

Van oerknal tot bewustzijn: de ontwikkeling van Het menselijke brein



Ontwikkeling van het menselijke brein

Het menselijke brein is het resultaat van een lange keten van gebeurtenissen. Die ontwikkeling gaat van het ontstaan van het leven op aarde tot de complexe hersenstructuren en processen die ons denken en voelen bepalen. In dit overzicht bespreken we deze weg met daarop de belangrijkste onderdelen van het brein. We behandelen achtereenvolgens:

- de oorsprong van het leven tot aan de eerste hersenen;
- de evolutionaire hersenstructuren (onder andere het reptielenbrein, limbisch systeem en neocortex);
- hoe neuronen verbinding maken en zich ontwikkelen (synapsen, myeline, plasticiteit, pruning);
- ten slotte een aantal belangrijke neurotransmitters en hun functies. Oorsprong van het leven

Ongeveer 13,8 miljard jaar geleden ontstond het heelal met de oerknal . Onze planeet Aarde vormde zich circa 4,5 miljard jaar geleden en was aanvankelijk zeer heet en dus onbewoonbaar . Nadat de aarde afkoelde en oceanen ontstonden, konden in de zogenaamde “oersoep” de eerste bouwstenen van het leven gevormd worden . Uit chemische reacties ontstonden de eerste eencellige organismen: simpele cellen met een membraan, wat eiwitten en genetisch materiaal. Deze eencelligen waren in staat zichzelf te delen en plantten zich op deze manier voort. Er zijn fossiele sporen van bacterieel leven gevonden van minstens 3,8 miljard jaar oud, bijna zo oud als de aarde zelf. Deze oerbacteriën markeren het begin van de biologische evolutie op aarde.

Evolutie van één- naar meercellig leven

Lange tijd bestond al het leven uit eencelligen. Zo’n 2,1 miljard jaar geleden verschenen de eerste meercellige levensvormen . Meercellige organismen boden een voordeel: cellen konden zich nu specialiseren in verschillende functies. Denk aan aparte cellen voor voeding, beweging of stevigheid. Door specialisatie konden organismen groter en complexer worden. Om al die gespecialiseerde cellen samen te laten werken, ontstond de noodzaak voor communicatie tussen cellen. Een taak die uiteindelijk zou leiden tot een coördinerend zenuwstelsel.

Ontstaan van zenuwcellen en eenvoudige hersenen

In primitieve meercellige dieren ontwikkelden sommige cellen zich tot neuronen, gespecialiseerde cellen voor snelle signaalgeleiding. Enkelvoudige organismen kenden al chemische prikkels voor beweging, maar met de komst van neuronen konden complexe dieren signalen efficiënt en gericht verspreiden . De eerste dieren met zo’n zenuwstelsel waren waarschijnlijk eenvoudige waterdieren zoals kwallen en hydra’s (meer dan 600 miljoen jaar geleden). Deze hebben een diffuus zenuwnet, een netwerk van neuronen door het hele lichaam (nog zonder een centraal brein). Dit zenuwnet coördineert basisreacties op prikkels (zoals samentrekken bij aanraking), maar er is nog geen sprake van een echt “denkcentrum”.

Centralisatie tot de eerste ‘hersenen’

Naarmate dieren complexer werden en zich gericht voortbewogen, ontstond centralisatie van het zenuwstelsel. In bilaterale dieren (zeg maar met een voor- en achterkant (of vanuit menselijk perspectief gezien boven- en onderkant) ontwikkelde zich een zenuwstreng die langs het lichaam loopt, met aan de voorkant een concentratie van zenuwcellen (een primitief brein). Fossiele aanwijzingen suggereren dat zo’n wormachtig gemeenschappelijk voorouderdier rond 700 miljoen jaar geleden leefde. Hiermee was de basis gelegd voor een centraal zenuwstelsel. In de loop van de evolutie kregen bepaalde dieren steeds meer gespecialiseerde hersengebieden.

Van vis tot mens

Bij de eerste gewervelden, zoals oervissen (meer dan 500 miljoen jaar geleden), zien we al een indeling in een hersenstam (voor vitale functies), een eenvoudig cerebellum (kleine hersenen voor coördinatie) en voorlopers van hersenhemisferen (voor simpele reuk- en zichtverwerking) . Later ontwikkelden amfibieën en reptielen deze structuren verder. Rond 250 miljoen jaar geleden hadden reptielen een relatief geavanceerd reptielenbrein (met nog weinig tot geen hersenschors). Zoogdieren die ongeveer 150 miljoen jaar geleden verschenen, ontwikkelden een limbisch systeem voor emoties en begonnen een cortex te vormen. Bij de vroege primaten en vooral met het ontstaan van het geslacht Homo (ongeveer 2-3 miljoen jaar geleden) groeide de neocortex explosief. Dat leidde uiteindelijk tot het grote, geplooid brein van de moderne mens.

