

NEURO

Leesexemplaar

NEURO

Het zenuwstelsel en de relatie
tussen hersenen en gedrag

RUDI D'HOOGHE

Pelckmans Pro

© 2018, Rudi D'Hooge en Pelckmans Pro
Pelckmans Pro maakt deel uit van Pelckmans uitgevers nv
www.pelckmansuitgevers.be
Brasschaatsteenweg 308, 2920 Kalmthout, België

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, op welke wijze ook, zonder de uitdrukkelijke voorafgaande en schriftelijke toestemming van de uitgever, behalve in geval van wettelijke uitzondering. Informatie over kopieerrechten en de wetgeving met betrekking tot de reproductie vindt u op www.reprobel.be.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored or made public by any means whatsoever, whether electronic or mechanical, without prior permission in writing from the publisher.

Omslagontwerp: Nanja Toebak
Zetwerk: Crius Group
Tekeningen: Patricia Poels en Crius Group

D/2018/13955/32
ISBN 978 94 6337 082 0
NUR 773/874

pelckmanspro.be
pelckmanspro.nl

 Pelckmans Pro

Inhoudsopgave

Woord vooraf	7	
Hoofdstuk 1	Perifeer en centraal zenuwstelsel	11
Hoofdstuk 2	Zenuwcellen en steuncellen	37
Hoofdstuk 3	Neurale signalen	61
Hoofdstuk 4	Ontwikkeling van het zenuwstelsel	82
Hoofdstuk 5	Synapsen, neurotransmitters en psychofarmaca	102
Hoofdstuk 6	Somatosensorische waarneming	130
Hoofdstuk 7	Zien, horen, ruiken en proeven	150
Hoofdstuk 8	Bewegen	176
Hoofdstuk 9	Waken en slapen	193
Hoofdstuk 10	Cognitie	215
Hoofdstuk 11	Emotie	238
EPILOOG – Het individuele brein	253	
Aanbevolen en aanvullende literatuur	261	

Woord vooraf

Er zijn weinig mensen niet geïnteresseerd in de werking van de hersenen. Ondertussen weten we immers allemaal dat ons gedrag wordt aangestuurd door ons zenuwstelsel en in het bijzonder onze hersenen. Dat we niet met ons hart, maar wel met onze hersenen verliefd worden. Dat we kunnen nadenken en dingen onthouden dankzij onze hersenen. We beseffen helaas eveneens dat, wanneer er wat misloopt met de werking van onze hersenen, er ernstige problemen kunnen optreden. Problemen en functionele beperkingen die vaak nog moeilijk te behandelen of te voorkomen zijn. Het voorliggende boek richt zich in principe tot iedereen met een fascinatie voor de hersenwerking. In het bijzonder richt het boek zich uiteraard tot de student die zich wil bekwamen in de wetenschappelijke studie van de werking van het zenuwstelsel (de neurowetenschappen), maar ook tot de beginnende professional die wenst bij te dragen aan de behandeling of de begeleiding van personen met hersenaandoeningen.

De neurowetenschappen van de 21ste eeuw is een van de meest actieve wetenschapsgebieden. Duizenden wetenschappers van over de ganse wereld dragen bij tot onze gestadig groeiende kennis van de werking van het zenuwstelsel. Het boek *Principles of Neural Science* van Nobelprijswinnaar Eric Kandel en collega's is wellicht het meest leidinggevende boek in dit vakgebied. De eerste uitgave van 1981 telde nog geen 500 bladzijden, in tegenstelling tot de nieuwste editie van meer dan 1 700 pagina's. Een duidelijk voorbeeld van onze groeiende kennis, maar ook een illustratie van de berg van neurowetenschappelijke artikelen en boeken waar de beginnende student of geïnteresseerde tegen aankijkt. Het voorliggende boek voorziet daarom een beknopte,

Nederlandstalige inleiding tot dit boeiende onderwerp. Elk hoofdstuk begint met een korte historische noot, maar vangt dan onmiddellijk aan met een overzicht van een bepaald aspect van de werking van het zenuwstelsel. Dit boek vereist weinig biologische voorkennis, maar bevat anderzijds geen uitvoerige beschrijvingen of voorbeelden. We wilden de lezer vooral een eerste, bevattelijk overzicht geven van dit uitgebreide gebied, zodat de uitgebreide literatuur toegankelijk wordt. Hoewel dit boek, zoals gezegd, geen uitgebreide voorkennis vereist, is het wellicht niet eenvoudig, vooral ook omdat er geen gebruik wordt gemaakt van een van de belangrijkste didactische technieken: herhaling. Alles wordt slechts een keer gezegd en wel zo beknopt mogelijk. Op het einde van het boek geven we echter een lijst van meer omvangrijke werken die ten eerste de basis vormden van dit boek en ten tweede de materie verder uitdiepen en illustreren. We hopen immers dat deze tekst de volgende generatie van toekomstige wetenschappers en enthousiaste professionals niet enkel inleidt in een van de boeiendste kennisgebieden, maar vooral ook de aanzet geeft tot verdere studie ...

