet sammen med sekret fra fedtkirtler danner ørevoks, cerumen, som yder fugtighed og selvrensning til øregangen.

Trommehinden, membrana tympanica, er en cirkulær hinde med epithel på begge sider, som adskiller mellemøret fra det ydre øregang. Gennem dens svingninger overføres lydbølger fra den ydre øregang til mellemøret og videreføres til det indre øre. Trommehinden er tragtformet. Dens mediale flade er sammenvokset med hammerskaftet, manubrium mallei og dens centrale parti, umbo, er trukket ind mod trommehulen. Randpartiet er fæstnet i en fure på tindingebenets pars tympanica. Den øverste del hvor der mangler furen, er stedet tyndt og benævnes pars flaccida, og resten af delen, der er tykkere, kaldes pars tensa.

Blodforsyningen foregår ved små arterier fra a. auricularis posterior og a. temporalis superficialis fra a. carotis externa. Selve øregangen forsynes med a. auricularis profunda fra a. maxillaris.

N. auricularis magnus, n. occipitalis minor fra plexus cervicalis og n. facialis innerverer huden med sensoriske fibre på den mediale del og bageste af laterale del af øremuslingen. N. auriculotemporalis fra n. mandibularis innerverer forvæggen og loftet i den ydre øregang samt den tilstødende del af trommehinden. Den resterende del af øregang og den udvendig flade af trommehinde forsynes af ramus auricularis n. vagi, hvor man kan ved otoskopi udløse vagusrefleks i form af hoste. Trommehinden på indvendige side innerveres sensitiv af n. tympanicus fra n. glossopharyngeus.

I trommehulen findes mellemøret, auris media, som omfatter trommehinden med 3 øreknogler, der overfører trommehindens svingninger ind til det indre øre. Trommehulen inddeles i mesotympanon, den egentlige trommehule; hypotympanon, som ligger under trommehindens niveau og epitympanon, som ligger over trommehindens niveau og her findes hovedparten af øreknoglerne. Selve slimhinden er beklædt med enlaget pladeepithel.

Loftet, paries tegmentalis, udgøres af en tynd knogleplade, tegmen tympani, der adskiller trommehulen fra fossa cranii media. Gulvet, paries jugularis, dannes af en tynd knogleplade, som vender ned mod fossa jugularis med bulbus superior v. jugularis interna og en åbning til n. tympanicus fra n. glossopharyngeus, som fører præganglionære parasympatiske tråde til ganglion oticum, hvorfra postganglionære tråde løber til glandula parotidea. Medialvæggen, paries labyrinthicus, vender mod det indre øre, og man ser her promontorium fremkaldt af sneglevinding. Bagved og over promintoriet ses en oval åbning, det ovale vindue, der giver adgang til vestibulum og scala vestibuli. Nedadtil findes en anden åbning, det runde vindue, der giver adgang til scala tympani. Den er lukket af en bindevævsmembran. Man ser også processus cochleariformis som er den bageste del af septum canalis musculotubarii. Den danner en trisse til senen af m. tensor tympani ved den forreste del af det ovale vindue. Man ser også prominentiae canalis facialis og canalis semicircularis lateralis.

Lateralvæggen, paries membranaceus, dannes af trommehinden. Forvæggen, paries caroticus, dannes nedadtil af en tynd knogleplade, der danner bagvæggen i canalis caroticus. Over canalis caroticus fører en bred åbning ind til canalis musculotubarius, som deles i en øvre mindre semicanalis til m. tensoris tympani, og en nedre større semicanalis til tubae auditivae, Eustachiske rør, som sørger for lufttrykudligning i mellemøret. Bagvæggen, paries mastoideus, ligger foran cellulae mastoideae i antrum mastoideum og canalis facialis.

Øregangen og mellemøret bliver forsynet af a. auricularis profunda fra a. maxillaris. Venerne tømmer sig i plexus pterygoideus og i sinus petrosus. Slimhinden forsynes med sensitive tråde fra plexus tympanicus, der ligger på promontoriet i medialvæggen.

Øreknoglerne, ossicula auditus, består af hammeren, ambolten og stigbøjlen. Hammeren, malleus, har et hoved, caput, et skaft, manubrium og processus lateralis og anterior. Malleus er sammenvokset til trommehinden med sit manubrium. Ambolten, incus, har 3 dele: corpus, crus longum og crus brevis. Crus longum forløber parallelt med manubrium mallei i cavitas tympanica og danner forbindelse til stapes. Stigbøjlen, stapes, har en caput og en basis forbundet sammen af crus anterius og crus posterius. Basis har forbindelse til det ovale vindue. Leddene mellem øreknoglerne er synoviale, men bevægelsesområdet alligevel er begrænset og alle 3 øreknogler bevæges nærmest som en helhed. De knogler danner en kæde gennem det ydre øre og det indre øre, og forbinder således trommehinden med det ovale vindue i cochlea.

Der findes 2 muskler, m. tensor tympani og m. stapedius, der er med til at regulere hørelse. M. tensor tympani ligger i semicanalis m. tensoris tympani og ender som en sene på processus cochleariformis. Musklen innerveres af en gren fra n. mandibularis. Den kontraherer sig reflektorisk ved en høj lyd og trækker manubrium mallei ind mod cavitas tympanica. Dette medfører, at trommehinden spændes pga. sammenvoksning med manubrium mallei, og dens svingninger dæmpes. M. stapedis udspringer fra eminentia pyramidalis og løber fremad og fæstner sig på caput stapedis. Musklen innerveres af n. facialis via n. stapedius. Den kontraherer sig reflektorisk ved en høj lyd og trækker stapesfodpladen ud fra det ovale vindue og hæmmer lydoverføringen ind til det indre øre. Ved lammelse af nervus facialis bliver man overfølsom for lyd, hyperacusis.

Det indre øre, auris interna, findes i pars petrosa (fjeldsbenet) og indeholder cochlea og ligevægtsorganet med de 3 buegange, organum vestibulocochleare. Vestibulum er en oval kapsel, hvor bagtil overgår i buegange og fortid i sneglen. Det er opbygget af 2 rørsystemer, den benede labyrinth og den hindedede labyrinth. Den benede labyrinth er opbygget af knoglevæv og er fyldt med en klar væske, perilymfe. Inde i den benede snegl forløber den hindedede snegl, ductus cochlearis, som er et 3-kantet tyndvægget rør og indeholder endolymfe. Væggen mod den benede del dannes af specielle epithelceller, stria vascularis, der er ansvarlige for dannelse af endolymfen. Ductus cochlearis er fastgjort til en knogleliste på den centrale knoglepille og til ydersvæggen af den benede kanal. Ductus cochlearis opdeler hulrummet i den benede snegls vindinger i en øvre scala vestibuli, der begynder ved det ovale vindue, og en nedre scala tympanica, der ender blindt ved det runde vindue. De 2