Ons brein draagt dus de geschiedenis van die evolutie in zich. Je kunt het zien als een huis dat op oude funderingen werd gebouwd met daar bovenop nieuwere bovenbouwen, of als een stad met oude wijken en moderne uitbreidingen eromheen . In het volgende gedeelte kijken we naar deze evolutionaire gelaagdheid

van het brein. We delen dit vaak op in het reptielenbrein, het zoogdierenbrein (limbisch systeem) en de neocortex.

Evolutionaire hersenstructuren

Een invloedrijk model om de opbouw van de hersenen te begrijpen is het model van neuroloog Paul MacLean. Hoewel de neurowetenschap vandaag de dag weet dat het brein niet werkelijk uit drie losse onderdelen bestaat, is het een handige analogie. Volgens dit model bestaat het brein uit drie delen die nog steeds in ons hoofd aanwezig zijn: een oeroud reptielenbrein voor instincten en levensfuncties, daaromheen het limbisch systeem (of “zoogdierenbrein”) voor emoties en herinneringen en ten slotte de neocortex (of “mensenbrein”) voor rationeel denken, bewustzijn en planning. Deze delen werken nauw samen als één geheel, maar we bespreken ze afzonderlijk om hun functies te verduidelijken.

Men kan het brein vergelijken met een orkest: het reptielenbrein slaat de basistonen aan, het limbisch systeem voegt emoties en kleur toe en de neocortex dirigeert het geheel tot een harmonieus samenspel.

Het reptielenbrein (hersenstam en basale kernen)

Het reptielenbrein is het oudste deel van onze hersenen. Het omvat structuren die we delen met reptielen (vandaar de naam) en zelfs met veel simpelere dieren. Anatomisch rekent men hiertoe vooral de hersenstam en de basale ganglia (basale kernen). Sommige modellen rekenen ook de kleine hersenen (cerebellum) tot dit oerbrein. Dit hersendeel verscheen evolutionair gezien als eerste, al bij vroege vissen honderden miljoenen jaren geleden.



Het reptielenbrein bestuurt de vitale lichaamsfuncties en instincten die direct met overleven te maken hebben. De hersenstam regelt onder andere onze hartslag, ademhaling, bloeddruk, lichaamstemperatuur en spijsvertering. De dingen waar we niet bij hoeven na te denken om in leven te blijven. Dit deel van het brein controleert ook de meest primaire reflexen (bijvoorbeeld de schrikreflex) en coördineert basale bewegingspatronen. De basale ganglia (die diep in het brein liggen) helpen bij het uitvoeren van

automatische routines en bewegingen (zoals lopen of dingen grijpen) en bij het vormen van gewoontes. Het reptielenbrein is dus als het ware onze “automatische piloot”: het handelt razendsnel en instinctief om ons veilig te houden. Bij acuut gevaar activeert dit deel de fight, flight of freeze respons zonder dat we daar bewust over hoeven na te denken (een mechanisme dat al bij primitieve dieren essentieel was voor hun overleving).

Omdat dit brein zo automatisch werkt, is het erg betrouwbaar en efficiënt in noodsituaties. Het handelt echter ook vrij rigide: het reageert sterk op prikkels die mogelijk bedreigend zijn, is altijd alert op gevaar. In moderne termen kunnen we zeggen dat het reptielenbrein ons gedrag aanstuurt als we op routines en stress terugvallen. Denk bijvoorbeeld aan het instinctieve remmen (met de auto of fiets) bij een onverwachte situatie in het verkeer of de ‘kortsluiting’ die we kunnen voelen bij intense woede of angst. Dan is ons oerbrein in actie.

Het limbisch systeem (zoogdierenbrein)

Rond of bovenop het reptielenbrein ligt het limbische systeem, ook wel het zoogdierenbrein genoemd omdat het zich sterk ontwikkelde bij de eerste zoogdieren. Evolutionair gezien ontstond dit deel ongeveer 150 miljoen jaar geleden bij kleine zoogdieren. Het limbische systeem is een groep hersenstructuren, waaronder de amygdala (amandelkern), de hippocampus, de hypothalamus, delen van de thalamus en de cingulate cortex. Deze structuren werken samen bij het verwerken van emoties, het vormen van herinneringen en het sturen van motivatie en gedrag.