De eerste drie hoofdstukken maken de lezer vertrouwd met de bouw en de functie van het zenuwstelsel. De verschillende delen van het centrale en het perifere zenuwstelsel worden getoond en er wordt vervolgens ingegaan op hun cellulaire opbouw. In het derde hoofdstuk maken we duidelijk dat het zenuwstelsel in de eerste plaats een orgaansysteem is, dat bestaat uit exciteerbare cellen die signalen kunnen ontvangen en uitsturen. Vervolgens gaan we in op een van de nog minst begrepen aspecten van het zenuwstelsel, met name hoe deze ingewikkelde structuur tot ontwikkeling komt vanuit een klein groepje embryonale cellen. Bovendien stopt deze ontwikkeling niet tijdens de embryonale of foetale fase, maar gaat door tot lang na de geboorte. We zouden zelfs kunnen beweren dat ons zenuwstelsel ons leven lang blijft evolueren. De complexiteit en de fragiliteit van dit ontwikkelingsproces worden geïllustreerd door het feit dat vele aandoeningen van de hersenen en het zenuwstelsel terug te voeren zijn naar een stoornis in hun ontwikkeling. Het vijfde hoofdstuk geeft een overzicht van de chemische processen die

aan de basis liggen van de communicatie tussen cellen van het zenuwstelsel. Vermits het zenuwstelsel inderdaad gebruik maakt van chemische processen en neurotransmitters om signalen door te geven, kan de werking van het zenuwstelsel ook door de toediening van chemische stoffen worden beïnvloed. Deze vaststelling heeft geleid tot het ontstaan van de neuro- en psychofarmacologie, wetenschappelijke disciplines die een revolutie betekenden in de behandeling van allerhande hersenaandoeningen. Helaas vormt dit ook de oorzaak van verslaving, een van de meest ingrijpende en hardnekkige problemen waar de menselijke samenleving mee kampt. Hoofdstukken 6 tot en met 8 beschrijven de manier waarop ons zenuwstelsel prikkels vanuit de omgeving opvangt en verwerkt en vervolgens gebruikt om bewegingen en responsen aan te sturen. Hoofdstuk 9 overloopt de processen die instaan voor de bewaking van de lichaamsprocessen en de slaap. Hoewel we ongeveer een derde van ons leven slapend doorbrengen, weten we nog steeds niet precies waarom slaap zo belangrijk is voor de werking van ons zenuwstelsel. Hoofdstukken 10 en 11 bespreken de hersenprocessen die aan de basis liggen van kennis (cognitie) en emotie. Processen die in de klassieke filosofie tegenover elkaar werden geplaatst, maar in werkelijkheid sterk overlappen. Het laatste hoofdstuk sluit af met een centraal thema van de hedendaagse neurowetenschappen: neuroplasticiteit. Het is een thema dat niet alleen het meest karakteristieke aspect van het menselijke zenuwstelsel illustreert. Het is een thema dat onze ganse psychologie samenvat, een thema van quasi eindeloze kneedbaarheid van onze hersenen. Het vermogen nieuwe dingen te leren tot op het einde van ons leven. Het is bovendien een thema van hoop en de basis van alle interventies en therapeutische ingrepen. Het is de reden waarom we veronderstellen dat alle kinderen en volwassenen in staat zijn te leren en hun gedrag te verbeteren. Zonder vertrouwen in de kneedbaarheid van de werking van ons zenuwstelsel zouden we er niet van uitgaan dat kinderen met leerstoornissen baat hebben bij professionele ondersteuning, psychiatrische patiënten geholpen worden door therapeutische begeleiding of mensen met hersentrauma kunnen revalideren. Het is misschien nog

de belangrijkste reden waarom kennis van de neurowetenschappen relevant is voor iedereen ...

Deze tekst is tot stand gekomen dankzij de hulp van verschillende personen. Allereerst de honderden studenten die ik elk jaar mag begeleiden in hun eerste kennismaking met deze complexe materie en de vele andere geïnteresseerde mensen die me voortdurend vragen stellen over de werking van het zenuwstelsel – vragen die ik vaak zelf niet meteen kan beantwoorden. De interacties en discussies met studenten en andere geïnteresseerden hielpen me bepalen op welke manier deze complexe materie het best gepresenteerd wordt en welke thema's het meest van belang zijn. Daarnaast wil ik ook psychologen Aline Sevenants en Paulien Odent bedanken voor hun hulp met de basisteksten. Ten slotte dank ik uitgever Nancy Derboven voor de jarenlange steun en aanmoediging, alsook Line Tuymans, Patricia Poels, Crius Group en de medewerkers van Uitgeverij Pelckmans Pro.

Perifeer en centraal zenuwstelsel

Cellen, weefsels en organen

Andries Van Wesel (1514-1564), die we vooral kennen onder zijn gelatiniseerde naam Andreas Vesalius, werd in Brussel geboren en studeerde aan de universiteiten van Leuven, Padua en Parijs. Hij wordt beschouwd als een van de grootste anatomen aller tijden. Vesalius maakte precieze beschrijvingen en tekeningen van het menselijk lichaam, inclusief de hersenen en het zenuwstelsel. Deze waren gebaseerd op de nauwgezette dissectie van lijken, wat hem trouwens in ernstige problemen bracht met de inquisitie. Het scheelde niet veel of men had hem ervoor geëxecuteerd. Vesalius was zijn tijd ver vooruit en verzette zich tegen het middeleeuwse idee dat de menselijke ziel verblijft in de ventrikels van de hersenen. Hij identificeerde de hersenen als het belangrijkste orgaan voor onze intelligentie en ons bewegings- en waarnemingsvermogen.

