

De neuropsychologie van emoties

JAN VAN STRIEN

Wat maakt mensen blij? Waarom wordt iemand boos? Wat is het belang van verdriet? Voor het antwoord op deze vragen bestaat in de psychologie een uitgebreide emotieleer die de psychologische aard en functie van emoties behandelt (zie Frijda 1988). Neurowetenschappelijk emotieonderzoek houdt zich niet zozeer met deze aspecten bezig maar beschouwt emoties veeleer als een gegeven, waarvan het het neurobiologische substraat wil ontraadselen. Met de komst van moderne beeldvormende technieken is de belangstelling van de neurowetenschappen voor het neurobiologisch substraat van emoties en emotionele stoornissen verder toegenomen. Naast de cognitieve neurowetenschappen is de wetenschappelijke specialisatie van de affectieve neurowetenschappen ontstaan. Een uitgebreid overzicht van de neurowetenschappelijke kennis van het hele scala van emotionele systemen, inclusief seksualiteit en verzorgingsgedrag is te vinden in Panksepp (1998).

In dit artikel zullen eerst de meest saillante emotionele circuits in de hersenen worden besproken. Vervolgens zullen neuropsychologische modellen voor de differentiële betrokkenheid van de beide hersenhelften bij de verschillende aspecten van emoties worden behandeld. Tot besluit zullen enkele implicaties van de hemisfeer-specifieke emotionele processen voor de behandeling van emotionele stoornissen worden aangegeven.

Emotionele circuits in de hersenen

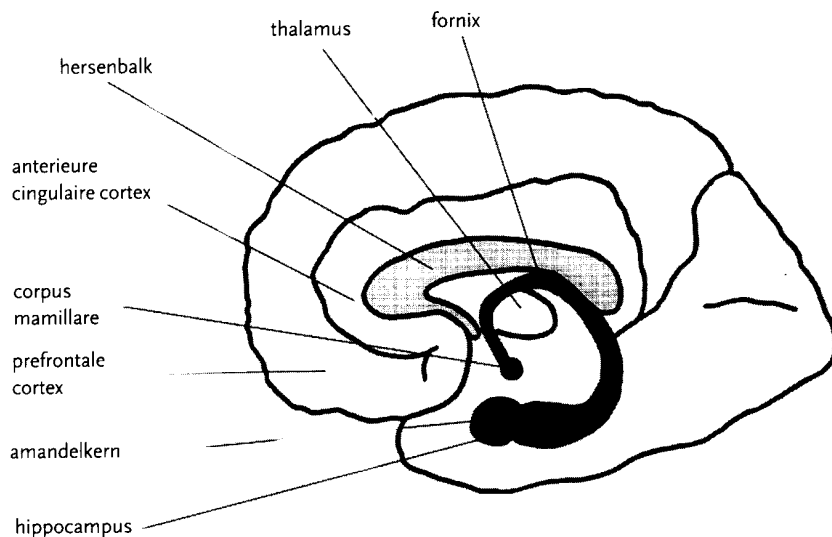
Hoewel veel hersengebieden tot op zekere hoogte betrokken zijn bij emoties, is een aantal aan te wijzen dat zich specifiek bezig houdt met emotionele informatieverwerking. Een klassieke theorie over de werking van het emotionele brein is afkomstig van Papez (1937). Het circuit van Papez bestaat uit een reeks aaneengeschaakte hersengebieden waarin emotionele informatie vanuit de thalamus naar de corpora mamillaria (onder-

deel van de hypothalamus, zie figuur 1) wordt gestuurd. Vervolgens komt deze informatie via de nucleus anterior thalami terecht in de gyrus cinguli, een gebied dat door Papez werd beschouwd als de zetel van de emotionele gewaarwording. De output van de gyrus cinguli wordt naar de hippocampus verstuurd, waarna de signalen via de fornix het corpus mamillare weer bereiken. MacLean heeft vijftien jaar later het circuit van Papez uitgebreid met ondermeer de amandelker-

nen (amygdalae) en de prefrontale cortex en deze structuren het 'limbisch systeem' genoemd (MacLean, 1952). Hij ging ervan uit dat de hippocampus een belangrijke rol speelt bij de integratie van externe en interne signalen met emotionele gewaarwording als gevolg.

De veronderstelling dat het circuit van Papez of het limbisch systeem in hun geheel primair betrokken zijn bij emotionele processen is onjuist gebleken. Beschadiging van structuren als de hippocampus, de corpora mamillaria en de nucleus anterior thalami blijken eerder geheugen- dan emotionele stoornissen tot gevolg te hebben. Volgens LeDoux (1996) bestaat het limbisch systeem voor emoties dan ook niet, wat niet wil zeggen dat veel structuren ervan geen rol spelen bij emoties. De vergissing van Papez en MacLean is geweest dat zij alle emoties in één systeem wilden onderbrengen. Er zijn echter meerdere emotionele systemen in de hersenen die verschillende doeleinden dienen en in principe geen neurale overlap hoeven te hebben. Naar de mening van LeDoux is de grote verdienste van MacLean echter dat hij de evolutie van het brein opvat als de sleutel tot het begrijpen van emoties.

Dit evolutionaire aspect komt tot uitdrukking in een even eenvoudig als invloedrijk concept dat in 1970 door MacLean werd geïntroduceerd, de *triune brain* (MacLean 1970). Onze hersenen bestaan uit drie lagen die, vanuit evolutionair perspectief, na



Figuur 1 Corpus mamillare, fornix, hippocampus en amandelkern (diep gelegen in de linker hersenhelft) afgebeeld voor het mediale aanzicht van de rechter hersenhelft.

elkaar zijn ontstaan (zie ook Vroon 1989). De oudste laag is het reptielenbrein, waarin onze basisinstincten huizen. De middelste laag is het vroeg-zoogdierenbrein (*old-mammalian brain*, limbisch systeem), waarin onze affectieve kennis is gerepresenteerd. Onze gevoelens en emotionele reacties op gebeurtenissen worden hier gemedieerd. De jongste laag is het nieuw-zoogdierenbrein (*neo-mammalian brain*, neocortex), waarin onze declaratieve kennis is gerepresenteerd. De drie genoemde lagen kunnen niet onafhankelijk van elkaar werken. Niet alleen reguleren de jongere lagen de oudere, de oudere lagen zijn ook een vereiste voor de werking van de jongere.