Het limbische systeem wordt vaak het emotionele brein genoemd. Hier worden ervaringen gekoppeld aan emoties en wordt bepaald wat prettig of onprettig is. De amygdala speelt een centrale rol in het herkennen en verwerken van emoties, vooral angst en agressie (het is als een soort alarmcentrum dat gevaar

signaleert). De hippocampus is essentieel voor het geheugen, het opslaan van nieuwe herinneringen en het koppelen van context aan gebeurtenissen. Samen zorgen de amygdala en hippocampus ervoor dat emotionele herinneringen extra sterk worden opgeslagen: bijvoorbeeld een eenmalige traumatische gebeurtenis kan via stresshormonen als het ware in het geheugen gegrift worden. De hypothalamus is een kleine kern die fungeert als regelcentrum voor basale drijfveren: het reguleert honger en dorst, slaap, libido, de hormoonhuishouding en het autonome zenuwstelsel. Via de hypothalamus koppelt het limbisch systeem emoties aan lichamelijke reacties (bijvoorbeeld een verhoogde hartslag bij angst).

Kortom, het limbisch systeem zorgt voor onze gevoelens en motivatie. Het geeft ons emoties die ons gedrag sturen: positieve emoties bij dingen die goed voor ons zijn (bijvoorbeeld genot bij voedsel of sociale binding) en negatieve emoties bij bedreigingen (angst en boosheid). Zo onthoudt het zoogdierenbrein wat prettig is en wil het die ervaringen herhalen. Het vermijdt wat onprettig of pijnlijk was. Zonder dat we er erg in hebben, kan het limbisch systeem ons gedrag beïnvloeden. Bijvoorbeeld in de vorm van allerlei niet-helpende gewoontes (emotioneel eten bij stress). Empathie en sociaal gedrag worden ook geregeld in het limbische systeem: het stelt ons in staat emotioneel te reageren op anderen en ons te hechten aan anderen.

Je kunt het limbisch systeem zien als het deel van ons brein dat betrokken is bij emoties, herinnering en sociaal gedrag. Waar het reptielenbrein een automatische piloot is, voegt het limbisch systeem de gevoelsmatige kleur toe aan onze ervaringen. Bijvoorbeeld: een plots hard geluid doet het reptielenbrein schrikken (reflex), de amygdala (onderdeel limbisch systeem) beoordeelt het als gevaarlijk (of niet) en stuurt eventueel een angstreactie aan. De hippocampus slaat de bijbehorende context op ("waar was ik toen ik dat hoorde?"). Deze emotionele en geheugenfuncties waren evolutionair nuttig: zoogdieren (die vaak in groepen leefden en voor jongen moesten zorgen) hadden baat bij het kunnen herkennen van emoties en onthouden van goede of slechte ervaringen.

De neocortex (hersenschors of "mensenbrein")

Als laatste onderdeel ontwikkelde zich de neocortex. Dat is de geplooide buitenste laag van de grote hersenen (ook wel het cerebrum genoemd). Bij vroege zoogdieren was de cortex nog klein en glad, maar bij primaten (vooral de mens) is deze enorm uitgebreid en sterk geplooid voor een groter oppervlak (dat betekent meer ruimte voor neuronen en verbindingen). De neocortex wordt ook wel het "mensenbrein" genoemd in het model van MacLean. Dit jongste deel van de hersenen onderscheidt ons het meest van andere dieren.

De neocortex is verantwoordelijk voor de hogere cognitieve functies: bewust nadenken, redeneren, plannen, problemen oplossen, taal, abstracte ideeën, verbeelding en het zelfbewustzijn. Hier zetelt ook onze persoonlijkheid en het vermogen tot bewuste besluitvorming. In feite maakt de neocortex complex leren en cultuur mogelijk: alles van wiskunde en filosofie tot kunst en technologie komt voort uit dit deel van het brein! De neocortex is zeer flexibel en heeft een bijna oneindig leervermogen, doordat neurale netwerken hierin zich kunnen vormen en hervormen bij elke nieuwe vaardigheid of kennis die we opdoen. Het "mensenbrein" kan dankzij de cortex de instincten van het reptielenbrein en de emotionele impulsen van het limbisch systeem beoordelen en reguleren met rationeel inzicht. In de metafoor van het orkest is de neocortex dus de dirigent die de ruwe impulsen uit de oudere hersendelen in toom houdt en afstemt tot passend gedrag.