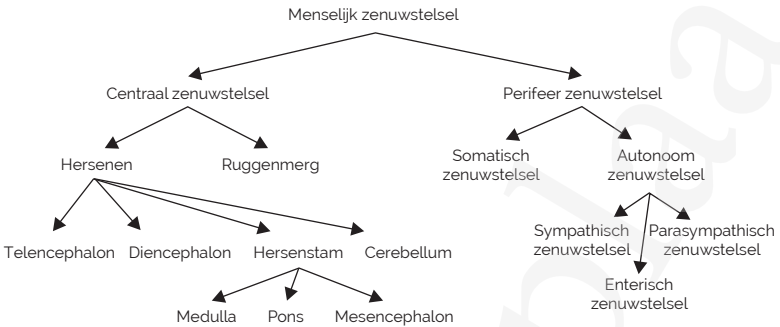
Anatomie is de biologische studie van de morfologie of bouw van organismen. In de anatomie spreken we van orgaanstelsels of -systemen, organen en weefsels. Verschillende orgaanstelsels bestaan uit organen die functioneel samenwerken. Bijvoorbeeld: het spijsverteringsstelsel bestaat uit de slokdarm, de maag, de lever, de pancreas, enzovoort, terwijl het zenuwstelsel bestaat uit de hersenen, het ruggenmerg, enzovoort. Organen zijn onderdelen van het lichaam met een specifieke functie, die opgebouwd zijn uit verschillende weefseltypes. Met een weefsel bedoelen we verzamelingen van gespecialiseerde cellen die een gemeenschappelijke functie vervullen in het lichaam. Weefsels bestaan uit drie componenten: cellen, intercellulaire substantie en weefselvocht. De fijne

opbouw van weefsels wordt bekeken in de histologie (weefselleer). Ten slotte definiëren we de fysiologie als de studie van de levensprocessen, die zich afspelen in levende wezens. Deze levensprocessen zijn gebaseerd op de chemische samenwerking tussen vele verschillende structurele en functionele moleculen (biochemie). In de anatomie en de histologie kijken we naar de structuur, in de fysiologie naar de functie, maar uiteraard kunnen we de fysiologie niet begrijpen zonder morfologische kennis en omgekeerd. Wanneer we het enkel over de structuur en de functie van het zenuwstelsel hebben, dan spreken we respectievelijk over neuroanatomie, neurohistologie en neurofysiologie.

Delen van het zenuwstelsel

Op het meest algemene anatomische niveau bestaat het menselijke zenuwstelsel uit het centrale en het perifere zenuwstelsel. Het centrale zenuwstelsel omvat de hersenen en het ruggenmerg. Alle zenuwcellen (neuronen) of zenuwuitlopers buiten de hersenen of het ruggenmerg vormen het perifere zenuwstelsel. Bundels van zenuwuitlopers vormen een netwerk van zenuwen, dat zich over het ganse lichaam uitstrekt. Het centrale zenuwstelsel ontvangt een continue stroom van informatie, die zowel van externe (buiten het lichaam) als van interne (binnen het lichaam) oorsprong kan zijn. Deze informatie wordt aangeleverd door de afferente (aanvoerende) zenuwen van het perifere zenuwstelsel, die zintuigcellen in verschillende organen en weefsels met het centrale zenuwstelsel verbinden. De efferente (wegvoerende) zenuwen van het perifere zenuwstelsel sturen prikkels vanuit het centrale zenuwstelsel naar de rest van het lichaam.

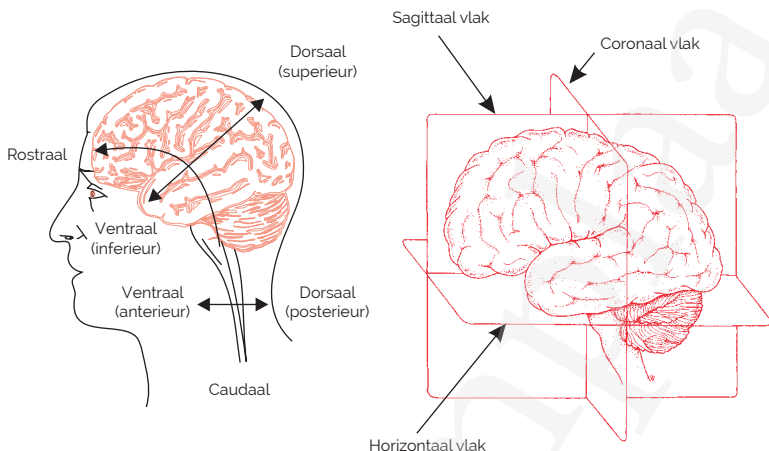
In het perifere zenuwstelsel maken we een klassiek onderscheid tussen het somatische en het autonome gedeelte. Het autonome gedeelte staat in voor de neuronale connecties naar klieren en gladde spieren van de inwendige organen. Het somatische deel omvat efferente en afferente zenuwen, die ervoor zorgen dat sensorische en motorische prikkels van en naar het centrale zenuwstelsel worden geleid. De zenuwen die ontspringen in de hersenen noemen we de craniale zenuwen, deze in



verbinding met het ruggenmerg zijn de spinale zenuwen. Efferente zenuwen zijn motorisch en transporteren impulsen van het centrale zenuwstelsel naar de spieren. Afferente zenuwen zijn sensorisch van aard en vervoeren informatie vanuit de zintuigreceptoren in het lichaam naar het centrale zenuwstelsel. Spinale zenuwen zijn steeds gemengd sensorisch en motorisch, craniale zenuwen zijn ofwel gemengd, ofwel uitsluitend motorisch of sensorisch.