Een voorbeeld van deze interactie is het door Damasio (1994) opgetekende verhaal van Elliot, een zakenman wiens prefrontale cortex was beschadigd na het operatief verwijderen van een tumor. Elliot bleek niet meer in staat om de juiste beslissingen te nemen en om vooruit te plannen. Hoewel zijn intelligentie, geheugen en aandacht intact waren gebleven,

gedroeg hij zich irrationeel. Hij kon zich oneindig verdiepen in irrelevante details waardoor hij zijn taken niet afmaakte. Zowel zakelijk als privé maakte hij onverantwoorde keuzes. Dit onberekenbare gedrag werd niet bepaald door zijn premorbide karakter of een gebrekkig redeneervermogen. Op neuropsychologische tests voor redeneren en probleem-oplossen, zoals de Wisconsin Card Sorting Test* presteerde hij zeer goed. Wat hij echter miste was het vermogen om emoties te ervaren. Bij het nemen van beslissingen werd hij niet geleid door wat Damasio *somatic markers* noemt. Een *somatic marker* is een al of niet bewuste interne emotionele *cue* die er voor zorgt dat het nemen van beslissingen nauwkeuriger en efficiënter verloopt. Negatieve *cues* waarschuwen voor mogelijk onheil in de toekomst, positieve *cues* motiveren het gedrag, ook als de uitkomsten op korte termijn negatief lijken. Zonder deze *cues* verloopt het beslisproces veel grilliger, worden onjuiste beslissingen genomen of wordt gedrag niet geïnitieerd. Volgens Damasio bevindt het neurale

netwerk voor de *somatic markers* zich in het ventromediale gedeelte van de prefrontale cortex, het gebied dat bij Elliot het zwaarst was beschadigd.

Ook volgens LeDoux treffen emotionele en rationele systemen elkaar in de prefrontale cortex. Hij gaat uit van twee parallel werkende geheugensystemen: een hippocampaal systeem voor het expliciete geheugen en een amandelkern-systeem voor het impliciete (niet-bewuste) emotionele geheugen. De amandelkernen kunnen via verbindingen vanuit de thalamus gevaar registreren nog voor het bewust wordt waargenomen en slaan deze onbewuste emotionele ervaring ook op. De bewuste ervaring van een bedreigende gebeurtenis wordt door het hippocampale systeem opgeslagen. Wordt de emotionele situatie naderhand weer opgeroepen door een externe of interne *cue* dan zal het hippocampale systeem de herinnering aan de gebeurtenis activeren, inclusief de feitelijke informatie dat de gebeurtenis bedreigend was. Tegelijkertijd zorgt het amandelkern-systeem er via verbindingen naar de hypothalamus voor dat opnieuw allerlei lichamelijke reacties plaatsvinden die overeenkomen met de reacties tijdens de oorspronkelijke situatie, zodat bijvoorbeeld het hart sneller gaat kloppen en de bloeddruk stijgt. Deze lichamelijke veranderingen worden teruggekoppeld naar de somatosensorische gebieden van de hersenen. Vanuit zowel de amandelkernen als de somatosensorische gebieden gaan de emotionele signalen naar het werkgeheugen in de prefrontale cortex, waar ze de bewuste herinnering van het hippocampale systeem emotioneel kleuren.

De amandelkernen en de prefrontale cortex worden in de moderne neurowetenschappen dus opgevat als

twee belangrijke structuren voor de verwerking van emoties. Uiteraard zijn bij emoties ook andere structuren betrokken, zoals de hypothalamus en de hersenstam. Recente neuro-ima-ging studies hebben aangetoond dat naast de amandelkernen en de pre-frontale cortex ook andere gebieden actief zijn bij de verwerking van emotionele stimuli (zie Davidson & Irwin 1999). Zo blijkt het ventrale striatum* betrokken bij beloning en positieve gevoelens, speelt het voorste en ventrale gedeelte van de anterieure cingulaire cortex een belangrijke rol bij de aandacht voor emotionele stimuli (Lane et al. 1997) en is de insulaire* schors betrokken bij het waarnemen van de autonome veranderingen in het lichaam als gevolg van emotie.

Neuropsychologisch onderzoek naar emoties

In de neuropsychologie is uitgebreid onderzoek gedaan naar de relatie tussen hersenfunctioneren en emoties, zowel bij patiënten met een hersenbeschadiging, als bij gezonde proefpersonen. In het neuropsychologische emotie-onderzoek kunnen emoties op verschillende niveaus worden bestudeerd (figuur 2, Borod, 1993). Het eerste niveau is dat van de emotionele verwerkingswijzen (*processing modes*). Hieronder vallen de perceptie, beleving en expressie van emoties. Klinisch neuropsychologisch onderzoek heeft aangetoond dat elk van deze aspecten afzonderlijk kan zijn aangedaan als gevolg van hersenbeschadiging. Het tweede niveau betreft de emotionele communicatiekanalen. Emoties worden overgebracht via gezichtsuitdrukkingen, taal, prosodie*, gebaren en lichaamstaal. Ook hier geldt dat bij hersenletselpatiënten een separaat kanaal kan zijn aangetast. Het derde niveau omvat de

emotionele dimensies. In veel neuropsychologisch onderzoek wordt uitgegaan van dimensies als plezierig versus onplezierig (valentie dimensie), opwindend versus niet-opwindend (arousal* dimensie) of toenadering versus vermijding (motoractivatie dimensie). Een aantal voor de neuropsychologie belangrijke modellen is gebaseerd op deze dimensies. Tot slot kan er ook onderzoek worden verricht op het niveau van de afzonderlijke emoties als blijdschap, walging of vrees.