Hersenkwabben van de neocortex

De neocortex is anatomisch onderverdeeld in verschillende hersenkwabben, elk gespecialiseerd in bepaalde functies. Bij de mens onderscheiden we de frontale kwab (voorhoofdskwab) aan de voorkant, de pariëtale kwab (wandbeenskwab) bovenachter, de temporale kwab (slaapkwab) aan de zijkant vlakbij de oren, en de occipitale kwab (achterhoofdskwab) aan de achterkant van het hoofd. Daarnaast spreekt men vaak apart

over de prefrontale cortex, het voorste gedeelte van de frontale kwab. Dit wordt vaak apart genoemd vanwege de speciale rol in “hogere cognitie”. Globaal gezien gelden de volgende functies voor deze gebieden:

- Frontale kwab: zetel van de executieve functies (het regelen van gedrag). Hier gebeuren planning, beslissingen, logisch redeneren en beheersing van impulsen. Ook onze persoonlijkheid en sociale oordeelsvorming hangen hiermee samen. In de achterzijde van de frontaalkwab ligt de motorische cortex, die vrijwillige bewegingen aanstuurt. Bij mensen is de frontaalkwab zeer groot en bepalend voor wie we zijn.
- Prefrontale cortex: het voorste deel van de frontaalkwab, belangrijk voor plannen, abstract denken, het wegen van gevolgen en het flexibel schakelen tussen taken. De prefrontale cortex is als het ware de directeur die beslissingen neemt en gedrag afstemt op lange-termijndoelen in plaats van directe impulsen.
- Pariëtale kwab: verwerkt zintuiglijke informatie van het lichaam (tast, pijn, temperatuur, proprioceptie) en integreert verschillende zintuigen met elkaar. Hierdoor begrijpen we onze ruimte, hebben we oriëntatie en lichaamsgevoel. Dit gebied helpt ons bijvoorbeeld om objecten te lokaliseren en om verschillende prikkels tot één ervaring te smeden.
- Temporale kwab: betrokken bij gehoor, taalbegrip en geheugen. Hier bevindt zich de auditieve cortex voor geluiden en de gebieden van Wernicke en Broca, voor taalbegrip en -productie. De temporale kwab herkent ook voorwerpen en gezichten en speelt een rol bij het ophalen van herinneringen. Diepe structuren in de temporale kwab (zoals de hippocampus en amygdala) zijn onderdeel van het limbische systeem, wat de rol in geheugen en emotie verklaart.
- Occipitale kwab: het visuele centrum van de hersenen. Hier komt visuele informatie uit de ogen binnen en wordt het geanalyseerd tot we vormen, kleuren en beweging herkennen. De occipitaalkwab stelt ons in staat te begrijpen wat we zien, in samenwerking met andere kwabben (zo projecteert de occipitaalkwab wat we zien naar de temporaalkwab voor herkenning, en waar het is naar de pariëtaalkwab voor lokalisatie).

Dankzij de samenwerking van al deze kwabben kunnen we complexe taken uitvoeren. Bijvoorbeeld: als je een bal ziet aankomen (occipitaal), beoordeel je de locatie en snelheid (pariëtaal), herinner je je wat te doen (temporaal/limbisch) en besluit je bewust om de bal te vangen (frontaal), waarna je motorische cortex het signaal geeft om je hand ook daadwerkelijk uit te steken. Dit illustreert hoe de neocortex informatie uit het hele brein samenbrengt tot een betekenisvol geheel met bijbehorend gedrag. Uiteindelijk is de neocortex cruciaal voor taal, abstracte gedachte, verbeelding en zelfs bewustzijn. Al die eigenschappen die we typisch menselijk noemen!

Samenwerking grote en kleine hersenen

De kleine hersenen (cerebellum) liggen aan de achterkant onder de grote hersenen en zijn veel kleiner. Toch bevatten de kleine hersenen ook zeer veel neuronen en hebben ze belangrijke taken, vooral op het gebied van onze bewegingen. Het cerebellum zorgt voor de coördinatie, balans en fijne afstemming van bewegingen. Terwijl de motorische cortex in de frontaalkwab een beweging initieert (bijvoorbeeld “pak dat kopje op”), berekenen de kleine hersenen hoe die beweging soepel en precies uitgevoerd wordt: ze fine-tunen als het ware de signalen naar de spieren. Dankzij de kleine hersenen kunnen we bijvoorbeeld vloeiend lopen, spreken en snelle bewegingen accuraat uitvoeren, zonder er bewust over na te denken. Ze

zijn ook betrokken bij evenwicht; schade aan de kleine hersenen kan leiden tot wankel bewegingen en coördinatiestoornissen (ataxie).