Het zenuwstelsel in beeld

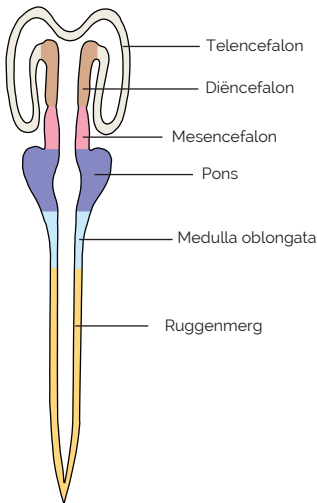
Bij de beschrijving van anatomische posities in de hersenen en andere delen van het zenuwstelsel worden verschillende assen en vlakken gebruikt. Termen als boven-onder of voor-achter zijn vaak dubbelzinnig omdat er verschillende assen en vlakken met verschillende oriëntaties te onderscheiden zijn. De as van het ruggenmerg loopt quasi verticaal, de as van het voorste deel van de hersenen loopt horizontaal en die van het achterste deel van de hersenen loopt schuin. Rostraal (naar het Latijn voor snavel, rostra) wil zeggen in de richting van de neus, caudaal (naar het Latijn voor staart, cauda) in de richting van de voeten. Anatomische posities aan de voorzijde van het lichaam noemen we ventraal (naar het Latijn voor buik, venter) of anterior, aan de achterzijde spreken we van dorsaal (naar het Latijn voor rug, dorsa) of posterior. Posities die zich meer aan de zijkant bevinden noemen we lateraal.



Naast de verschillende assen kennen we ook verschillende snijvlakken of doorsneden. Deze snijvlakken worden niet enkel in klassieke anatomische dissecties gebruikt, maar ook in de moderne beeldvorming met behulp van scanners, waarbij het lichaam natuurlijk niet echt wordt doorgesneden. Het verticale vlak dat loopt van het ene oor tot het andere, noemen we het coronale vlak. Een horizontale doorsnede van het brein loopt eveneens van oor tot oor, maar staat loodrecht op het coronale vlak. Een sagittale doorsnede volgt een verticaal vlak, dat de hersenen van voren naar achteren doorsnijdt en de linker- en de rechterhelft van het zenuwstelsel scheidt. Het sagittale vlak spiegelt de twee helften van het zenuwstelsel, dat immers bilateraal symmetrisch is.

Verschillende delen van het centrale zenuwstelsel

De hersenen van een volwassene wegen ongeveer 1,5 kg en maken zowat 2,5% van het totale lichaamsgewicht uit. Naar schatting bevatten onze hersenen circa 100 miljard zenuwcellen. We onderscheiden witte en grijze stof in het centrale zenuwstelsel om hersenweefsel aan te duiden dat bestaat uit zenuwverbindingen (witte stof) en de cellichamen van de zenuwcellen (grijze stof). De buitenste schorslaag (cortex) van verschil-



lende hersendelen bestaat uit grijze stof, maar ook in de diepte van de hersenen vinden we kernen van grijze stof, die specifieke functies vervullen. Van rostraal naar caudaal onderscheiden we verschillende grote delen van de hersenen, die niet alleen anatomisch, maar ook functioneel van elkaar verschillen. De hersenen worden beschermd door hersenvliezen en het bot van de schedel. Helemaal vooraan vinden we het telencephalon – het grootste deel van de menselijke hersenen dat de cerebrale hemisferen omvat. Dit wordt gevolgd door het

diencephalon – het telencephalon en het diencephalon vormen samen het prosencephalon (voorhersenen). Het eerste stukje van de hersenstam is het mesencephalon (tussenhersenen). De hersenstam bestaat verder nog uit pons en medulla oblongata. Het cerebellum (kleine hersenen) zit aangehecht op de hersenstam en is ook intens verbonden met hersenstamkernen – ondanks zijn naam bevat het immense aantallen neuronen.

De meest caudale delen van de hersenen sluiten aan op het ruggenmerg. De hersenstam gaat aldus over in het ruggenmerg (medulla spinalis), dat omringd wordt door ruggenmergvliezen en ruggenwervels. Het menselijke ruggenmerg is 40-45 cm lang en heeft een doorsnede van circa 1 cm.

Telencephalon

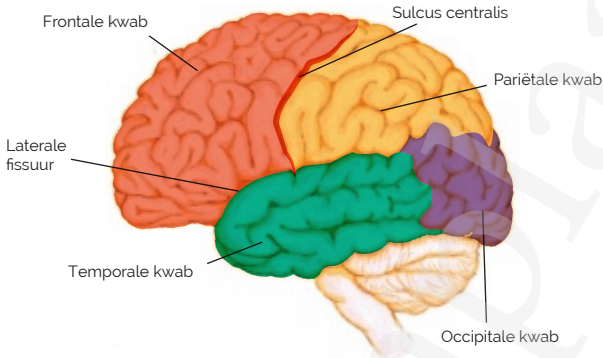
Het telencephalon (of grote hersenen) bestaat uit twee hersenhemisferen die verbonden zijn via het corpus callosum en gescheiden worden door de grote longitudinale fissuur (fissura longitudinalis cerebri). De buiten-

kant van de hemisferen wordt gevormd door het geplooid oppervlak van de cerebrale cortex met daaronder de witte stof van de zenuwvezels. De cerebrale cortex (hersenschors) is een laag van zogenaamde grijze stof, die veel bloedvaten en cellen van cerebrale zenuwcellen bevat en bestaat uit zes lagen. Het corticale oppervlak is sterk geplooid en bevat vele groeven (groef of sulcus), diepe groeven (fissuren) en windingen (winding of gyrus). De witte stof bevindt zich onder de hersenschors en bestaat uit de uitlopers van neuronen (axonen of zenuwvezels), die informatie van en naar de cortex transporteren en die georganiseerd zijn in zenuwbanen (baan of tractus). Associatievezels verbinden verschillende delen van de cortex binnen dezelfde hemisfeer, terwijl commissurale vezels de twee hersenhemisferen verbinden. De grootste commissurale vezel is het corpus callosum, dat de twee hersenhelften verbindt. Projectievezels verzorgen de verbindingen tussen de hersenstam en de cortex.