In de neuropsychologie is het onderzoek naar de relatie tussen hersenen en emoties vooral uitgevoerd in het kader van de hemisferische specialisatie. Onderzoek bij gezonde proefpersonen, patiënten met unilateraal hersenletsel en *split-brain*-patiënten heeft aangetoond dat verbale functies met name door de linker hersen-

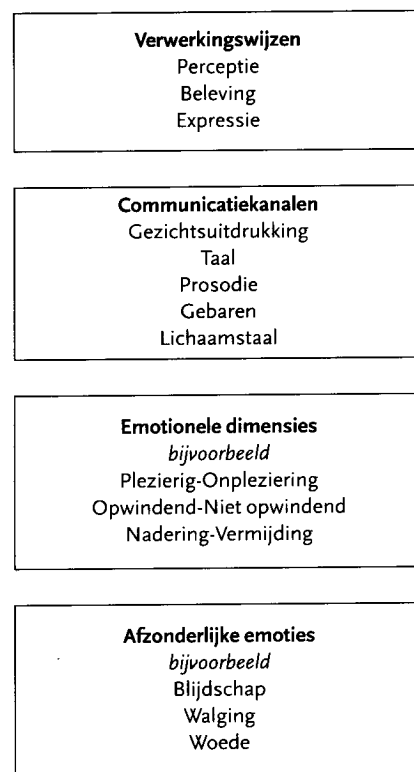
helft worden verzorgd en de visueel-ruimtelijke functies en gezichtsherkenning vooral door de rechter hersenhelft. Deze functieverdeling tussen beide hersenhelften wordt bij ongeveer 95% van de rechtshandigen en bij ongeveer 70% van de linkshandigen aangetroffen. Hemisferische specialisatie is niet alleen aangetoond voor de verbaal-ruimtelijke dimensie maar ook voor de emotionele dimensies.

Hieronder zal de samenhang tussen de verschillende emotionele dimensies (valentie, arousal en motoractivatie) en de functionele specialisatie van de hersenhelften worden behandeld.

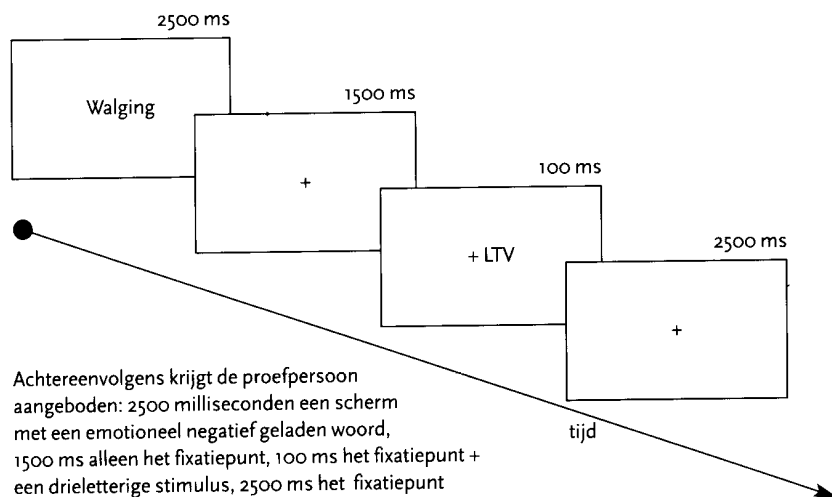
Valentie en hemisferische specialisatie

Uit neuropsychologisch onderzoek bij zowel patiënten als gezonde proefpersonen blijkt dat de linker en rechter hersenhelft verschillend betrokken zijn bij emoties en dat dit afhankelijk is van de emotionele verwerkingswijze. De bevindingen op dit gebied zijn samen te vatten in de zogenaamde valentiehypothese (Borod 1993). Deze hypothese stelt dat het parietale deel van de rechter hersenhelft het meest betrokken is bij de perceptie van emoties (via alle communicatiekanalen), ongeacht de valentie van de emotie. Bij beleving en expressie speelt de valentiedimensie juist wel een rol. De frontale gebieden van de linker hemisfeer zijn betrokken bij de beleving en expressie van positieve emoties en die van de rechter hemisfeer bij de beleving en expressie van negatieve emoties.

In ons eigen onderzoek is de invloed van de valentiedimensie op de functionele hersenasymmetrie onderzocht. Het blijkt dat de hersenhelft kan worden geactiveerd door middel van bedreigende woorden en afbeel-



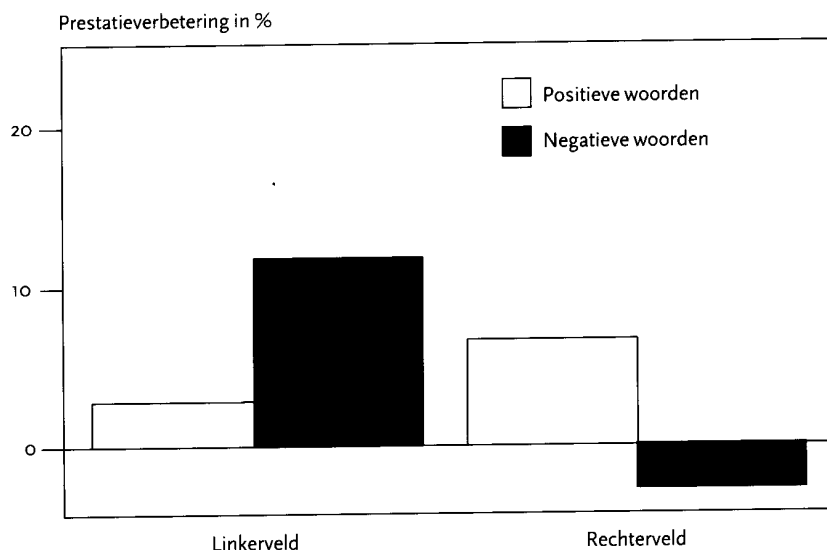
Figuur 2 Niveaus van emotionele processen volgens Borod (1993).