Vroeger dacht men dat de kleine hersenen enkel voor motoriek waren, maar nu weet men dat ze ook een rol spelen in cognitie en emotie. Ze communiceren met de grote hersenen en blijken betrokken bij bijvoorbeeld het inschatten van tijd, het aanleren van motorische vaardigheden (zoals leren fietsen, een taak waarbij spiergeheugen ontstaat) en mogelijk zelfs bij sociale cognitie. Toch blijft hun hoofdfunctie het soepel laten verlopen van lichamelijke acties. Een ezelsbruggetje: de grote hersenen bedenken wat er moet gebeuren, de kleine hersenen hoe dit precies gebeurt. Samen maken ze doelgerichte en gecoördineerde handelingen mogelijk.

Concluderend kun je zeggen dat onze hersenen in de loop der evolutie lagen hebben gevormd: van de diepste kern (hersenstam e.d.) voor levensnoodzakelijke functies, via een middenlaag voor emoties en drijfveren, tot de buitenste laag (cortex) voor verstand en bewustzijn. Deze onderdelen werken continu samen. In een situatie kan het reptielenbrein een reflex geven, het limbisch systeem een emotie toevoegen en de cortex een rationele beslissing nemen – of juist besluiten de reflex te onderdrukken. Een gezond brein is als een goed op elkaar ingespeeld team of orkest waarin alle “leden” hun rol spelen.



Synaptische verbindingen en hersenontwikkeling

Nu we de verschillende structuren van ons brein hebben besproken, kijken we naar hoe het brein werkt en zich ontwikkelt op cellulair niveau. Het centrale zenuwstelsel (hersenen en ruggenmerg) bestaat uit zo'n 86 miljard neuronen (zenuwcellen) die via uitgebreide netwerken met elkaar communiceren. Daarnaast zijn er ondersteunende gliacellen. De communicatie tussen neuronen gebeurt op gespecialiseerde contactpuntjes, de synapsen. Hier vindt een elektrische signaaloverdracht plaats van de ene cel naar de andere. Dat gebeurt met tussenkomst van neurotransmitters, signaalstofjes. Enkele sleutelbegrippen omtrent neurale verbindingen en ontwikkeling:

- **Neuron en synaps:** een neuron geleidt binnen zichzelf signalen elektrisch (via een impuls over het axon), maar tussen neuronen steekt het signaal over via chemische boodschappers. De elektrische impuls in het axon leidt tot afgifte van een neurotransmitter in de synaptische spleet (de piepkleine ruimte tussen twee neuronen). Die neurotransmittermoleculen binden aan passende receptoren op het ontvangende neuron (als het ene puzzelstukje dat precies in het andere past) en wekken daar een nieuw elektrisch signaal op. Op deze manier vormt het brein een enorm circuit van schakelingen. Eén neuron kan duizenden synaptische verbindingen hebben met andere neuronen ('what fires together, wires together'). Dankzij dit principe kan informatie zeer snel en gericht door

het brein reizen. Bijvoorbeeld als je deze zin leest, vuren neuronen in je visuele cortex en geven dat via synapsen door aan taal- en geheugencentra om betekenis te construeren.

