



HOE ZIEN **blinden**

Sommige mensen die door hersenbeschadiging blind zijn geworden, kunnen op een bepaalde manier toch reageren op gelaatsuitdrukkingen en zelfs obstakels uit de weg gaan. Wetenschappers proberen aan het licht te brengen hoe dat 'blindzicht' werkt.

Door Beatrice de Gelder

Toen we het filmpje bekeken dat we net hadden gemaakt, stond ik net als mijn collega's met mijn mond vol tanden. Een blinde man stapt door een lange gang vol dozen, stoelen en ander kantoortoebehoren. De medische wereld kent hem als TN, en hij heeft geen idee wat voor buitengewone prestatie hij levert. Hij manoeuvreert voorzichtig zijdelings tussen een papiermand en de muur en om het statief van een camera heen, en gaat de obstakels stuk voor stuk uit de weg zonder te weten dat hij in een hindernissenparcours verzeild is geraakt. TN is dan wel blind, maar kan beter omschreven worden als 'blindziende': hij heeft het buitengewone vermogen om te reageren op wat zijn ogen waarnemen zonder te beseffen dat hij ook maar iets kan zien. [De beelden kan u bekijken op tinyurl.com/26c2zz6]

TN heeft een erg zeldzaam type blindheid. Zeven jaar geleden beschadigden twee beroertes een gebied achterin zijn hersenen, de primaire visuele cortex. De eerste trof zijn linkerhersehelft, de tweede vijf weken later de rechter. Met zijn ogen is er niks mis, maar doordat de visuele cortex niet langer binnenkomende signalen kan verwerken, is hij volledig blind.

Het experiment met TN in de rommelige gang is waarschijnlijk het sterkste staaltje blindzicht dat we kennen. Andere patiënten die hun zicht verloren na beschadiging van de primaire visuele cortex vertonen minder spectaculaire, maar daarom niet minder intrigerende varianten van het fenomeen. Ze reageren op dingen die ze niet bewust kunnen zien, van eenvoudige

geometrische vormen tot het complexe plaatje van een gelaatsuitdrukking. Ook bij gezonde mensen kunnen wetenschappers een gelijkaardig effect uitlokken door de visuele cortex tijdelijk uit te schakelen of op andere manieren te verschalken.

Het onderzoek naar blindzicht wil vooral achterhalen wat corticaal blinden precies kunnen waarnemen en welke hersengebieden en zenuwbanen daarvoor instaan. De inzichten die we daaruit halen, vertellen iets over ons allemaal. Want ook al krijgen we nooit af te rekenen met een ingrijpend letsel zoals TN, dan nog moeten de verborgen hersenkronkels die hem zijn verbazingwekkende waarnemingsvermogen geven ook een onzichtbare hand hebben in ons eigen leven.

Lang tasten in het duister

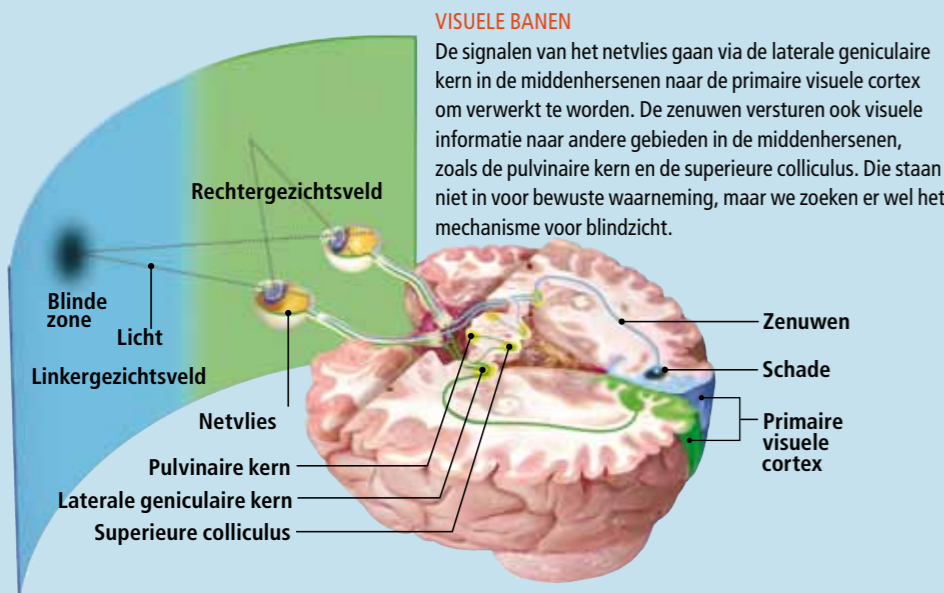
Al in 1917 maakten artsen melding van blindzicht (toen restzicht genoemd) bij sommige gewonde soldaten uit Wereldoorlog I, maar het zou nog een halve eeuw duren voor het vermogen stelselmatig en objectief werd onderzocht. In 1967 bestudeerden Lawrence Weiskrantz en zijn student Nicholas Humphrey aan de Universiteit van Cambridge het verschijnsel bij chirurgisch behandelde apen, en in 1973 ontdekten Ernst Pöppel, Richard Held en Douglas Frost van het Massachusetts Institute of Technology door studie van de oogbewegingen dat hun proefpersoon een lichte neiging vertoonde om in de richting van visuele prikkels te kijken die hij niet bewust kon waarnemen.