scalaer er indbyrdes forbundne ved toppen af sneglen. De begge er fyldt med perilymfe. Gulvet i den hindede snegl dannes foruden af den ovennævnte knogleliste af en epitelbeklædt bindevævshinde, som benævnes membrana basilaris. På overfladen af denne er epitellet fortykket dannende det egentlige receptororgan for lydbølgerne. Dette fortykkede epitel kaldes det Cortiske organ og det består af receptorceller, som kaldes hårcellerne og af støtteceller. Hårcellerne er dækket af en membran, membrana tectoria, som hvælver sig over det Cortiske organ. Lydbølger fremkalder bevægelser af stigbøjleens fodplade i det ovale vindue, og udløser vibrationer i perilymfen i scala vestibuli, som forplanter sig gennem scala tympani til det runde vindue, der er i stand til at optage øget tryk fra perilymfen. Under lydbølgernes passage bliver membrana basilaris med det Cortiske organ bragt i svingninger. Herved opstår kontakt mellem hårcellerne og membrana tectoria. Ved kontakten opstår generatorpotentialer i hårcellerne og disse aktiverer de afferente nerver. Den fysiske striktur af basalmembranen bevirker, at svingninger med forskellig frekvens aktiverer hårceller med forskellig beliggenhed i det Cortiske organ. Membrana basilaris bliver bredere og bredere fra det ovale vindue op mod sneglens top. Samtidig aftager udspændingsgraden af membranen, således at dens stivhed ved sneglens top er ca. 100 x mindre end ved det ovale vindue. De dybeste toner giver størst udslag hvor membranen kraftigst ved basis. Sansehårene på sansecellerne vil deformeres, idet de er indlejret i den ubevægelige membrana tectoria. Herved aktiveres forskellige nervetråde og man hører lys af forskellige tonehøjde. De afferente nervetråde samles i ganglion spirale i sneglen og går som n. cochlearis til forskellige dele af CNS.

Det indre øre bliver forsynet af a. labyrinthi, der afgår fra a. basilaris eller a. cerebelli inferior anterior. De semicirculære kanaler har deres egen forsyning fra a. stylomastoidea fra a. carotis externa. Venerne ender først og fremmest i vv. labyrinthi, der tømmer sig i sinus sigmoideus og vv. vestibulares fra vestibularapparat tømmer sig i sinus transversus. Der findes ikke lymfekar i det indre øre.

Den centrale del af sneglen er benet og forsynet med små åbninger, der tjener som passage for nervegrene af n. cochlearis og n. vestibularis, der kommer frem under pons, løber gennem cisterna cerebellopontine i fossa cranii posterior, hvorefter den træder ind i meatus acusticus internus og fortsætter ind til det indre øre.

Nervus cochlearis er en del af 8. hjernenerve, som leder impulser fra cochlea. De afferente fibre har sine cellelegemer i ganglion spirale, som ligger i lamina spiralis ossea. Fibrene går gennem den indre øregang, meatus acusticus internus, til den cerebellopontine vinkel. Der træder nerven ind i cochleariskernerne. Cochleariskernerne består af en dorsal og ventral kerne, der ligger på siden af medulla oblongata udenfor den nedre lillehjernestilk. Afferente fibre fra n. cochlearis deler sig når de kommer ind og ender i de 2 kerner. Fra cochleariskernerne ledes signalet videre i stria acusticae dorsalt for den nedre lillehjernestilk, krydser gennem retikulærsubstansen til den modsatte side og lægger sig i en bane, lemniscus laterale til colliculus inferior. Denne bane er vigtig for at rette opmærksomheden mod en lyd. Forbindelser fra den ventrale kerne tager en omvej i corpus trapezoidum i den nederste del af pons og gennem oliva superior (kan på begge sider) til colliculus inferior på den modsatte side. Denne bane er vigtig for at lokalisere en lydkilde. Fra colliculus inferior sendes fibre videre til corpus geniculatum mediale i thalamus. Den sidste led går til den auditive cortex i gyrus

temporalis superior. Fibrene løber i den bagre del af capsula interna. Hørebanken er i stand til at registre både dybe og høje toner. Rostralt for A1 i cortex registrerer de dybe toner, mens caudalt for A1 informerer om høje toner.

Der findes også en 3. bane, beskrevet i andre fagbøger, intermedius, der afgår fra den dorsal rod af den ventrale cochlearis kerne. Den ascenderer ipsilateralt i lemniscus lateralis fra oliva superior til colliculus inferior, hvor den danner synapse med neuroner i corpus geniculatum mediale, og videre til auditiva cortex i temporallappen. Hørebanerne er dobbeltsidige, så signalerne fra det ene øre kommer til begge hemisfærer. Ensidig ødelæggelse af banerne giver derfor ikke tydelig hørenedsættelse. Derimod kan evnen til at bestemme hvor en lyd kommer fra, reduceres.

Der findes rigelige med inhibitoriske interneuroner med transmittere GABA og glycin. Sådan en "undertrykkelse" er vigtige, da vi kan udvælge de lyde der er vigtige for os f.eks. i et rum fuldt med mennesker.

Ligevægtsorganet er den vestibulære del af labyrinten i det indre øre. Signaler fra ligevægtsapparatet bidrager til vores bevidste opfattelse af kroppens stilling og bevægelser i rummet. Den dominerende opgave er automatisk, refleksmæssig kontrol over kropsbalance og øjenbevægelser. Det er også afhængigt af signaler fra sanseorganer, som registrerer hovedets stilling og bevægelser.

Ligevægtsapparatet består af 2 små blærer, sacculus og utriculus, og 3½-cirkelformede rør, buegangene, ductus semicirculares. I sacculus og utriculus ligger krystaller af calciumsalte, otolitter. Der findes også sanseepithel i sacculus og utriculus hhv. macula sacculi og macula utriculi. Sansehårene er dækket af geleagtige masse, cupula. De 3 buegangene står lodret på hinanden i 3 plan og hver kanal indeholder en udvidelse, ampulla med en liste, crista ampullaris, hvor der findes hårceller med sansehår af lignende type som i cochlea. Via sanseceller registreres n. vestibularis bevægelser i endolymfen. Buegangene er beregnet til at opfatte roterende eller vinklede hastighedsændringer i hver sit plan, evt. i samarbejde, hvor det drejer sig om kombinerede planer (en dynamisk følsomhed).

Sacculus og utriculus reagerer på lineær acceleration (f.eks. når man kører ned i elevator) og hovedets stilling. Utriculus registrerer stillinger om en sagittal akse, dvs. mere eller mindre sidebøjning af hovedet, og sacculus registrerer sandsynligvis stillinger om en tilnærmet frontal-transversal-akse dvs. fleksion og ekstension i nakkeleddene. Otolitterne virker pga. deres vægt via tyngdekraften. Når hovedet hældes, trækker otolitterne i sansehårene og medfører stimulation. Enhver tænkelig stilling vil give hovedet forskellige stimulering af sansecellerne i utriculus og sacculus og give CNS information. Denne egenskab er afhængig af at der findes receptorer i sacculus og utriculus som er langsomt eller ikke-adapterende. Dette er en forudsætning for en statisk følsomhed.