- **Myelinisatie (isolatie van zenuwbanen):** veel axonen (uitlopers van neuronen) zijn omwikkeld door een vette laag genaamd myeline. Deze myelineschede fungeert als isolatiemateriaal rondom een draad, waardoor elektrische impulsen sneller en efficiënter voortgeleid worden. Myeline wordt gevormd door speciale gliacellen (oligodendrocyten). De mate van myelinisatie bepaalt de geleidingssnelheid: zo zijn reflexbanen dik en zwaar gemyeliniseerd voor supersnelle signalen. De ontwikkeling van myeline gebeurt geleidelijk en duurt tot in de volwassenheid. Pas rond de leeftijd van ongeveer 25 jaar is de myelinisatie in de hersenen volledig voltooid, waarbij de prefrontale cortex als laatste “bekabeld” wordt. Dit kan verklaren waarom pubers en jongvolwassenen soms impulsiever zijn: de remmende en overziende prefrontale functies zijn nog niet op volle kracht, terwijl het emotionele systeem al op toeren draait. Myeline is cruciaal; als het beschadigd raakt (zoals bij multiple sclerose (MS)), verstoort dat de signaaloverdracht ernstig met allerlei klachten als gevolg.
- **Synaptische plasticiteit:** anders dan vroeger gedacht, stopt de ontwikkeling van het brein niet na de kindertijd. Integendeel, het blijft een leven lang veranderbaar. Deze eigenschap heet neuroplasticiteit. Het betekent dat verbindingen tussen neuronen kunnen veranderen in kracht. Veel gebruikte synapsen kunnen sterker of efficiënter worden (bijvoorbeeld door meer neurotransmitter-afgifte of meer receptoren), terwijl ongebruikte verbindingen verzwakken. Ook kunnen geheel nieuwe verbindingen gevormd worden wanneer we iets nieuws leren, zelfs op latere leeftijd. Plasticiteit of veranderbaarheid is enorm belangrijk: het stelt ons in staat om ons aan te passen aan nieuwe situaties en te leren van ervaringen. Denk aan hoe oefenen op een muziekinstrument de betrokken hersengebieden “traint”: letterlijk passen neuronen zich aan om de taak beter uit te voeren. Plasticiteit biedt ook compensatie: bij hersenbeschadiging kunnen andere neuronen deels de functie van de beschadigde overnemen waardoor een herschikking van verbindingen optreedt.
- **Groeispurt en pruning:** tijdens de ontwikkeling van het brein zien we eerst een overdaad aan verbindingen, gevolgd door een opschoon-proces. Bij baby’s en peuters groeit het aantal synapsen en neuronen explosief; rond 2-4 jaar is het brein enorm gegroeid door al die nieuwe verbindingen. Daarna treedt pruning op (het Engelse woord voor snoeien). In de puberteit worden zo neurale verbindingen die weinig gebruikt worden, actief weggehaald. Vaak gebruikte verbindingen worden juist extra versterkt. Deze snoei-acties maakt de netwerken efficiënter en verfijnt de hersenfuncties. Je kunt het zien als het snoeien van een boom: takken die in de weg zitten worden gekapt zodat de belangrijkste takken beter kunnen groeien. Interessant is dat de emotionele circuits eerder “af” zijn dan de gecontroleerde rationele of denk-circuits, wat leidt tot de typische emotionele en risicovolle tienergedragingen. Overigens begint pruning al vlak na de geboorte en gaat het door tot in de vroege volwassenheid (sommige studies suggereren tot ergens in de twintig). Het resultaat is een verfijnd, gespecialiseerd volwassen brein.
- **Rol van ervaring en omgeving:** ervaring is de gids die bepaalt welke verbindingen blijven en welke verdwijnen. Een stimulerende omgeving met veel prikkels (boeken, musea, goede gesprekken) en sociale interactie bevordert de aanleg van uitgebreide neurale netwerken. Kinderen die veel gevarieerde ervaringen hebben, ontwikkelen sterke verbindingen in de taalcentra, motorische gebieden, enzovoorts. Bij gebrek aan stimulatie kunnen bepaalde verbindingen onder-ontwikkeld blijven. Uit extreme voorbeelden (zoals kinderen die in verwaarlozing opgroeien) weten we dat er kritische periodes zijn waarin input nodig is, bijvoorbeeld voor taal. Kortom, “use it or lose it”: wat

vaak gebruikt wordt in de hersenen, wordt fysiek versterkt. Wat ongebruikt blijft, krimpt weg. Gelukkig blijft het brein altijd wat plasticiteit behouden, dus het is nooit te laat om te leren. Als vuistregel geldt echter wel: jonge hersenen zijn zeer kneedbaar en gevoelig voor ervaring (vandaar dat kinderen snel en moeiteloos leren), terwijl oudere hersenen nog kunnen veranderen maar wel wat minder snel.

Zoals je hierboven hebt kunnen lezen, zijn de hersenen een levend orgaan dat zichzelf continu reorganiseert. Zelfs op volwassen leeftijd en bij senioren vormen zich nog nieuwe verbindingen (als je bijvoorbeeld een nieuwe vaardigheid oppakt). Dit biedt hoop bij herstel na letsel (andere hersendelen kunnen functies overnemen) en toont het belang om je brein actief te houden. Het is neurologisch aantoonbaar dat actieve uitdaging (lezen, puzzelen, nieuwe dingen leren) je hersenen gezond en adaptief houdt.

Belangrijkste neurotransmitters

We hebben al aangegeven dat neuronen via neurotransmitters met elkaar communiceren. Er bestaan tientallen verschillende neurotransmitters en neuropeptiden in de hersenen, elk met voor hun specifieke effecten. Hier bespreken we de belangrijkste neurotransmitters en hun rol in het menselijke brein. Deze chemische stoffen beïnvloeden onder andere onze stemming, beweging, gedachten.