Samengevat

- Sommige mensen die door hersenbeschadiging blind zijn geworden, kunnen 'blindzien': ze reageren op voorwerpen en beelden die ze niet bewust waarnemen.
- Blindzienden kunnen uiteenlopende visuele prikkels waarnemen, zoals kleur, beweging, eenvoudige vormen en de emotie op iemands gezicht of in een lichaamshouding.
- Wetenschappers trachten de oeroude hersengebieden in kaart te brengen die instaan voor blindzicht, en tasten de grenzen af van dit opmerkelijke vermogen.

WAT IS BLINDZICHT?

Ons bewuste zicht wordt geregeld in de primaire visuele cortex (onder). Als dat hersengebied beschadigd raakt, verliezen we het zicht in de corresponderende gebieden van ons gezichtsveld. Blindzicht komt voor als patiënten reageren op een voorwerp in die blinde zone. Een indrukwekkend staaltje van dat eigenaardige verschijnsel zien we bij TN, een patiënt die zonder problemen een hindernisparcours aflegt hoewel hij volledig blind is (foto rechts).



VISUELE BANEN

De signalen van het netvlies gaan via de laterale geniculaire kern in de middenhersenen naar de primaire visuele cortex om verwerkt te worden. De zenuwen versturen ook visuele informatie naar andere gebieden in de middenhersenen, zoals de pulvinaire kern en de superieure colliculus. Die staan niet in voor bewuste waarneming, maar we zoeken er wel het mechanisme voor blindzicht.



IN HET BLINDE WEG

Patiënt TN werd volledig blind nadat twee beroertes zijn primaire visuele cortex lamlegden. Lawrence Weiskrantz (met TN, boven) en zijn team vermoedden dat hij blindziende was en vroegen hem door een lege gang te lopen. In werkelijkheid stond die vol rommel. TN baande zich behendig een weg langs alle obstakels, maar was zich er achteraf nog steeds niet van bewust dat ze er stonden en dat hij er zo feilloos omheen gelopen was. Het filmpje van het experiment kan u online bekijken op <http://tinyurl.com/26c2zz6>

Die ontdekkingen zetten aan tot verder systematisch onderzoek bij dieren die geen primaire visuele cortex hebben. Vooral Weiskrantz en zijn medewerkers wierpen zich op dit studiegebied. Een aantal experimenten bewezen dat dieren nog heel wat visuele prikkels kunnen onderscheiden zonder visuele cortex, zoals beweging detecteren en vorm onderscheiden.

Weiskrantz en zijn medewerkers startten in 1973 ook een onderzoek met DB, een proefpersoon die niet lang daarvoor een deel van zijn visuele cortex had verloren tijdens de chirurgische verwijdering van een tumor. Maar in de bredere onderzoekswereld werden de bevindingen over blindziende mensen aanvankelijk op grote scepsis onthaald.