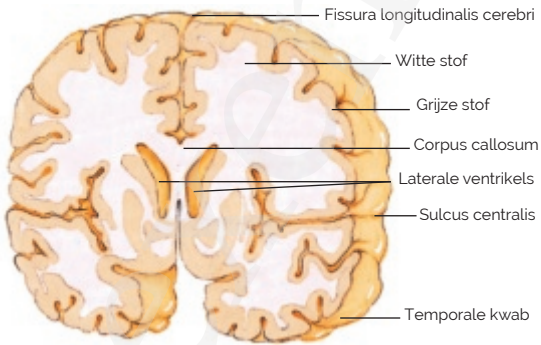
We onderscheiden vier grote hersenkwabben of -lobben in de grote hersenen. De frontale kwab bevindt zich het meest anterior en wordt van de rest van de cortex gescheiden door de fissuur van Rolando (sulcus centralis). Posterior aan de frontale kwab, dus achter de sulcus centralis, ligt de pariëtale kwab met daarachter het meest posterieure deel van de cortex, de occipitale kwab. De temporale kwab ligt ten slotte inferior ten opzichte van de frontale en de pariëtale kwabben en is ervan gescheiden door de fissuur van Sylvius (sulcus lateralis). Uiteraard berust de hersenfunctie vooral op de geïntegreerde samenwerking tussen verschillende hersengebieden, maar er is toch een zekere taakverdeling tussen de hersenkwabben. Zo zijn de frontale kwabben betrokken bij spraak en redeneren, emoties en de controle van bewegingen. Het meest anterior deel, de prefrontale cortex, heeft uitgebreide verbindingen met de thalamus en het limbisch systeem en speelt een rol in bepaalde hogere geheugen- en denkprocessen, emotioneel gedrag, motivatie en keuze en planning van gedragingen in functie van de omgevingscontext (executieve functies). Het anterior deel van de pariëtale kwabben (de somatosensorische cortex) ontvangt en interpreteert gewaarwordingen zoals tast, temperatuur en pijn, terwijl het posterieure deel sensorische

Hoofdstuk 1. Perifeer en centraal zenuwstelsel

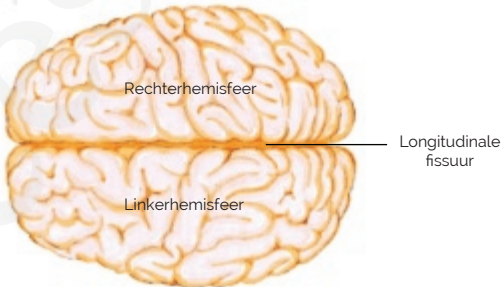
Lateraal



Coronale doorsnede



Dorsaal



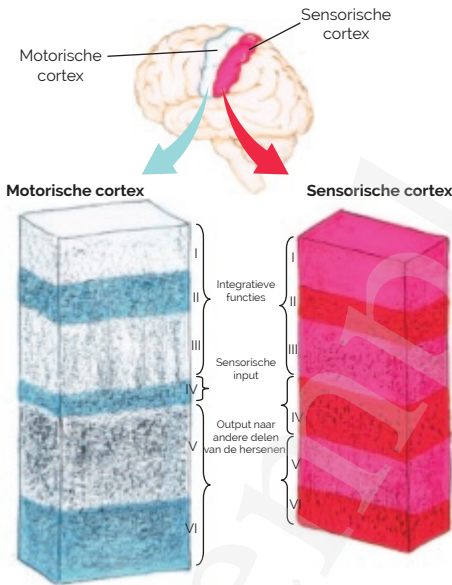
input van de somatische en sensorische regio's integreert (voornamelijk voor de controle van bewegingen). De occipitale kwabben ontvangen en verwerken visuele input en de temporale kwabben zijn betrokken bij het begrijpen van gesproken taal, gehoor en geheugen.

Cerebrale cortex

De grijze stof van de grote hersenen bestaat uit cellichamen van neuronen en gliacellen, de witte stof uit zenuwuitlopers of axonen die met een myelineschede omringd zijn. De buitenste laag van grijze stof, die intens doorbloed wordt, noemen we de hersenschors (cerebrale cortex of cortex cerebri). Deze cortex bestaat bij de mens hoofdzakelijk uit een gelaagd hersenweefsel (2-4 mm dik), de neocortex (ook wel neopallium of isocortex genoemd). De neocortex is betrokken bij hogere functies zoals het uitvoeren van complexe bewegingen, informatieverwerking, redeneren, abstract denken en spreken. Hij bestaat uit zes lagen (lagen I tot VI). Van buiten naar binnen vinden we achtereenvolgens:

- I. moleculaire laag (lamina molecularis)
- II. buitenste korrellaag (lamina granularis externa)
- III. buitenste piramidelaag (lamina pyramidalis externa)
- IV. binnenste korrellaag (lamina granularis interna)
- V. binnenste piramidelaag (lamina pyramidalis interna)
- VI. spoelvormige laag (lamina fusiformis)