Figuur 3 Visuele halfveldtaak met emotionele woordlading.

dingen, of door als onprettig en bedreigend ervaren muziek. In het door ons hierbij gebruikte paradigma wordt uitgegaan van Kinsbournes model van contralaterale aandachtsbias (Kinsbourne 1970). Dit model stelt dat een verhoogde activering van een van beide hemisferen leidt tot een verhoogde aandacht voor stimuli in het contralaterale visuele veld. In ons onderzoek gebruikten wij een visuele halfveldtaak waarbij telkens drie let-

ters moesten worden benoemd die of links of rechts van een centrale fixatiestip werden aangeboden. Elke laterale drie-letterreeks werd slechts 100 milliseconden getoond, hetgeen korter is dan de latentietijd voor een eventuele beweging van het oog naar de stimulus. Normaal resulteert de letterbenoemingstaak in betere prestaties op rechter- dan op linkerveld-aanbiedingen. Werden de trials uit deze taak echter voorafgegaan door bedreigende



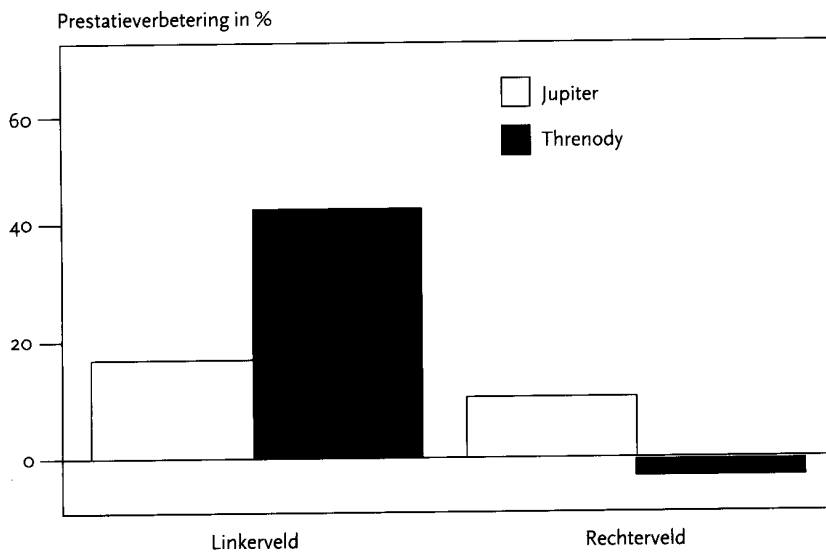
Figuur 4 Contralaterale aandachtsbias onder invloed van positieve en negatieve woorden (Van Strien & Morpurgo, 1992).

woorden als 'dood' of 'kanker' (figuur 3), dan verbeterde vooral de prestatie voor letterreeksen in het linkerveld (figuur 4, Van Strien & Heijt 1995; Van Strien & Morpurgo 1992). De toegenomen prestatie van de proefpersonen op letterreeksen aangeboden in het linkerveld als gevolg van negatief-emotionele *priming* duidt volgens het model van Kinsbourne op een verhoogde activering van de rechter hersenhelft.

Ook het aanbieden van 'bedreigende' muziek tijdens het uitvoeren van een visuele halfveldtaak waarin lexicale beslissingen moeten worden genomen leidt tot een selectieve verbetering van de prestatie op aanbiedingen in het linker visuele veld (Van Strien & Boon 1997). In dit experiment moesten de proefpersonen door middel van drukknoppen aangeven of letters links of rechts van de fixatiestip een bestaand of niet-bestaand woord vormen. Normaal resulteert deze taak in snellere reactietijden op aanbiedingen in het rechterveld. Luisterden de proefpersonen tijdens het uitvoeren van deze taak naar als bedreigend ervaren muziek (*Threnody for the Victims of Hiroshima* van Krysstof Penderecki) dan werden de reactietijden significant sneller voor aanbiedingen in het linkerveld (figuur 5). Luisterden de proefpersonen naar vrolijke, serene muziek (*Jupiter the Bringer of Jollity* uit *The Planets* van Gustav Holst), dan werden geen significante veranderingen waargenomen.

Concluderend kan worden gesteld dat ons onderzoek steun verleent aan de hypothese dat de rechter hemisfeer meer dan de linker betrokken is bij de beleving van negatieve emoties.

De resultaten die met het door ons gebruikte paradigma worden gevon-



Figuur 5 Contralaterale aandachtsbias onder invloed van positieve en negatieve muziekfragmenten (Van Strien & Boon, 1997).

den kunnen geen uitsluitsel geven over de meer exacte lokalisatie van dit verschil. EEG-resulaten uit andere studies hebben echter aangetoond dat de valentieafhankelijke verschillen optreden in de frontale gebieden en overeenkomen met de suggestie van Borod (1993). Davidson (1992) liet proefpersonen kijken naar filmclips met een negatieve dan wel een positieve emotionele inhoud. Tegelijkertijd registreerde hij de gezichtsuitdrukking van de proefpersonen in reactie op de getoonde fragmenten. Zoals verwacht kon worden, werd vooral blijdschap geregistreerd als reactie op de positieve clips, en afkeer als reactie op negatieve clips. Van de perioden met blijde en afkerige gezichtsuitdrukkingen werd het EEG geanalyseerd. De rechter frontaalkwab vertoonde veel meer neurale activiteit tijdens uitdrukkingen van afkeer dan tijdens uitdrukkingen van blijdschap. De linker frontaalkwab vertoonde meer activiteit tijdens uitdrukkingen van blijdschap dan tijdens uitdrukkingen van afkeer. In de parietale gebieden werd door Davidson een dergelij-

ke valentieverval niet gevonden.

Ook in onderzoek met functionele MRI (fMRI) wordt steun gevonden voor de valentiehypothese. Canli et al. (1998) lieten vrouwelijke proefpersonen naar plaatjes kijken met een positieve of negatieve emotionele lading, waarbij de valentiedimensie werd gecorrigeerd voor de arousaldimensie. Bij gelijke arousal was de hersenactiviteit links hoger tijdens het aanbieden van positieve plaatjes, en rechts hoger bij negatieve plaatjes. Andere PET- en fMRI-studies vinden wisselende steun voor de valentiehypothese. Wel wordt in alle gevallen tijdens emotionele stimulering een activering (ongeacht de valentiedimensie) van de mediale prefrontale cortex gevonden. Een reden voor de inconsistente resultaten kan zijn dat negatieve emotionele stimuli vaak meer arousal oproepen dan positieve. Behalve in het onderzoek van Canli et al., is er dus een *confounding* van de valentiedimensie en de arousaldimensie.