De primære afferente fibre fra ligevægtsapparatet løber i n. vestibularis til forskellige dele af

vestibulariskernerne. Kernerne strækker sig over et stort område i bunden af 4. ventrikel og består af 4 store kerner, nucleus vestibularis superior, lateralis, medialis og descendens. De fleste fibre fra buegangene ender i øvre del af den mediale kerne og i nucleus superior, mens den laterale kerne modtager fibre fra utriculus. Cellerne i nucleus superior reagerer først og fremmest på rotationsbevægelse af hovedet, mens celler i nucleus lateralis særlig er følsomme for hovedets stilling. Vestibulariskernerne modtager, udover fibre fra buegangene og utriculus/sacculus, afferente fibre fra medulla spinalis, retikulærsubstansen, enkelte kerner i mesencephalon (colliculus superior) og fra cerebellum (lobus flocculonodularis og fra lobus anterior). Fibre fra cerebellum bidrager med, at styrken på de vestibulære reflekser kan justeres ved ændrede krav, som læring af nye bevægelser, under væksten når hovedet størrelse ændrer sig, og når man begynder med briller. De modtager ikke nogen direkte påvirkning fra cortex, men kan alligevel påvirkes fra cortex via retikulærsubstansen f.eks. fibre fra bagre parietalcortex, hvor mange neuroners aktivitet er relateret til kropsbilledet og orientering af rummet.

Vestibulariskernernes efferente fibre virker først og fremmest på 3 områder: motoneuroner for medulla spinalis, motoneuroner for hjernenervekerner for ydre øjemuskler og cerebellum. Fibre til øjenbevægelser kommer fra nucleus superior og medialis, som selv modtager fibre via n. vestibularis fra buegangene. Axonerne fra kerner samler sig i fasciculus longitudinalis medialis og løber opad og ender i abducens, trochlearis og oculomotoriske kernerne og sørger for, at billedet holdes rolig på retina når hovedet bevæger sig, vestibulo-okulær refleks.

Fibre til medulla spinalis kommer fra den laterale vestibulariskernen og danner tractus vestibulospinalis i forstrengen. Fibrene ender på alle niveauer af medulla spinalis i forhornet, delvis monosynaptisk på alfa- og gamma-motoneuroner. Banen har en vigtig indflydelse på muskler (ekstensorer), som bidrager til ligevægt og holdning. Fra nucleus medialis danner fibrene en vestibulospinal bane i forstrengen ned til de cervikale og øverste thorakalsegmenter og har betydning for de refleksbevægelser af hovedet som svar på vestibulære stimuli, vestibulocervikal refleks.

Fibre til cerebellum ender først og fremmest i lobus flocculonodularis og som virker tilbage på vestibulokernerne og retikulærsubstansen og kan regulere styrke på vestibulo-okulære reflekser. Fibre fra cerebellum er også med til at finkoordinere muskulatur og bevægelse.

Der findes toniske og fasiske labyrintreflekser. Toniske labyrintreflekser er signaler fra utriculus og sacculus hvor stimulus er lineær acceleration. Fasiske labyrintreflekser er signaler fra buegangene, hvor stimulus er rotation af hovedet. Labyrintreflekserne udløses af stimulering af labyrinten i det indre øre f.eks vestibulo-okulære og vestibulocervikale reflekser. De formidles via de vestibulospinale baner og udløser muskelkontraktioner i kroppen og ekstremiteterne som bidrager til at holde hovedets stilling i rummet konstant.

Posturale reflekser bruges om automatiske responser udløst fra ligevægtsapparatet (labyrintreflekser) og fra proprioceptorer (nakkereflekser) og kontraktioner som svar på stræk af muskler (strækkemuskler). De har det til

fælles at de tjener til at opretholde og genvinde vores oprejste stilling, hvis balancen forstyrres, og de sikrer de bedste udgangsstillinger for specielle bevægelser.

Vestibulo-okulære reflekser er med til at justere øjnenes stilling og bevægelser i forhold til hovedet, således at billedet holdes rolig på retina selvom hovedet bevæges. Disse reflekser består af 3 neuroner:

- Primær afferente fibre fra buegangene løber i n. vestibularis (n. vestibulocochlearia)
- Neuroner i vestibulariskernerne som sender axoner i fasciculus longitudinalis medialis til flere øjenmuskelkerner
- Motoneuronerne i disse kerner som sender axoner til øjenmuskler

En rotation af hovedet i en hvilken som helst retning følges af en kompenserende modsatrettet bevægelse af øjnene, så billedet holdes stille på retina. Receptorceller i vestibulo-okulære reflekser er hårceller i buegangene. Rotation af hovedet sætter endolymfen i buegangene i bevægelse. Hvis bevægelsen bliver for stor til at billedet kan holdes stille, opstår der sakkadebevægelse i samme retning hvor hovedet bevæger sig. Billedet fæsnas på ny, og en ny langsom bevægelse kommer i gang. En veksling mellem langsomme følgebevægelser og sakkader kaldes nystagmus. Nysstagnus udløst af ligevægtsapparat kaldes for vestibulære nystagmus.

Nystagmus udløst af bevægelser i omgivelserne kaldes for optokinetisk nystagmus. Receptorceller i reflexen er fotoreceptorer i retina.

Vestibulocochlea refleks er når man drejer hovedet til højre, mens man kigger på det samme på den venstre side.

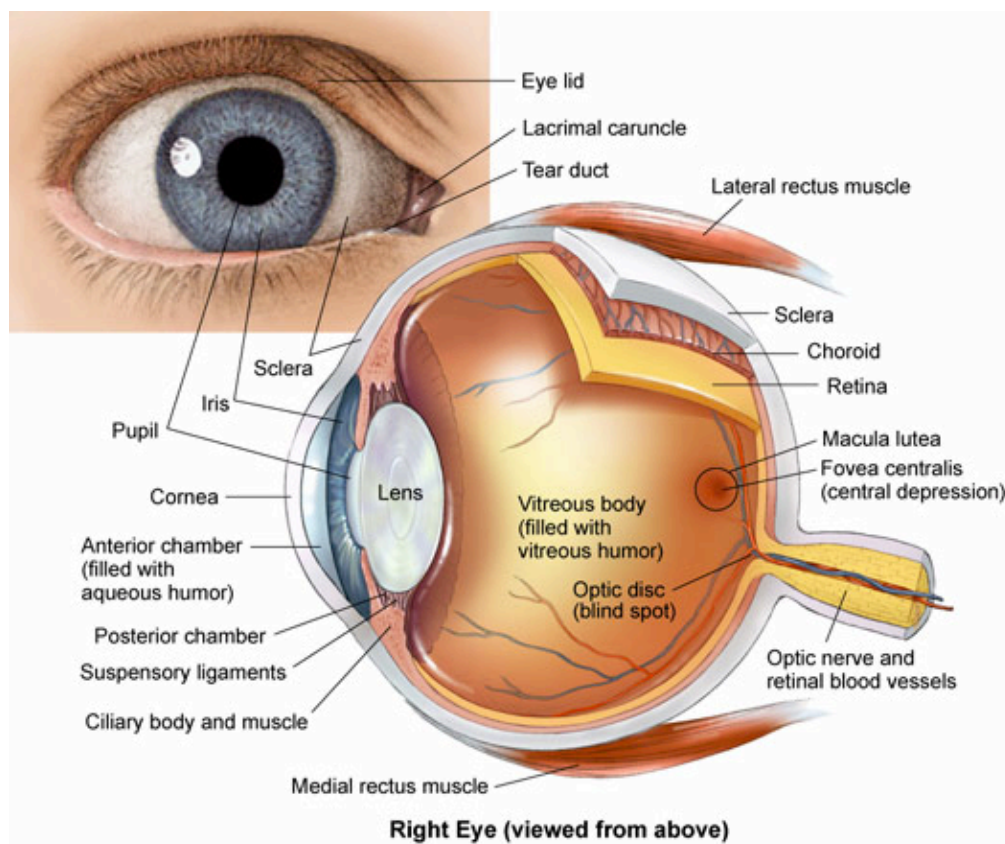
Et hovedområde for vestibulære signaler ligger i insulaområdet på overgang mellem parietal- og temporallapper. Ved skader i dette område optræder der balanceproblemer hos patienter med slagtilfælde. Andre områder hvor vestibulære proprioceptorer og somatosensoriske signaler kommer ind, ligger i parietallappen, i præmotorisk cortex og gyrus cinguli. De forskellige vestibulære områder i cortex er indbyrdes forbundet og sender nedstigende fibre til vestibulariskernerne.