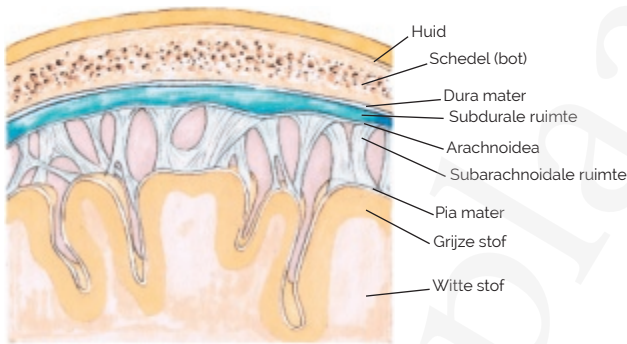
Deze lagen zijn niet scherp afgelijnd en bevatten verschillende verhoudingen van neuronen en steuncellen. Het typisch cerebrale neuron, de piramidecel, vinden we in lagen III en V, maar vaak ook in de andere lagen. Piramidecellen projecteren hun lange efferente uitlopers naar het ruggenmerg of andere corticale gebieden. De korrelcellen van lagen II en IV maken meer lokale contacten. De neocortex kan erg verschillend zijn in de verschillende delen van de hersenen. Zo is bijvoorbeeld laag IV grotendeels afwezig en laag V sterk ontwikkeld in de primaire motorische cortex (daarom ook wel agranulaire cortex genoemd), terwijl korrellaag IV sterk en laag V minder sterk ontwikkeld zijn in de primaire soma-



tosensorische cortex en primaire visuele cortex. Naast een horizontale structuur van lagen heeft de neocortex ook een verticale structuur van corticale kolommen. Deze kolommen van parallelle bundels piramidedellen vormen functionele eenheden, die door alle schorslagen heen lopen.

Hersenvliezen

Het centrale zenuwstelsel (hersenen en ruggenmerg) wordt omhuld door stevige bindweefselmembranen en benige structuren (schedel en wervelkolom). Drie hersenvliezen omgeven de hersenen en zetten zich verder rond het ruggenmerg waar ze de ruggenmergvliezen vormen. Het buitenste harde hersenvlies of de dura mater is vergroeid met het beenvlies aan de binnenzijde van de schedel. Tussen dura mater en arachnoidea bevindt zich de subdurale ruimte. Het middelste hersenvlies, het spinenwebvlies of arachnoidea, is rijk aan bloedvaten en bestaat uit een dun



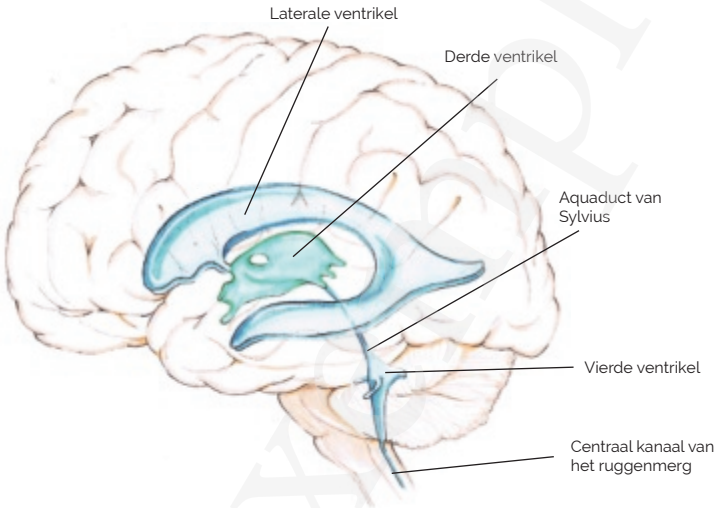
membraan en fijne, netvormige bindweefselbalkjes die het membraan verbinden met de dura mater en de pia mater. De arachnoidea overbrugt de groeven van de hersenoppervlakken, waardoor er zich onder dit vlies op verschillende plaatsen met hersenvocht gevulde holtes bevinden. Tussen arachnoidea en pia mater is de subarachnoïdale ruimte gelegen. Onder de arachnoidea vinden we het zachte hersenvlies of pia mater dat dun en bloedvatrijk is en direct tegen de hersenmassa aanligt. Hierdoor loopt het in alle groeven van het hersenoppervlak.

Hersenventrikels en cerebrospinaal vocht

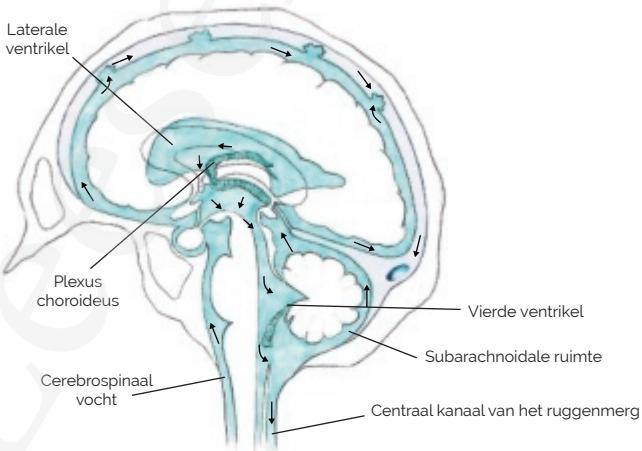
De hersenventrikels, de ruimtes tussen de hersenvliezen en het centrale kanaal van het ruggenmerg, zijn gevuld met een heldere vloeistof, het cerebrospinale vocht (CSV of liquor cerebrospinalis). De ventrikels of inwendige holtes ontstaan tijdens de groei van de hersenen en staan met elkaar in verbinding. De laterale ventrikels van de grote hersenhemisferen zijn grote holtes die samenkomen in de derde ventrikel ter hoogte van de tussenhersenen. De derde ventrikel staat vervolgens in verbinding met de vierde ventrikel in de hersenstam via een smal kanaal, het aquaduct van Sylvius, dat doorheen het mesencephalon loopt. Het CSV wordt aangemaakt door de plexus choroïdeus, een bloedvatrijke structuur aan de rand van de hersenventrikels, waar de pia mater en het hersenweefsel elkaar raken. Hersenvocht wordt voornamelijk door

de plexus van de laterale ventrikel en in geringere mate in de derde en vierde ventrikel geproduceerd. Cellen van de plexus choroideus filteren hersenvocht uit het bloed en scheiden het gevormde CSV vervolgens uit in de ventrikels.