Of er met betrekking tot de valentiedimensie sprake is van een verschil in functioneren tussen de linker en rech-

ter amandelkern is niet duidelijk. In sommige PET- en fMRI-onderzoeken wordt bij negatieve emotionele stimuli een activering in de linker amandelkern waargenomen, in andere onderzoeken in de rechter. Verder kan worden gespeculeerd in hoeverre de amandelkernen een rol spelen bij de door ons gevonden verandering in visuele asymmetrie als gevolg van emotionele *priming*. Doordat de amandelkernen terugprojecteren op de visuele schors, zou een gelateraliseerde activering van de amandelkernen de *buffering* van visuele informatie specifiek in één hersenhelft kunnen bevorderen.

Arousal en hemisferische specialisatie

Arousal wordt volgens Heilman (1997) geregeld door een cortico-limbisch-reticulair netwerk. De parietale schors is voor dit netwerk van groot belang omdat daar zowel informatie binnenkomt vanuit het limbisch systeem over de onmiddellijke biologische behoeften, als vanuit de frontale gebieden over de langetermijndoelen. Het is mogelijk dat dergelijke cortico-limbische netwerken, als zij het belang van een stimulus hebben vastgesteld, de nucleus reticularis in de thalamus inhiberen. Deze nucleus reticularis remt de doorgifte van sensorische informatie, en inhibitie van deze inhibitoire werking leidt tot verhoogde aandacht voor de stimulus.

De rechter parietale kwab blijkt meer dan de linker bij dit aandachts- en arousalstelsel betrokken. In vergelijking tot gezonde proefpersonen, vertonen rechter-hemisfeer patiënten een verlaagde arousal-respons (gemeten als veranderingen in hartslag en huidweerstand) op aversieve stimuli, en linker-hemisfeer patiënten een verhoogde arousal. De mechanismen die aart deze asymmetrie ten

grondslag liggen zijn volgens Heilman niet precies bekend.

Gainotti (zie Gainotti et al. 1993) is veel stelliger over de rol van beide hersenhelften bij emotionele arousal. Gainotti is er minder van overtuigd dat de linker en rechter frontale gebieden verschillend reageren op positieve en negatieve emoties. Veeleer is het volgens hem zo dat de rechter hemisfeer betrokken is bij emotionele arousal, ongeacht de valentie, en dat de linker hemisfeer een grote rol speelt bij de bewuste controle van de emotionele expressie. In de linker en rechter frontale gebieden zien we deze hemisferische rolverdeling in versterkte mate terugkomen. De rechter frontale gebieden zijn het meest betrokken bij spontane emotionele uitingen, de linker frontale gebieden bij het controleren van directe emotionele uitingen. Binnen het model van Gainotti is de catastrofe reactie van linker-hemisfeer patiënten (bij wie de reacties in de rechter hemisfeer niet langer worden gecontroleerd door de linker hemisfeer) op te vatten als een ongeremde maar adequate emotionele reactie, en de onverschilligheidsreactie van rechter-hemisfeer patiënten als een abnormale reactie als gevolg van een verminderde arousal.

Motoractivatie en hemisferische specialisatie

Naast de valentiedimensie en de arousaldimensie is in het onderzoek met betrekking tot de hemisferische specialisatie ook aandacht besteed aan de motoractivatie dimensie. Emoties kunnen samengaan met actie naar de stimulus toe (nadering of *approach*), met actie van de stimulus af (terugtrekking of *withdrawal*) of met het inhiberen van actie (vermijding of *avoidance*). Naderingsgedrag hoeft niet samen te gaan met positieve emo-

ties: bij woede neigt men naar de stimulus die deze emotie oproept.

Volgens Heilman vormt de dorsolaterale frontale schors de spil van een netwerk voor de motoractivatie. De dorsolaterale gebieden hebben verbindingen met onder meer de cingulaire cortex, de basale ganglia, de thalamische motorcircuits en de premotorisch gebieden. De dorsolaterale gebieden bepalen niet zozeer *hoe* maar wel *wanneer* er gereageerd moet worden.

Afhankelijk van de betreffende emotie kan motoractivatie leiden tot nadering of vermijding. Op grond van de klinische literatuur veronderstelt Heilman dat de frontaalkwabben het vermijdingsgedrag mediëren en de parietale gebieden het naderingsgedrag. Nadering en vermijding staan in een wederkerige relatie tot elkaar, zodat uitval van het ene gedrag een verheving van het andere tot gevolg heeft. Patiënten met frontale laesies vertonen ongepast naderingsgedrag en ook vijandigheid of woede. Patiënten met, vooral rechtszijdige, parietale laesies (neglect) zijn niet meer in staat om te reageren op (contralaterale) stimuli en vertonen zo een vermijdingsrespons.

Davidson (1992) stelt echter dat er een differentiële betrokkenheid is van de frontaalkwabben bij naderings- en terugtrekkingsgedrag. Volgens hem is de linker frontaalkwab meer betrokken bij nadering en de rechter meer bij terugtrekking. In tegenstelling tot Heilman gaat Davidson niet uit van een aparte valentie- en motoractivatie dimensie. Positieve valentie, met name als het doel nog niet bereikt is (*pre-goal attainment positive affect*), gaat samen met naderingsgedrag en negatieve valentie gaat samen met terugtrekkingsgedrag.