For at holde balancen skal der være:

1. Vestibulære apparat
2. Proprioceptiv apparat
3. Synsapparat.

Der skal være mindst 2 af de 3 overstående apparater for at holde balancen.

ØJET



Et øje består af det ydre øje, tåreapparat, øjenhulen med øjeæble, dets ydre muskler og bindevævsapparat, kar, nerver samt synsbanen.

Det ydre øje udgøres af øjenbryn, supercilium, som forløber parallelt med margo supraorbitalis. Øjenlåg, palpebra superior og palpebra inferior, beskytter øjnene og holder hornhinden fugtig og ren ved deres konstante blinken, og samtidigt regulerer de den lysmængde, der når retina. Det øvre øjenlåg er afgrænset ved supercilium og er udstyret med en muskel m. levator palpebrae superioris og det nedre låg er uskrap afgrænset ved sulcus infrapalpebralis. Forbindelsen mellem det øvre og nedre øjenlåg kaldes commissura palpebrarum medialis og lateralis. Selve øjenkrogene kaldes den runde angulus (canthus) oculi medialis, der er lidt lavere end den skarpe angulus (canthus) oculi lateralis. På den forreste kant er der fæstnet øjenvipperne, cilia, der giver en vis beskyttelse mod fremmedlegemer og er sansehår. Knyttet til cilierne ses mindre talgkirtler, glandulae ciliares. I den bageste kant i øjenlåget ses der store fedtkirtler, glandulae tarsales. Den enkelte kirtel udgøres af en lang, vertikalt orienteret kirtelgang besat med alveolære endestykker. Deres fedtede vandskyende sekret bevirker, at øjenlågene slutter lufttæt op mod hinanden ved lukket øjenspalte.

I hvert øjenlåg findes der et fibrøst skelet dannet af tarsus og septum orbitale. Begge øjenlåg indeholder glat muskulatur, mm. tarsales. M. tarsalis superior er forbundet med m. levator palpebrae superioris og m. tarsalis

inferior forbinder m. obliquus inferior med tarsus inferior. De er sympatiske innerverede fra ganglion cervicale superius. M. levator palpebrae superioris udspringer bagtil i orbita over annulus tendineus communis og ender som sene, hvorefter den udbreder sig vifteformet og spalter i et profundt, der hæfter sig på den øvre rand af tarsus og et superficielt blad, der hæfter sig på huden med strøg gennem pars palpebralis m. orbicularis oculi. Den innerveres af n. oculomotorius. Til siderne smelter tarsi sammen under dannelse af ligamentum palpebrale mediale som hæfter på crista lacimalis anterior foran fossa sacci lacimalis, og ligamentum palpebrale laterale som hæfter på kindbenet lige bag ved orbitalranden. Septum orbitale er et tyndt, stærkt fibrøst blad, som fra aditus orbitae strækker sig op og hæfter sig til tarsi.

Øjets bindehinde er en tynd slimhinde, der inddeles i 3 dele:

- Tunica conjunctiva palpebralis, der beklæder bagsiden af øjenlågene
- Tunica conjunctiva bulbaris, som beklæder bulbus fra sulcus sclerae til de øjenmuskulernes insertion
- Fornix conjunctivae superior og inferior, der er omslagsfolderne

De tilsammen danner saccus conjunctivalis, som er et lukket spaltrum ved lukkede øjne.

Tåreapparatet består af tårekirtlen og af tårevejene. Mellem tårekirtlen og tårevejene passerer væsken i conjunctivalsækken, som fugter cornea og conjunctiva. Ved angulus oculi medialis ses et lille 3-kantet felt, hvori man ser caruncula lacimalis. Lateralt for denne findes plica semilunaris conjunctivae. Lateralt for det findes der i det øvre og nedre øjelåg en lille åbning, punctum lacrimale, der fører ind i tårekanalen. Tårekirtlen, glandula lacimalis, ligger i den øvre laterale del af orbita i fossa glandulae lacimalis. Den bliver spaltet ufuldstændigt af m. levator palpebrae superioris. Den har formen som en stor mandel. Farven er grård og konsistensen blød. Kirtlen er opbygget af serøst kirtelvæv. Den har ingen kapsel og er fæstnet til periorbita med svage bindevævsstrøg. Den har ca. 10-20 udførselsgange i den laterale del af fornix conjunctivae superior. Tårekanalerne, canaliculi lacrimales, begynder i hvert øjenlåg med punctum lacrimale, hvor tårevæsken opsuges ved kapillærvirkning. De begge er løst bundet til deres omgivelser og ender i tåresækken. Tåresækken, saccus lacimalis, er den øvre blinde ende af tåregangen og ligger i fossa sacci lacimalis mellem crista lacimalis anterior og posterior af os lacrimale bagved lig. palpebrale mediale. Tåregangen, ductus nasolacimalis, er rettet nedad i den ossøse canalis nasolacimalis med udmundingen i den forreste del af meatus nasi inferior ca. 3 cm bag ved nares.

Øjenhulen, orbita, er det store tragtformet hulrum og beskrives som en 4-sidet pyramide med basis forrest. Længdeakserne for de 2 øjenhuler er rettet skråt bagud og medalt.

Øjeæblet, bulbus oculi, er kugleformet med en diameter på ca. 24 mm hos den voksne. Det vejer ca. 7-8 g. Det har et indre tryk på 15-20 mm Hg, som bidrager til den faste konsistens. Væggen i bulbus oculi består af 3 lag. Yderst finder vi senehinden, sclera, som fortil går over i den glasklare hornhinde, cornea. Grænsen mellem de