Hersenventrikels



Circulatie van het cerebrospinale vocht



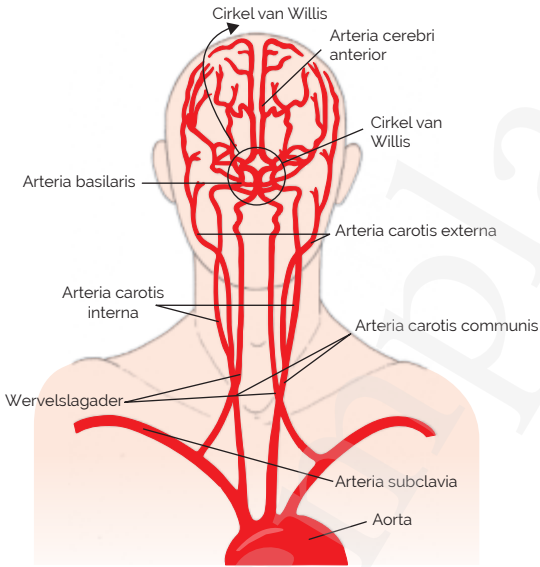
De continue productie door de plexus choroideus en de heropname verder stroomafwaarts zorgen voor een bestendige circulatie van CSV. Het geproduceerde CSV vloeit uit het ventrikelsysteem doorheen de subarachnoidale ruimte rond de hersenen en het ruggenmerg, waarna het door bloedvaten wordt gereabsorbeerd. De totale hoeveelheid CSV bedraagt ongeveer 150 ml en elke dag wordt er 500 ml geproduceerd, waardoor de vloeistof verschillende keren per dag hernieuwd wordt. De hersenventrikels en de aansluitende ruimtes en kanalen vormen een doorlopend liquorsysteem waarin het CSV circuleert. Het CSV houdt de hersendruk op peil, fungeert als schokdemper en zorgt voor transport van voedingsbestanddelen en afvalstoffen.

Hersendoorbloeding

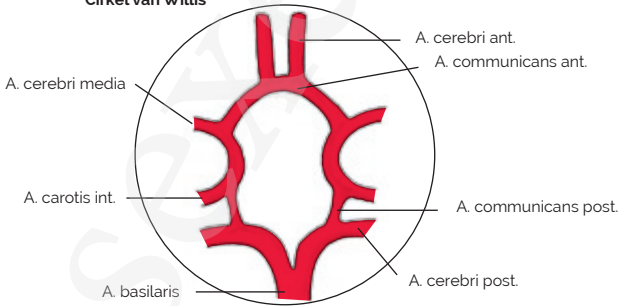
Een actief weefsel zoals het hersenweefsel moet uiteraard goed doorbloed worden om te zorgen voor de aanvoer van zuurstof en voedingsbestanddelen en de afvoer van afvalstoffen. Enkele grote hersenslagaders staan in voor de cerebrale bloedvoorziening. Deze hersenslagaders vertakken verder om elk stukje van de hersenen van bloed te voorzien. Een beroerte of herseninfarct wordt veroorzaakt door een onderbreking in de bloedvoorziening, waardoor zuurstoftekort ontstaat en een stukje hersenweefsel afsterft (cerebrovasculair accident of CVA). Hersencellen raken snel beschadigd wanneer de bloedtoevoer stilvalt (ischemie). Afhankelijk van welk deel van de hersenen door een CVA wordt aangetast, zal dit leiden tot verlammingen, spraakproblemen of geheugenstoornissen (kunnen zelfs na revalidatie blijvend zijn).

Toevoer van zuurstofrijk bloed naar de hersenen gebeurt door grote halsslagaders (de carotiden) en wervelslagaders (arteriae vertebrales). De twee wervelslagaders vormen de arteria basilaris, die centraal, onderaan de hersenen ligt. De arteria basilaris voorziet het binnenoer en delen van de hersenen van bloed, en occlusie van deze belangrijke slagader veroorzaakt uiteraard ernstige complicaties (blindheid, verlamming). De carotiden en de wervelslagaders sluiten aan op de cirkel van Willis, een vaatkring van slagaders die het telencephalon en diencephalon van

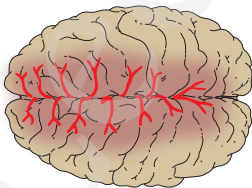
Hoofdstuk 1. Perifeer en centraal zenuwstelsel



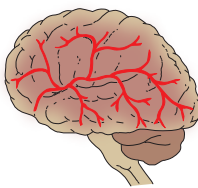
Cirkel van Willis



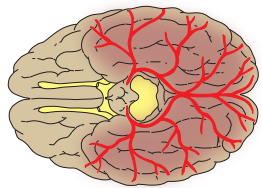
Arteria cerebri anterior



Arteria cerebri media



Arteria cerebri posterior



bloed voorziet. De cirkel van Willis beschermt de hersenen tegen ischémie. Als een slagader blokkeert, dan zorgt deze vaatkring dat er toch een verbinding blijft tussen de andere delen van de circulatie.