Relevant is in dit verband het onder-

zoek van Sobotka et al. (1992). Zij onderzochten zowel naderingsresponsen (een knop indrukken) als terugtrekkingsresponsen (een knop loslaten) als reactie op een visuele stimulus. Tevens werden beloning en straf gemanipuleerd. In de beloningsconditie werd een snelle reactie van de proefpersoon beloond met geldwinst en bleef een trage reactie onbestraft. In de strafconditie werd een trage reactie bestraft met geldverlies en volgde op een snelle reactie geen beloning. De onderzoekers vonden in de beloningsconditie een toename van de corticale activiteit links-frontaal en in de strafconditie een toename van de corticale activiteit rechts-frontaal. Naderingsresponsen bleken, in vergelijking met terugtrekkingsresponsen, samen te gaan met een afname in activiteit in de rechter temporoparietale gebieden en een toename in activiteit in de linker temporoparietale gebieden. Dit laatste effect trad meer posterieur op dan door de onderzoekers werd verwacht, maar de richting van dit effect was consistent met het idee van een differentiële betrokkenheid van beide hersenhelften bij naderings- en terugtrekkingsgedrag. De door Sobotka et al. gevonden afname van activiteit in de rechter en toename van activiteit in de linker hersenhelft bij naderingsresponsen lijken dus het idee van Heilman dat naderingsgedrag vooral door de rechter parietale kwab wordt gemedieerd tegen te spreken.

De Wada-test en emoties

De Wada-test is een procedure om vast te stellen welke hemisfeer dominant is voor taalfuncties, en wordt toegepast bij epilepsiepatiënten die mogelijk een neurochirurgische behandeling zullen ondergaan. Bij de patiënt wordt natrium-amytal inge-

spoten in achtereenvolgens de rechter en de linker halsslagader (arteria carotis interna), waardoor tijdelijk de rechter, respectievelijk de linker hersenhelft wordt verdoofd. De patiënt voert tijdens de Wada-test een aantal taakjes uit, zoals hardop terugtellen vanaf 20. Wordt de taaldominante hemisfeer verdoofd dan stopt de patiënt met praten en blijft hij gedurende de gehele verdoving compleet afatisch. Wordt de niet-dominante hemisfeer verdoofd dan is de patiënt wel in staat om hardop te tellen en andere verbale taken uit te voeren.

Ross et al. (1994) deden een onderzoek met de Wada-test bij elf epilepsiepatiënten. Voorafgaand aan die test vroegen zij de patiënten naar een gebeurtenis in hun leven die een grote negatieve emotionele indruk had achtergelaten. Vervolgens werd tijdens de rechtszijdige Wada-test (alle patiënten hadden een linker-hemisfeer dominantie voor taal) naar feiten en gevoelens over de betreffende gebeurtenis gevraagd. Bij de meeste patiënten bleef de feitelijke inhoud van het gebeurde ongewijzigd, maar veranderde de affectieve inhoud dramatisch.

Zo herinnerde een 26-jarige vrouw zich vóór de Wada-test dat haar broers en zussen dachten dat ze achterlijk was en dat ze haar sloom en stom vonden. Ook de kinderen op school plaagden haar en noemden haar achterlijk, sloom en dom vanwege haar epilepsie. Op de vraag hoe ze zich toen daarover voelde antwoordde ze 'nijdig en boos'. Tijdens de rechtszijdige Wada-test herinnerde ze zich dat de kinderen haar epileptische aanvallen op de hak namen. Op de vraag of ze zich daar ooit nijdig of boos om voelde, antwoordde ze 'nee, eerder in verlegenheid gebracht'. Na de Wada-test kwam haar boosheid over het plagen

weer terug en ontkende ze zich ooit voor haar epilepsie gegeneerd te hebben.

Ook bij de meeste andere patiënten was te zien dat primaire emoties als schrik, vrees en boosheid uit de verhalen van de patiënten verdwijnen als de rechter hersenhelft tijdelijk wordt uitgeschakeld. De nog aanwezige emotionele uitingen zijn eerder van sociale aard (zoals schaamte, spijt) of blijken sociaal aangepaste uitingen van primaire emoties (ergens enigszins beducht voor zijn in plaats van doodsbang). Ross et al. komen dan ook tot de conclusie dat zowel positieve als negatieve primaire emoties door de rechter hersenhelft gemoduleerd worden en sociale emoties door de linker hersenhelft. Ross et al. trachten hun ideeën in te passen in de valentiehypothese. Omdat volgens hen de meeste primaire emoties negatief zijn, is vooral de rechter hersenhelft geneigd tot negatieve emotionele uitingen.

Implicaties

Kennis van het neurobiologische substraat van de emotionele informatieverwerking biedt aanknopingspunten voor de behandeling van emotionele stoornissen. Zo leidt informatie over de samenhang tussen de frontale activatie-asymmetrie en emotionele stemming tot nieuwe, hemisfeerspecifieke, stimuleringstechnieken bij depressie en leidt het inzicht dat beide hersenhelften hun eigen, voor een deel onbewuste, emotionele opmaak hebben tot nieuwe invalshoeken voor de psychotherapie.

Wat de samenhang tussen frontale activatie-asymmetrie en stemming betreft, heeft EEG-onderzoek aangetoond dat er stabiele individuele verschillen zijn in hersenactiviteit. Al bij kinderen van negen à tien maanden oud blijkt dat de relatieve activiteit van

de rechter ten opzichte van de linker frontale cortex een indicatie is voor de emotionele ontwikkeling in het latere leven. Kinderen met een hogere activiteit van de rechter hersenhelft vertonen meer spanning als zij van hun moeder worden gescheiden en blijken op latere leeftijd verlegen en sociaal teruggetrokken te zijn (zie Fox & Card 1999). Bij volwassenen gaat depressie samen met hogere activiteit in de rechter dan in de linker frontale gebieden en een verminderde activiteit in de rechter parietale gebieden. Dit duidt op een vermindering in de beleving van positieve emoties en op een verlaagde arousal.

Een nieuwe ontwikkeling in de behandeling van depressie is het gebruik van repetitieve Transcraniële Magnetische Stimulatie (rTMS). Bij rTMS wordt een sterk magnetisch veld geïnduceerd waarmee gelocaliseerde gebieden in de hersenen, afhankelijk van de ingestelde parameters specifiek kunnen worden gestimuleerd of geïnhibeerd. De afgelopen jaren hebben diverse onderzoeken aangetoond dat van stimulatie van de linker (of inhibitie van de rechter) dorsolaterale prefrontale cortex door middel van rTMS een antidepressieve werking uitgaat (zie Davidson et al., 1999).