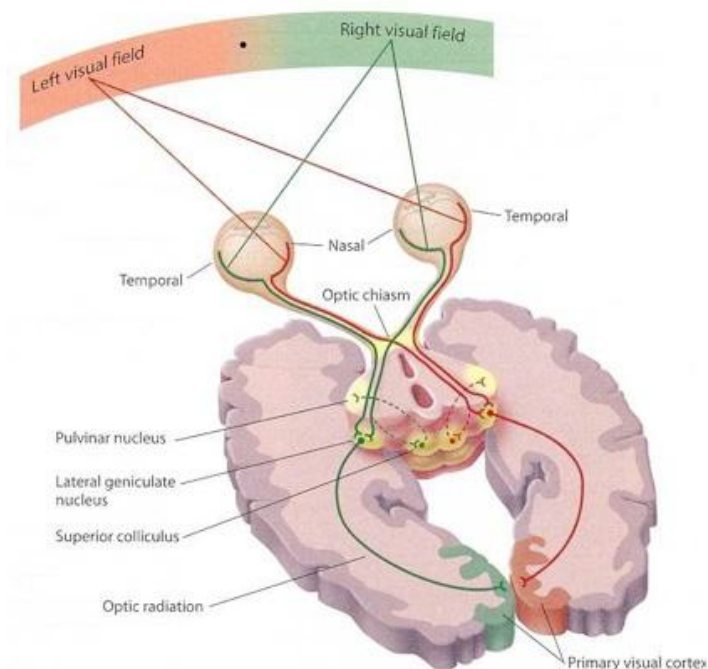
2 segmenter markeres af en svag cirkulær fure, sulcus sclerae. Under sclera ligger der årehinden, choroidea, der er rigt med blodkar og forsyner de ydre dele af nethinden samt indeholder rigeligt med pigment, der sikrer, at lyset bare slipper ind gennem pupillen uden refleksion af lyset. Corpus ciliare er fortsættelse af choroidea, der indeholder rigelige med glatte muskelceller, m. ciliaris, og danner fortil en ring. Det sørger for reguleringen af linsens krumning. F.eks. ved stærk krumning kan vi se skarpt på noget indenfor ca. 6 meter. Det er fjernpunktet. Hvis vi ser på noget der er længere væk, vil linsen fortsat have samme krumning. Kommer vi i nært hold, kontraherer m. ciliaris kraftigere. Her kaldes det akkomodation. Det er nærpunktet.

Omkring overgang mellem sclera og cornea fortsætter choroidea som iris. Denne er en cirkelrund skive med et hul i midten, pupillen. Den indeholder også glatte muskelceller og pigmentceller, der bestemmer øjets farve. Nogle muskelfibre er ordnet cirkulært rundt om pupillen, m. sphincter pupillae, der forsnævrer pupillen ved at trække sig sammen, mens andre er ordnet radiært, m. dilatator pupillae, som dilaterer pupillen. På den måde reguleres den lysmængde, som kommer ind i øjet. Det styres automatisk af en refleks.

Helt inderst er øjeæblet beklædt med nethinden, retina. Den består ud mod choroidea af et enlaget kubisk epithel med store mængder pigmentkorn i cellerne, pigmentepithel. Derefter kommer fotoreceptorerne for synssansen. Udløber fra fotoreceptor har kontakt til bipolarceller, som overfører signalet til ganglieceller. Axonerne fra gangliecellerne forlader øjet i nervus opticus. Der findes også interneuroner i forløbet, horisontalceller, der formidler lateral inhibition og amakrinceller, der formidler kontakten mellem bipolarcellerne og ganglieceller, der er knyttet til stave. Selve fotoreceptorerne består af stave- og tappeceller. Stavene er ansvarlige for synet ved svagt lys. Stavene indeholder rhodopsin, der består af en proteindel, opsin og retinal, som er et aldehyd af vitamin A. Retinal er lysabsorberende. Synet formidlet af stavene kaldes skotopisk syn. Vitamin A er nødvendigt for syntesen af rhodopsin, da ved mangel går det ud over synet ved dårligt lys (natteblindhed).

Tappenes synspigment skiller sig fra stavenes ved små forskelle i proteinstrukturen af opsinmolekylerne. Der er 3 typer med hver deres variant af pigment (blå, grøn og røde ved hhv. 440, 540 og 560 nm) og kan informere om farver og form og findes i fovea centralis af macula lutea. Synet formidlet af tappene kaldes fotopisk syn. Stavene har en lysfølsomhed som er ca. 1000 x større end tappenes og deres sensitivitet kan ved adaptation (nattesyn) yderligere forøges. Stavene findes i langt større antal (ca. 120 millioner) end tappene (ca. 4 millioner), men giver ingen farveopfattelse, kun gråsyn. En anden forskel er at der er en stor grad af konvergens i stave, i gennemsnit er der mere end 100 fotoreceptor koblet til en gangliecelle. I den perifere del af synsfeltet er endnu større grad af konvergens (lavere synsskarphed) da stavene er flest der, mens i den central del meget mindre. I macula området hvor er der flest tappe, findes der næsten 1:1 forbindelse. Dette er med til at øge synsskarphed i centralområdet end i periferområdet og formidler samtidigt farver. Generelt siger man at tætheden af fotoreceptorerne aftager, jo mere perifere man kommer.

Fotoreceptorerne er normalt depolariseret med membranpotentiallet -30 mV. Dette skyldes at Na-kanaler står åbne. Fotoreceptorerne og de bipolære cellerne danner ikke aktionspotentialer, kun spændingsforskelle. Da afstanden er så lille mellem dem, at selv om små ændringer er nok til at udløse aktionspotentialer, der fører til frisætning af transmitteren. Der er ikke nogen nogen bestemt tærskel, der skal overskrides. Lyset fører til at Na-kanaler lukker sig og åbner Ca-kanaler. Der sker en aktivering af G-proteiner og nedbrydning af cGMP. Derved hyperpolariserer cellen og reducerer transmitterfrisætningen. Nedbrydningen af cGMP medfører lukningen af Na-kanaler. Det betyder, at fotoreceptorerne frisætter transmittere ved depolariseringen i mørket, dvs. uden lyspåvirkning.



Hyperpolariseringen er udgangspunkt for dannelsen af den fotosensitive impuls, der via de ganglieceller i retina føres ind til hjernens synscentre. Axoner fra ganglieceller går mod bagsiden gennem papilla nervi optici. De danner nervus opticus, der går gennem øjenhullet og ud i kraniet. Her forener de sig i synsnervkrydsningen, chiasma opticum, hvor de nasale retina halvdelene krydser, mens de temporale dele går ukrydset. De fortsætter i tractus opticus, som slynger sig i crus cereberi og ender i corpus geniculatum laterale i thalamus. Det vil sige, at f.eks. venstre corpus geniculatum laterale modtager fibre fra venstre øjets temporale retina og højre øjets nasale retina. Under sit forløb mod corpus geniculatum laterale afgives fibre fra

tractus opticus til visuelle reflekscentre i tectum, som via forbindelser til Edinger-Westphal kernen og fasciculus longitudinalis medialis er involveret i en række visuelle reflekser såsom lysrefleksen. I geniculatum laterale danner axoner synapser med et nyt sæt neuroner, der sender axoner bagtil. Disse fibre danner synsstrålingen, radiatio optica. Denne går et stykke ned i temporallappen og ender videre i omkring sulcus calcarinus i det primære visuelle barkområde, area striata, i occipitallappen. Her foregår analyse af synsinformation. Viderebehandlingen af objektidentifikation, og rumlige forhold og bevægelser foregår i ekstrastriatale synsområder hhv. den ventrale del af temporallappen og den posterior del af parietallappen. Informationen integreres og modificeres på, og når til sidst frontallappen, hvor synsinformation bruges til kontrol af adfærd. Area striata kommunikerer med disse cortex områder via kortikokortikale associationsfibre.

Cornea består af et specielt bindevæv, hvor kollagenfibrillerne ligger regelmæssig ordnet, der gør den gennemsigtig. Cornea mangler åre, og ernæres derfor af tårevæsken og kammervæsken, som dannes af corpus ciliare og kar i iris. Cornea på forsiden er beklædt af et flerlaget pladeepithel med nogle få cellelag. En

speciel type glia, Muller-celler, strækker sig gennem hele retina fra pigmentcellelaget til indersiden mod glaslegemet. De præsenterer sandsynligvis en form for astrocytter.