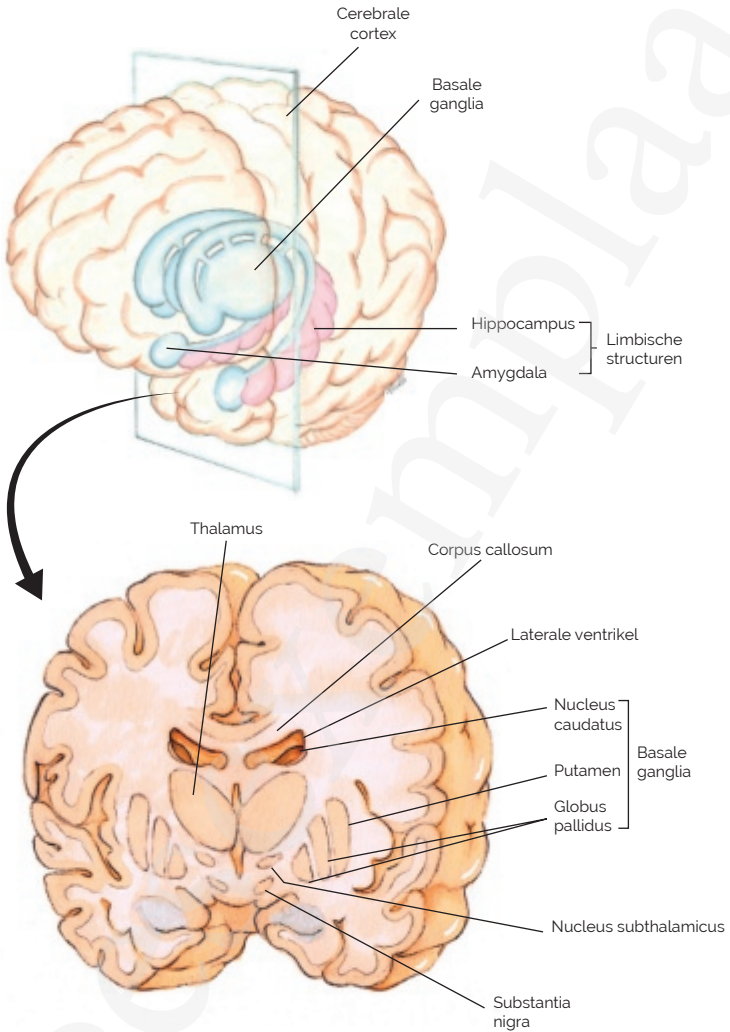
Grote hersenslagaders (arteriae cerebri) ontspringen uit de cirkel van Willis. De voorste hersenslagader (arteria cerebri anterior) voorziet de mediale en de dorsale zijden van de frontale en de pariëtale kwab van bloed. De middelste hersenslagader (arteria cerebri media) voorziet de laterale zijde en de diep gelegen delen van de frontale, de pariëtale en de temporale kwab van bloed. De hypothalamus en de hypofyse behoren zo eveneens tot het bevoeiingsgebied van deze slagader. Vertakkingen van de middelste hersenslagader verzorgen de basale ganglia en de capsula interna. Ten slotte verzorgt de achterste hersenslagader (arteria cerebri posterior) de doorbloeding van de occipitale en de temporale hersenkwab en de thalamus.

Diepe structuren van het telencephalon

Verschillende belangrijke structuren en kernen van grijze stof bevinden zich meer in de diepte van het telencephalon. De basale ganglia bestaan uit een aantal diep gelegen kernen van grijze stof rond de thalamus (nucleus caudatus, putamen, globus pallidus). Functioneel maken ze deel uit van het extrapiramidale systeem, een (motorisch) controlesysteem dat samenwerkt met de substantia nigra (in de hersenstam), de nucleus subthalamicus, het cerebellum en de motorische en frontale cerebrale cortex. Het striatum (nucleus caudatus en putamen) zal bewegingscommando's vanuit de cerebrale cortex versterken, verminderen of aanpassen. Hierdoor worden bepaalde bewegingen vergemakkelijkt, terwijl andere (soms ongewenste) bewegingen onderdrukt worden. We weten nu dat de basale ganglia echter ook een rol spelen in bepaalde cognitieve en emotionele functies.

Een tweede belangrijk systeem is het limbisch systeem, dat bestaat uit een ring van corticaal en subcorticaal weefsel op de grens tussen de neocortex en het diencephalon. De hippocampus en de amygdala behoren tot dit systeem, dat een rol speelt in het geheugen en de expres-

Hoofdstuk 1. Perifeer en centraal zenuwstelsel



sie van emoties. Deze structuren worden soms ook tot de archicortex gerekend, omwille van hun fylogenetische ouderdom (in tegenstelling tot de evolutionair recentere neocortex). De hippocampus wordt voornamelijk geassocieerd met de inprenting van nieuwe informatie en het vormen van herinneringen. De amygdala speelt een rol in sociaal gedrag en in de controle, uitdrukking en interpretatie van emotionele reacties (bijvoorbeeld angst).

Diencephalon

Het diencephalon ligt rostraal van de hersenstam en bevat onder meer de thalamus en de hypothalamus. De thalamus ontvangt zenuwbanen van de somatosensorische en motorische systemen in hersenen en ruggenmerg. Deze belangrijke en grote structuur bevat verschillende zenuwkernen, zoals de nucleus dorsomedialis, de nucleus geniculatus lateralis en de nucleus geniculatus medialis, die een rol spelen in de verwerking van auditieve en visuele informatie. De thalamus is een soort schakelstation dat informatie doorstuurt naar de gespecialiseerde