Psychotherapie richt zich op het onder controle brengen van irrationele emotionele automatismen en reacties die een gevolg zijn van eerdere emotionele ervaringen en herinneringen. Bij gedragstherapie wordt bijvoorbeeld getracht angst te beheersen en bij cognitieve therapie wordt getracht emotionele reacties door middel van het rationele denken te beïnvloeden.

Met betrekking tot emotionele herinneringen onderscheidt LeDoux een expliciet hippocampaal systeem en

een impliciet amandelkern-systeem. Het hippocampale systeem kan een bewuste herinnering vormen voor het feit dat een bepaalde emotie werd ervaren, maar kan de betreffende emotie niet direct oproepen. Het amandelkern-systeem kan de emotionele herinnering niet bewust laten ervaren, maar geeft de emotionele herinneringen via lichamelijke reacties door. Doordat beide systemen parallel werken ontstaat de bewust ervaren emotionele herinnering. Iemand die bovenop een smalle bergtop doodsangsten heeft uitgestaan, zal deze gebeurtenis niet alleen feitelijk herinneren, ook de lichamelijke reacties die deze gebeurtenis begeleiden komen weer terug. Verdrongen emotionele herinneringen bestaan volgens LeDoux niet, wel onbewuste emotionele herinneringen. Het hippocampale systeem vergt een langere rijping dan het amandelkern-systeem. Daardoor kunnen emotionele herinneringen op vroegkinderlijke leeftijd in de hersenen worden opgeslagen, op een moment dat de oorzaken voor die emotie nog niet bewust in het geheugen bewaard kunnen worden.

De amandelkernen hebben een veel grotere invloed op de neo-cortex dan andersom. Dit komt niet alleen door de asymmetrische connectiviteit, waarbij de amandelkernen veel sterker op de neo-cortex terugprojecteren dan de neo-cortex op de amandelkernen projecteert. De amandelkernen kunnen ook allerlei langdurige lichamelijke reacties veroorzaken, waar de neo-cortex nauwelijks vat op heeft. Is een emotie als angst eenmaal opgewekt, dan is deze niet makkelijk door bewuste controle uit te schakelen. Bij psychische aandoeningen zoals fobieën, angstaanvallen en posttraumatische stressstoornissen heeft het amandelkern-systeem een te grote

invloed op iemands functioneren. In therapie kan langdurige blootstelling aan de bedreigende stimulus, zonder dat daar een angstige ervaring aan is gekoppeld, uiteindelijk leiden tot extinctie: de fobiepatiënt 'overwint' zijn angst. Volgens LeDoux vindt deze extinctie plaats in het netwerk tussen de mediale prefrontale cortex en de amandelkernen. De koppeling tussen de stimulus en de emotionele herinnering blijft echter in het amandelkernsysteem opgeslagen. Met andere woorden, de betreffende angst ligt nog steeds op de loer en kan spontaan, of onder invloed van nieuwe spanningen, terugkomen. Het lijkt er bij angststoornissen dus op dat het niet mogelijk is door middel van therapie de onbewuste emotionele herinneringen die er aan ten grondslag liggen te wissen. Het enige dat verwacht kan worden is dat ze zo goed mogelijk onder bewuste controle gebracht kunnen worden.

Schiffer (1998) veronderstelt dat angst en stress door de ene hersenhelft intenser wordt ervaren dan door de andere. Volgens hem is het niet zo dat dit altijd de rechter hersenhelft is. Bij epileptische patiënten heeft elektrostimulatie door middel van diepte-elektroden laten zien dat er binnen individuen verschillen zijn tussen de linker en rechter amandelkern. Bij sommige patiënten waren de emotionele herinneringen intenser als de rechter amandelkern werd gestimuleerd, bij andere als de linker werd gestimuleerd (Gloor 1986). In elke hersenhelft hebben structuren als amandelkern, hippocampus en mediale prefrontale cortex zo hun eigen kenmerken met de daaruit voortvloeiende emotionele herinneringen en reacties. Elke hersenhelft heeft dus een eigen persoonlijkheid. De twee persoonlijkheden in het brein kunnen

harmonieus met elkaar omgaan, maar ook conflicten met elkaar hebben. In zijn *dual-brain*-therapie wordt een meer harmonieuze en gebalanceerde relatie tussen deze twee persoonlijkheden nagestreefd. Opvallend hulpmiddel hierbij is het gebruik van speciale brillen die of het linkeroog en het linker gedeelte van het rechteroog afdekken of het rechteroog en het rechter gedeelte van het linkeroog. Met de eerste bril is alleen het rechter visuele veld zichtbaar voor de patiënt en wordt alleen de contralaterale, dat wil zeggen linker, hersenhelft gestimuleerd. Met de tweede bril is alleen het linkerveld zichtbaar en wordt alleen de rechter hersenhelft gestimuleerd. Bij sommige patiënten heeft het wisselen van bril dramatische gevolgen. Het dragen van de ene bril wekt gevoelens van angst op, het dragen van de andere gevoelens van ontspanning. Hoewel Schiffers uitgangspunten wetenschappelijk zijn gefundeerd, is nog niet door onafhankelijk onderzoek aangetoond dat zijn *dual-brain*-therapie effectiever is dan andere behandelingsvormen.

Tot slot

In dit artikel is het neurobiologische substraat van de emoties besproken en is op de verschillen in emotioneel profiel van beide hersenhelften ingegaan. Er is de nodige evidentie dat de hersenhelften op verschillende wijze bijdragen aan de emotionele informatieverwerking. De linker hersenhelft is meer dan de rechter betrokken bij positieve emoties, sociale emoties en de regulering van emoties. De rechter hersenhelft is meer dan de linker betrokken bij negatieve emoties, primaire emoties, de waarneming van emoties (zowel intern als extern) en de arousal.

Onderzoek met de modernste EEG-

en fMRI-technieken zal onze kennis over de emotionele informatieverwerking verder vergroten en een meer exacte specificatie mogelijk maken van gespecialiseerde deelprocessen en -circuits. Te verwachten is dat deze kennis de basis verschaft voor verbeteringen in de behandeling van emotionele stoornissen.