Efter cornea følger forreste øjenkammer, fyldt med kammervæske, og så pupillen med regnbuehinden, iris og linsen, lens, et gennemsigtigt legeme indesluttet i en elastisk kapsel. Linsen holdes via fine zonulatråde fæstet til corpus ciliare i en udspændt tilstand. Ved krumning af linsen sker der kontraktion af m. ciliaris, der gør at billedet er skruet i fokus. Øjet er bagtil fyldt med geleagtigt glaslegemet, corpus vitreum.

Tenon's kapsel er en tynd fibrøs hinde, som beklæder den bageste del af øjeæblet fra sulcus sclerae til indtrædelsesstedet af n. opticus. Ved bevægelser af øjeæblet bevæger bulbus og kapsel sig som en enhed i det omliggende orbitale fedtvæv. Senerne fra mm. recti og mm. obliqui perforerer Tenon's kapsel, inden de hæfter sig på sclera.

Corpus adiposum orbitae er den bageste del af orbita og danner en dyb skål med fedtvæv, hvori øjeæblet er lejret og pakker alle orbitas strukturer.

De ydre tværstribede muskler fæstner sig fast i øjeæblet og sørger for at blikket rettes mod det vi ønsker at se på, og at billedet falder på korresponderende punkter i de 2 netthinder. Dette er nødvendigt for at vi skal opfatte billedet som et og ikke se dobbelt. Øjeæblet kan roteres frit i alle retninger og man tager udgangspunkt i 3 akser: frontalplanet, sagittalplanet og horisontalplanet.

Øjeæblets muskulatur omfatter 7 muskler; m. levator palpebrae superioris, de 4 mm. recti og de 2 mm. obliqui. Disse sørger for at øjets visuelle akse indstilles præcist i hvilken som helst retning indenfor synsfeltet. M. rectus superior, inferior, medialis og lateralis er små slanke muskler, som har en fælles udspring fra anulus tendineus communis, der omgiver canalis opticus. Musklerne bliver bredere og fladere på vej mod insertionen og danner tilsammen en muskelkegle, der omgiver den bageste del af bulbus. De hæfter sig ca. 5-8 mm bag sulcus sclerae med m. rectus medialis nærmest cornea. M. rectus medialis og lateralis sørger for horisontale øjenbevægelser og m. rectus superior og inferior fremkalder vertikale øjenbevægelser. M. obliquus superior er en lang slank muskel, som udspringer medialt for anulus tendineus communis. Herfra løber den frem på overgangen mellem orbitas loft og medialvæg til tæt ved aditus orbita, hvor den som sene løber igennem en lille fibrøs slynge, trochlea. Seneen bøjer herefter lateralt og bagud i en vinkel og løber under m. rectus superior og insererer på den bageste laterale øvre kvadrant. Virkningen af musklen er sammensat: den drejer øjet lateralt og nedover samt sørger for rotationsbevægelser. M. obliquus inferior er den korteste muskel. Den udspringer fra orbitas gulv lateralt for fossa saci lacrimalis. Den løber lateralt og bagud under m. rectus inferior og hæfter sig på den bageste laterale nedre kvadrant. Den drejer øjet også lateralt, men til forskel fra m. obliquus superior, drejer den øjet opover samt rotation om en sagittal akse.

N. opticus, synsnerven, er en fremskudt udvækst fra diencephalon. Den udspringer ved chiasma opticum, hvorefter den løber i subarachnoidalrummet, gennem canalis opticus og fortsætter i orbita til bulbus oculi.

N. ophthalmicus afgår som den 1. trigeminusgren og deler i 3 grene før indgangen til fissura orbitalis superior: N. lacrimalis går til den laterale øjenkrog og innoverer gl. lacrimalis. N. frontalis deler sig i n. supratrochlearis og n. supraorbitalis. N. supratrochlearis krydser over trochlea og forsyner huden på det øvre øjenlåg samt huden over glabella og conjunctiva. N. supraorbitalis forlader orbita gennem foramen supraorbitalis, og løber op på panden og innoverer pandehuden op til vertex cranii. N. nasociliaris kommer ind i orbita gennem anulus tendineus communis. Den forlader orbita ud for den mediale øjenkrog under trochlea som n. infratrochlearis, hvor den ender i huden over næseroden og tilstødende dele af palpebrae. Nerven afgiver n. etmoidalis posterior, der gennem foramen ethmoidale posterior forsyner slimhinden i sinus sphenoidalis og de bageste sibenesceller. N. ethmoidalis anterior forsyner de forreste sibenesceller. Den er også øjeæblets sensoriske nerve, idet nerven bagtil har forbindelse med ganglion ciliare, hvorigennem de parasympatiske og sensitive tråde passerer via n. ciliaris brevis. Postganglionære sympatiske tråde passerer også igennem ganglion ciliare og fortsætter i nn. ciliares breves, andre i nn. ciliares longi og går til kar og m. dilatator pupillae. Det nedre øjenlåg innoveres fra n. infraorbitalis fra n. maxillaris, den 2 trigeminusgren.

Tårekirtlen modtager sine sekretoriske tråde fra n. facialis gennem n. petrosa major. Trådene afbrydes i ganglion pterygopalatinum hvor de parasympatiske tråde går til kirtlen gennem n. zygomaticus fra maxillaris.

N. oculomotorius er den største af øjenmuskelnervenerne. Den innoverer orbitas muskler undtagen m. rectus lateralis og m. obliquus superior og indeholder parasympatiske tråde til innervation af m. sphincter pupillae og m. ciliaris via ganglion ciliare. Den stammer fra en kerne, nucleus oculomotorius, der er beliggende foran akvedukten i mesencephalon. Den træder ud på forsiden af mesencephalon ved midtlinien. Den træder ind i orbita gennem fissura orbitalis superior og deler sig i 2 grene. Ramus superior fortsætter opad og innoverer m. rectus superior og m. levator palpebrae superioris. Ramus inferior innoverer de resterende muskler.

Ved skade af nervus oculomotorius drejes øjet lateralt og nedad. Desuden opstår der dobbeltsyn og ptose, dvs. øjenlåget hænger ned. Ødelæggelse af de parasympatiske fibre fører til dilatation af pupillen på den syge side end den raske pga. lammelse af m. sphincter pupillae, og lysreflekse er borte. Evnen af akkomodation er også borte pga. lammelse af m. ciliare. Ved en delvis skade af nerven kan pupillen bare være lidt større og ved reaktionen på lys være langsommere end den friske side. Fordi nerven oculomotorius er udsat ved temporallapherniering ved øget intrakranielt tryk, er undersøgelsen af lysreflekse, om pupillene er lige store, vigtig hos bevidstløse patienter efter hovedskade.

N. trochlearis er den mindste af hjernenerverne og forsyner m. obliquus superior der fører øjet lateralt og nedad. Den stammer fra trochleariskernen, som også ligger foran akvedukten i den nedre del af mesencephalon. Den er den eneste nerve, der træder ud på bagsiden af hjernestammen.

N. abducens innoverer m. rectus lateralis og abducerer øjet. Den stammer fra abducenskernen, som ligger i den nedre del af pons. Den træder ud på midtlinien på den nedre del af pons.