- **Dopamine:** deze neurotransmitter wordt ook wel eens aangeduid als de beloningsstof in de hersenen. Dopamine speelt een grote rol bij plezier en motivatie. Telkens als we iets doen dat bevredigend is (lekker eten, een doel bereiken), komt dopamine vrij waarbij een plezierig gevoel ontstaat. Dit motiveert ons dat gedrag te herhalen. Het dopamine-systeem wordt daarom ook wel eens het beloningssysteem genoemd. Dopamine is ook betrokken bij ervaringsleren (het voorspellen van beloning) en het aanleren van gedrag. Daarnaast is dopamine cruciaal voor beweging: in de basale ganglia zorgt dopamine ervoor dat bewegingen soepel verlopen. Een tekort aan dopamine in die hersengebieden leidt tot bewegingsproblemen, zoals zichtbaar wordt bij de ziekte van Parkinson (waarbij dopamine-producerende cellen afsterven en patiënten tremors en rigiditeit ontwikkelen). Een teveel of tekort aan dopamine kan ook gelinkt worden aan psychiatrische beelden (bijvoorbeeld bij verslaving).
- **Serotonine:** serotonine staat bekend als het “gelukshormoon” omdat het sterk bijdraagt aan een positieve stemming en gevoel van welbevinden. Voldoende serotonine geeft een gevoel van kalmte, tevredenheid en emotionele balans. Het onderdrukt overmatige angst en somberheid en bevordert een stabiele gemoedstoestand. Serotonine is ook betrokken bij de slaap (het helpt het slaap-waakritme te reguleren en is de voorloper van melatonine), eetlust (het geeft een verzadigingsgevoel na het eten) en zelfs bij pijnperceptie en seksualiteit. Een gebrek aan serotonine wordt in verband gebracht met depressieve en angststoornissen: veel antidepressiva (SSRI's) werken door serotonine langer beschikbaar te houden in de synaps door de heropname door het lichaam te remmen, wat de stemming verbetert.
- **GABA (gamma-aminoboterzuur):** GABA is de voornaamste inhiberende (remmende) neurotransmitter in de hersenen. Waar veel andere neurotransmitters neuronen juist activeren, doet GABA het omgekeerde: het remt of blokkeert signalen en kalmeert zo de zenuwactiviteit. Hierdoor werkt GABA als een soort rempedaal van het brein. Als er te veel opwindning is (neuronen die continu vuren), zorgt GABA ervoor dat de boel weer tot rust komt. Dit leidt tot ontspanning en vermindert stress en angstgevoelens. Veel kalmerende middelen en slaapmedicatie (zoals benzodiazepinen) grijpen in op GABA-receptoren om de GABA-werking te versterken. Je zult begrijpen dat een goede werking van het GABA-systeem van groot belang is bij het bevorderen van

slaap en het tegengaan van overprikkeling. Verder speelt GABA een rol bij spierontspanning en pijnmodulatie.