Begrippenlijst

Arousal: arousal wordt in dit artikel opgevat als een toename in neurale activiteit als gevolg van de oriëntatie op externe stimuli, zich ondermeer uitend in lichamelijke reacties zoals verhoging van de hartslagfrequentie en verlaging van de huidweerstand. Arousal is, net als de termen 'aandacht' en 'emotie', geen unitair begrip. Arousal wordt vaak in verband gebracht met alertheid en dan omschreven als een verhoging van het activeringsniveau van de hersenen vanuit de reticulair formatie.

Insula: een door de randen van de frontale, parietale en temporale kwabben overdekt, driehoekig, in de diepte van de fossa lateralis verzonken veld van de cerebrale schors.

Striatum: diep in de hersenhelft gelegen structuur. Het striatum bestaat uit twee van de vijf kerncomplexen van de basale ganglia, de nucleus caudatus en het putamen, en wordt ook wel neostriatum genoemd. Een ander kerncomplex, de globus pallidus wordt ook wel het paleostriatum genoemd. Paleo- en neo-striatum vormen samen het corpus striatum.

Prosodie: de wisselingen en nadruk, toonhoogte en ritme in de spraak, die worden aangewend om verschillende nuanceringen in bedoeling of betekenis aan te geven.

Wisconsin Card Sorting Task: een neuropsychologische test bestaande uit kaarten met daarop figuren die variëren op drie dimensies: vorm, kleur en aantal. Deze kaartjes moeten worden gesorteerd volgens een door de patiënt te ontdekken sorteerpriincipe, bijvoorbeeld sorteren op kleur. De onderzoeker geeft telkens aan of een kaart correct wordt ingedeeld. Als de patiënt het sorteerpriincipe door heeft, wordt door de onderzoeker het sorteerpriincipe gewijzigd, bijvoorbeeld sorteren op aantal, zonder dat de patiënt daar weet van heeft. Patiënten met frontale letsels zijn niet goed in staat om van priincipe te wisselen en blijven het eerste sorteerpriincipe volgen, ondanks het feit dat hun indeling nu wordt afgekeurd.

Literatuur

- Borod, J.C. (1993). Emotion and the brain – anatomy and theory: An introduction to the Special Section. *Neuropsychology*, 7, 427-432.
- Canli, T., Desmond, J.E., Zhao, Z., Glover, G. & Gabrieli, J.D.E. (1998). Hemispheric asymmetry for emotional stimuli detected with fMRI. *NeuroReport*, 9, 3233-3239.
- Damasio, A.R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam.
- Davidson, R.J. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain & Cognition*, 20, 125-151.
- Davidson, R.J., Abercrombie, H., Nitschke, J.B. & Putnam, K. (1999). Regional brain function, emotion and disorders of emotion. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 228-234.
- Davidson, R.J. & Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 11-21.
- Fox, N.A., & Card, J.A. (1999). 'Psychophysiological measures in the study of attachment' in: J. Cassidy & P.R. Shaver (red.), *Handbook of attachment: Theory, research, and clinical applications* (pp. 226-245). New York: Guilford Press.
- Frijda, N.H. (1988). *De emoties*. Amsterdam: Bert Bakker.
- Gainotti, G., Caltagirone, C. & Zoccolotti, P. (1993). Left/right and cortical/subcortical dichotomies in the neuropsychological study of human emotions. Special Issue: Neuropsychological perspectives on emotion. *Cognition & Emotion*, 7, 71-93.
- Gloor, P. (1986). 'Role of the human limbic system in perception, memory, and affect: Lessons from temporal lobe epilepsy' in: B.K. Doane & K.E. Livingstone (red.), *The Limbic System: Functional Organization and Clinical Disorders* (pp. 159-169). New York: Raven Press.
- Heilman, K.M. (1997). The neurobiology of emotional experience. *Journal of Neuropsychiatry & Clinical Neurosciences*, 9, 439-448.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201.
- Lane, R.D., Fink, G.R., Chau, P.M.-L. & Dolan, R.J. (1997). Neural activation during selective attention to subjective emotional responses. *NeuroReport*, 8, 3969-3972.
- LeDoux, J. (1996). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon and Schuster.
- MacLean, P.D. (1952). Some psychiatric implications of physiological studies on frontotemporal studies of limbic system (visceral brain). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 4, 407-418.
- MacLean, P.D. (1970). 'The triune brain, emotion and scientific bias' in: F.O. Schmidt (red.), *The neurosciences: second study program* (pp. 336-349). New York: Rockefeller University Press.
- Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. New York: Oxford University Press.
- Papez, J.W. (1937). A proposed mechanism of emotion. *Arch. Neurol. Psychiat.*, 38, 725-744.
- Ross, E.D., Homan, R.W. & Buck, R. (1994). Differential hemispheric lateralization of primary and social emotions: Implications for developing a comprehensive neurology for emotions, repression, and the subconscious. *Neuropsychiatry Neuropsychology & Behavioral Neurology*, 7, 1-19.
- Schiffer, F. (1998). *Of two minds: The revolutionary science of dual-brain psychology*. New York: The Free Press.
- Sobotka, S.S., Davidson, R.J. & Senulis, J.A. (1992). Anterior brain electrical asymmetries in response to reward and punishment. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 83, 236-247.
- Van Strien, J.W. & Boon, C.A. (1997). Altered visual field asymmetry for lexical decision as a result of concurrent presentation of music fragments of different emotional valences. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3, 473-479.
- Van Strien, J.W. & Heijt, R. (1995). Altered visual field asymmetries for letter naming and letter matching as a result of concurrent presentation of threatening and nonthreatening words. *Brain & Cognition*, 29, 187-203.
- Van Strien, J.W. & Morpurgo, M. (1992). Opposite hemispheric activations as a result of emotionally threatening and non-threatening words. *Neuropsychologia*, 30, 845-848.
- Vroon, P. (1989). *Tranen van de krokodil: Over de te snelle evolutie van onze hersenen*. Baarn: Ambo.