A. ophthalmica er et gren fra a. carotis interna. Den kommer ind i orbita gennem canalis opticus i fælles

duraskede med n. opticus. Efter at have passeret trochlea m. obliqui superioris deler den sig i sine 2 grene, a. supratrochlearis og a. dorsalis nasi til panden og næseryggen. Den afgiver mange grene, f.eks. a. centralis retinae der forsyner retina. Hvis den tilstoppes, degenererer retina hurtigt med blindhed. A. lacrimalis løber langs orbitas laterale væg og forsyner glandula lacrimalis og sender grene til angulus oculi lateralis og palpebrae. Aa. palpebrales mediales fra a. ophthalmica forsyner øjenlågene medalt og anastomoserer med aa. palpebrales laterales fra a. lacrimalis i arcus palpebrales. A. supraorbitalis er en stor gren, og passerer gennem foramen supraorbitalis og forsyner pandehulen. Aa. ethmoidales posterior og anterior løber mellem m. obliquus superior og m. rectus medialis og løber ind i hhv. foramen etmoidale posterius og antierius til forsyning af etmoidalceller.

Venerne er ordnet i 2 sæt: Subkutane, som ender i v. angularis og vv. temporales superficiales; Subconjunctivale, som tømmer sig i grenene til vv. ophthalmicae.

Øjeæblet mangler lymfekar.

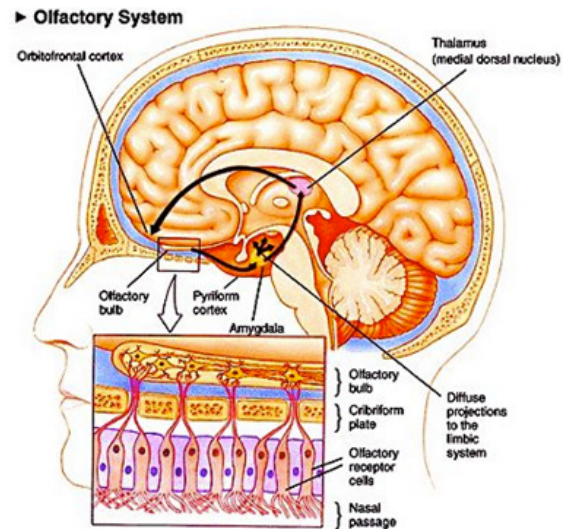
Typer af øjenbevægelser og reflekser

Der findes 2 typer af øjenbevægelser: de reflektoriske og de voluntære. Voluntære bevægelser styres af forskellige dele af cortex, mens de reflektoriske styres af områder omkring colliculis superior og cerebellum.

- Sakkaradebevægelser – hurtige konjugerede øjenbevægelser fra et fikseringspunkt til et andet. De er reflektoriske men kan også være viljestyrede
- Følgebevægelser – blikket holdes fikseret ved jævne og rolige følgebevægelser når hovedet eller objektet vi ser på, bevæger sig. Billedet holdes hele tiden central i retina
- Konvergerende bevægelser – begge øjnene bevæger sig sammen så billedet altid falder på korresponderende punkter på retina. Dette er funktionelt vigtigt for at undgå dobbeltsyn.
- Akkomodationsrefleks – denne refleks består af afferente fibre fra retina. Efferente fibre fra akkomodationscentret i cortex går til mesencephalon og videre til den parasympatiske ocolomotoriuskerne. Derfra går parasympatiske fibre i n. oculomotorius til m. ciliaris (effektor). Denne refleks sker kun når vi fikserer blikket på noget. Når en genstand kommer nærmere, må linsen gøres mere konveks. Dette gør er at vi kan se på nært hold.
- Vestibulookulær refleks – medvirker til at vi kan holde billedet centralt på retina, selvom hovedet bevæges. Dette sker ved at rotation af hovedet i et hvilken som helst retning føles af en kompensatorisk modsat bevægelse af øjnene.
- Optokinetisk refleks – virker ved at stabilisere billedet på retina når hele synsfeltet bevæger sig i forhold til hovedet.

LUGTE- OG SMAGSSANS

Øverst i slimhinden i næsehulen og i den øvre del af næseskillevæggen på hver side er der et område på ca. 1 cm², som indeholder specielle sanseceller for lugt. Antallet af sanseceller hos mennesket er anslået til at være over 10 millioner. Disse sanseceller er neuroner til forskel fra sansehår i det indre øre. De indgår i pseudolagdelt epithel med støtteceller og basalceller. Støttecellerne tjener til at isolere sansecellerne elektrisk fra hinanden. Basalcellerne deler sig mitotisk og udvikler sig til receptorceller. Der findes ca. 350 forskellige receptorproteiner.