- **Glutamaat:** glutamaat (glutaminezuur) is de belangrijkste excitatoire (prikkelende) neurotransmitter. Het is in feite de tegenhanger van GABA. Ongeveer 90% van de synapsen in de hersenen gebruikt glutamaat als boodschapper. Glutamaat activeert neuronen en speelt een zeer belangrijke rol bij informatieoverdracht. Het is onmisbaar voor leren en geheugen: glutamaterge synapsen in bijvoorbeeld de hippocampus worden versterkt als we iets nieuws leren, een proces dat long-term potentiation (LTP) heet en de basis vormt van geheugenopslag. Zonder glutamaat zouden we geen nieuwe herinneringen kunnen vormen. Echter, te veel glutamaat is niet goed: extreme overprikkeling kan leiden tot excitotoxiciteit, waarbij neuronen beschadigd raken. Dit zien we bijvoorbeeld bij een beroerte of bij epileptische aanvallen, waar een storm aan glutamaatactiviteit juist schade veroorzaakt. Het lichaam heeft daarom mechanismen om glutamaat netjes op te ruimen uit synapsen.
- **Noradrenaline** (in het Engels vaak norepinefrine): noradrenaline is zowel een neurotransmitter in de hersenen als een hormoon in het lichaam (afgegeven door de bijnieren). In de hersenen is het vooral bekend om zijn rol in de alertheid en arousal. Het helpt ons wakker, alert en geconcentreerd te blijven. 's Ochtends stijgt noradrenaline om je uit je slaperigheid te halen. Het is tevens de belangrijkste speler in de "fight, flight of freeze" respons bij stress of gevaar: in acute stresssituaties komt noradrenaline vrij en activeert dit het sympathische zenuwstelsel: hartslag en ademhaling gaan omhoog, de bloeddruk stijgt en energie komt vrij om het lichaam in een verhoogde staat van paraatheid te brengen. In emotioneel opzicht bevordert noradrenaline focus en kan het ook invloed hebben op de stemming. Een tekort kan in verband gebracht worden met depressieve gevoelens, daarom richten sommige antidepressiva zich ook op noradrenaline. Je kunt ook aanvoelen dat een overmatig actieve bijnierschors, waardoor teveel noradrenaline blijft worden afgegeven, een belangrijke rol speelt bij overspannenheid en burn-out.
- **Oxytocine:** oxytocine is een neuropeptide (een hormoonachtige neurotransmitter) die bekend staat als het "knuffelhormoon" of "liefdeshormoon". Het wordt geproduceerd in de hypothalamus en vrijgegeven door de hypofyse en speelt een grote rol in het vormen van sociale binding, vertrouwen en liefde. Bij lichamelijk contact zoals knuffelen of intimiteit stijgt de oxytocine-spiegel, wat gevoelens van verbondenheid en vertrouwen versterkt. Oxytocine is essentieel bij de band tussen moeder en kind: tijdens de bevalling veroorzaakt oxytocine baarmoedercontracties en na de geboorte zorgt het voor de toeschietreflex bij borstvoeding. Tegelijk versterkt het moederlijke gevoelens van zorg en affectie. Ook in romantische relaties en vriendschappen blijkt oxytocine een rol te spelen. Daarnaast vermindert oxytocine angstige gevoelens, wat sociale interactie makkelijker maakt. Hoewel oxytocine vooral als hormoon bekend is, werkt het in de hersenen dus als neurotransmitter die prosociaal gedrag en warmte tussen mensen bevordert. Interessant weetje: omdat oxytocine ontspanning geeft en stress tegengaat, verlaagt het ook indirect cortisol en bloeddruk. Hierom is knuffelen daadwerkelijk gezond.
- **Acetylcholine:** acetylcholine is de eerste neurotransmitter die ontdekt werd (door Otto Loewi in 1921) en speelt een zeer veelzijdige rol. In het zenuwstelsel is acetylcholine de stof die zenuwprikkels naar spieren doorgeeft waardoor de spieren samentrekken. Telkens als je een vinger beweegt of knippert met je ogen, is dat dankzij acetylcholine. Het is dus onmisbaar voor alle vrijwillige bewegingen. In het autonome zenuwstelsel (waar je niet direct invloed op kunt uitoefenen) werkt acetylcholine vooral in het parasympathische deel: het helpt het lichaam tot rust te brengen (vertraagt de hartslag en stimuleert de spijsvertering). In de hersenen zelf is

acetylcholine betrokken bij aandacht, leren en geheugen. Tekorten in acetylcholine (zoals door afstervende cholinerge neuronen) zijn geassocieerd met geheugenproblemen en worden gezien bij aandoeningen als Alzheimer.

Deze neurotransmitters werken natuurlijk niet compleet los van elkaar: ze vormen een complex samenspel! Beloningsleren gaat vaak gepaard met dopamine én serotonine (plezier én tevredenheid), stress activeert noradrenaline maar GABA en serotonine helpen daarna weer tot rust te komen, et cetera. Een goede balans in deze stoffen is essentieel voor onze mentale gezondheid.

Wat betekent dit voor jouw functioneren?

Het menselijk brein is ongelooflijk complex, maar hopelijk biedt dit overzicht een beter begrijpelijk beeld. Van de kosmische oorsprong van het leven, via de evolutionaire opbouw van onze “drielaagse” hersenen, tot de fijne chemie van synapsen en neurotransmitters – al deze aspecten samen maken ons tot wie we zijn. Het brein werkt als een orkest: soms neemt de oude drumpartij (reptielenbrein) het voortouw, soms de emotionele strijkers (limbisch systeem) en meestal zorgt onze dirigent (neocortex) dat alles in harmonie blijft. Door dit beter te begrijpen, krijg je hopelijk meer inzicht in je eigen gedrag, emoties en gedachten.

Geraadpleegde literatuur

- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the Brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2018). *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind* (5th ed.). W.W. Norton & Company.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed.). McGraw-Hill.
- MacLean, P. D. (1990). *The Triune Brain in Evolution: Role in Paleocerebral Functions*. Springer.
- LeDoux, J. (1996). *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Simon & Schuster.
- Panksepp, J. (1998). *Affective Neuroscience: The Foundations of Human and Animal Emotions*. Oxford University Press.
- Siegel, D. J. (2012). *The Developing Mind: How Relationships and the Brain Interact to Shape Who We Are*. Guilford Press.
- Sapolsky, R. M. (2017). *Behave: The Biology of Humans at Our Best and Worst*. Penguin Press.
- Ratey, J. J. (2002). *A User's Guide to the Brain: Perception, Attention, and the Four Theaters of the Brain*. Vintage.
- Purves, D., Augustine, G. J., & Fitzpatrick, D. (Eds.). (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.