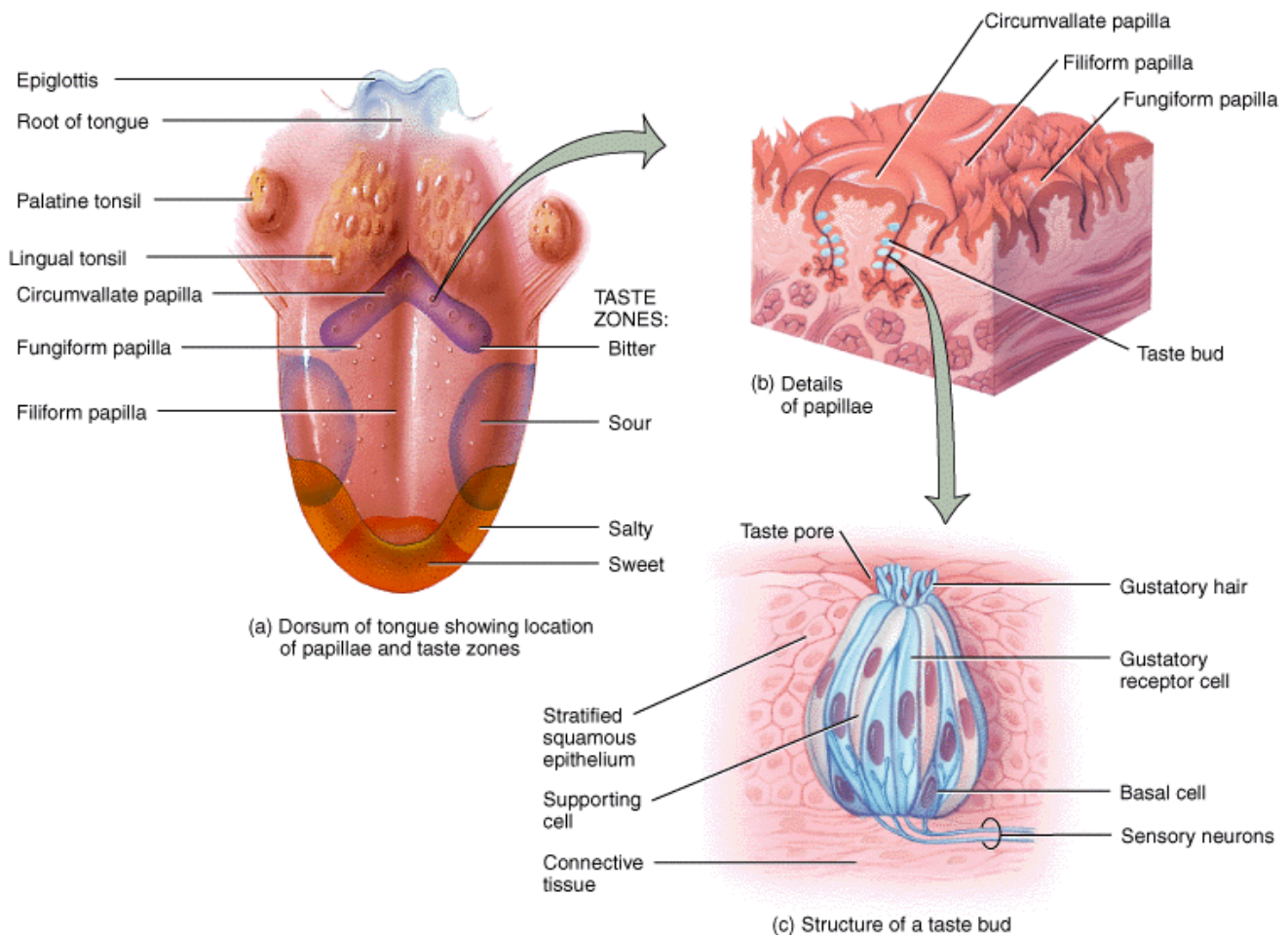


Receptorceller er bipolære og sender en dendritlignende udløber mod overfladen af lugteepithelet og et axon gennem kraniets basis til bulbus olfactorius. Dendritter ender i en opsvulmning, som er tæt besat med cilier, som stikker ud i slimhinden på lugteepithelet og dækker slimhinden. Stoffer der skal virke på sansecellerne, må derfor opløses i slimlaget. Selve slimlaget er produceret af egne kirtler og består af flere lag.

Et stofs lugt bestemmes hovedsageligt af form af molekylet. Bindingen af lugtmolekyle, odoranten, til receptoren til sansecellernes cilier fører til et receptorpotentiale. Det sker ved aktivering af G-proteiner og dannelse af cAMP. Øgning af cAMP fører til åbning af Na-kanaler og dermed depolarisering. Der udløses et aktionspotentiale i det initiale segment af axonet, og ledes videre til bulbus olfactorius i et såkaldt glomeruli. Der danner axonerne synapser med neuroner, mitralceller. I bulbus olfactorius findes der også interneuroner, kornceller, der formidler lateral inhibition. Når en mitralcelle modtager eksitation fra sanseceller, hæmmes naboerne via kornceller. Fra mitralceller sendes axoner videre gennem tractus olfactorius.

Axonerne i tractus olfactorius kan vælge flere veje og ender i forskellige dele af hjernen, men de fleste ender i medialflade af temporallappen. I temporallappen ender fibre forskellige, i nucleus olfactorius, nucleus accumbens, amygdala, det piriforme cortex i uncus og tilgrænsede del af area entorhinalis. Området i temporallappen, som modtager fibre direkte fra bulbus olfactorius, kaldes for den primære lugtebark. Fra den primære lugtebark og amygdala formidles information om lugt videre til andre dele af hjernen. En vigtig vej går fra amygdala til hypothalamus, som er med at regulere appetit, madindtag og fordøjelse. Desuden går de efferente fibre direkte til nærliggende områder på undersiden af frontallappen, orbitofrontal cortex. Her modtages også fibre fra de andre dele af hjernebarken, f.eks. fibre fra visuelle og somatosensoriske associationsområder, fra områder i insula, som behandler smag og barkområder med relation til motivation, emotioner og hukommelse. En del fibre krydser over til de modsatte side gennem commissura anterior og forbinder lugtebarken. For lugtesansen er det derfor en høj grad af dobbeltsidige repræsentation.

En række forskellige neurotransmittere findes i bulbus olfactorius. Mitralceller benytter glutamat, mens korncellerne (dendrodendritiske synapser, da de mangler axoner, de er kobles elektrisk til hinanden), frisætter GABA. En gruppe interneuroner bruger også dopamin. Af andre transmittorer findes der glysin og noradrenalin.



© John Wiley & Sons, Inc.

Smagsimpulser kommer fra kemoreceptorerne i smagsløg, som findes i epitelet på tungen. Smagsløgene sidder i små forhøjninger af slimhinden, såkaldte papiller. Papiller vallata sidder i en tværgående række bagest i tungen, mens mindre papiller, papilla foliata, sidder på bagsiden bagtil, og papilla fungiformis, fortil på tungen.

Smagsløgene er opbygget af 100 langstrakte støtteceller og sanseceller med sansehår. Sansehårene fra alle sanseceller i et løg samles mod en lille åbning i epitelet, smagsporen. Her kommer sansecellernes membran i kontakt med stoffer opløst i væske. Rundt om sansecellerne er der endeforgreningerne af de sensoriske neuroner. Smagsstoffer fører til depolarisering af sansecellen. Der frigøres ATP, som udløser aktionspotentialer i den afferente nervefiber. ATP virker på ionotrope purinerge receptorer i membran.

Der er 4 forskellige smag: surt, salt, sødt og bitter. Forskellige kombinationer kan forklare de talrige forskellige smag vi kender. Den 5. smag er umami, der på japansk betyder velsmagende. Saltede og sure stoffer depolariserer smagsceller ved direkte virkningen på H- og Na-ionkanaler, mens søde og bitre stoffer og glutamat virker indirekte via G-proteinkoblede receptorer i sansecellernes apikalmembran. For sure stoffer er koncentration af H⁺ er afgørende. De lukker K-kanaler i den apikale membran og derved depolariserer sansecellen. Saltsmag opstår ved virkningen på Na-kanaler i den apikale membran. Når koncentrationen af Na stiger omkring apikalmembranen, går den ind i kanalen, så cellen depolariseres. Sød smag og umami er formidlet af samme receptorer (T1R), som hører til samme gruppe af G-proteinkoblede receptorer, som metabotrope glutamat- og GABA-receptorer. Bitter smag er koblet til receptorfamilie (T2R).

Fra sansecellerne i smagsløgene på tungen fører chorda tympani fra n. facialis de afferente smagsfibre fra de forreste 2/3 af tungen, mens n. glossopharyngeus indeholder smagsfibre fra de bageste 1/3 del af tungen. Alle fibre ender i den øverste del af nucleus solitarius på den samme side, som de kommer ind. Neuroner i nucleus solitarius sender axoner til flere mål. De går til kernerne for spytkirtlerne og den motoriske vaguskerne, som styrer mavesækkens sekretion. En del neuroners axoner sender axoner til hypothalamus, hvorfra påvirkes overordnede centre for autonome funktioner af smagsimpulser. Direkte fibre fra nucleus solitarius ender i thalamus (VPM) og derfra kan smagssignaler nå hjernebarken. Fibrene når også til det parabrachiale område i pons, derfra til thalamus (VPM) og amygdala. Smagsimpulser ender i insula i nær eller i samme område som modtager lugteinformationen. Smagsimpulser ender også i ansigtsområdet (området for tungen) i SI. Tilsammen udgør disse områder den primære smagsbark. Den vigtigste informationsvej går videre til orbitofrontal cortex, hvor der sker en yderligere integration og behandling af smag, lugt og andre sansemodaliteter. Her kan neuroners i orbitofrontal cortex blive påvirket af signaler fra præfrontal cortex og amygdala, så smagsinformationen kan sættes ind i en rette sammenhæng i forhold til hukommelse og sindstilstand.