Het hoeft niet te verbazen dat er weinig geloof werd gehecht aan de resultaten, want het verschijnsel lijkt volstrekt tegenstrijdig. Hoe kunnen mensen in 's hemelsnaam zien zonder het te beseffen? Net zoals het geen steek houdt om te zeggen dat je niet weet of je pijn hebt, lijkt het op het eerste gezicht absurd dat iemand iets kan zien als hij zonder enige twijfel blind is.

Toch beseffen we niet altijd wat we kunnen zien. Of zelfs wat we niet kunnen zien. Het verband tussen zien en weten is complexer dan we doorgaans aannemen. Mensen met een normaal zicht hebben bijvoorbeeld ook een blinde vlek, maar we zijn ons daar meestal niet bewust

en het vormt geen handicap. Het ongeloof had nog een andere reden: het magere bewijsmateriaal. Corticale blindheid kan niet vaak bij proefpersonen worden bestudeerd. De primaire visuele cortex heeft bij volwassenen maar een doorsnede van een paar centimeter. Als hij dus beschadigd raakt, worden meestal ook andere hersenfuncties aangetast, waardoor objectief onderzoek moeilijk tot onmogelijk wordt. Toch weten we nu dat heel wat meer patiënten met een beschadigde visuele cortex het verschijnsel ervaren dan psychologen in het verleden dachten, en de scepsis is geleidelijk aan weggesmolten.

Bij de meeste patiënten is de primaire visuele cortex (ook V1 genoemd) niet volledig uitgeschakeld. Vaak is maar een stukje ervan beschadigd, waardoor zich een klein blind eiland vormt in het gezichtsveld. Anderen verliezen de volledige linker- of rechterhelft van V1 en zijn blind voor alles wat zich in de tegengestelde helft van hun gezichtsveld afspeelt. In zulke gevallen is blindzien het opmerken van voorwerpen of beelden in het blinde gebied, waar de patiënt ze niet bewust kan zien.

Normaal gezien laten studies naar het menselijke gezichtsvermogen de proefpersonen zelf vertellen over wat ze waarnemen, maar kandidaten zullen in dat geval steeds beweren dat ze niks zien in het blinde gebied van hun

gezichtsveld. Indirecte methoden kunnen wel aan het licht brengen dat onbewust waargenomen visuele prikkels beïnvloeden hoe een patiënt reageert.

In sommige experimenten treden duidelijke fysiologische veranderingen op die onbewuste waarneming verraden, zoals een vernauwing van de pupillen, en soms reageren proefpersonen anders op voorwerpen in het intacte gezichtsveld, afhankelijk van wat op dat moment in het blinde veld wordt getoond. Als hen wordt gevraagd te raden welk keuzevoorwerp in het blinde veld te zien was, kiest de patiënt bijna steeds het juiste voorwerp.

Neurobeeldvorming is een andere belangrijke proefnemingstechniek. Het kan direct aantonen welke hersengebieden instaan voor blindzien en langs welke kanalen de visuele informatie door ons hoofd reist. Hersenscans hebben ertoe bijgedragen dat er komaf werd gemaakt met de zeurende vermoedens dat intacte stukjes cortex achter het restzicht zouden zitten.

Al die experimentele technieken onthullen dat we onbewust een hele rist visuele eigenschappen kunnen opmerken, zoals kleur, eenvoudige vormen zoals X en O, eenvoudige beweging en de oriëntatie van lijnen of rasters. Grote vormen en fijne details lijken moeilijk waar te nemen, en patiënten nemen de eigenschappen van een raster het nauwkeurigst waar als de lijnen lijken op de latjes van jaloezieën, gezien van ongeveer anderhalve tot vierenhalve meter ver.

Ons navigatie-experiment met TN was geïnspireerd op onderzoekswerk van Weiskrantz en Humphrey, die in 1974 een aap zonder primaire visuele cortex vrij lieten bewegen in een rommelige kamer. Geen enkele keer liep hij tegen een voorwerp aan. Toch waren we sprakeloos toen we zagen hoe TN het einde van de gang bereikte zonder één botsing. Gepersonaliseerde psychologische proeven om zijn bewuste zicht te registreren hadden niet de minste visuele waarneming gedetecteerd, zelfs niet van grote voorwerpen.

De manier waarop TN zich een weg baande door de gang, doet sterk denken aan slaapwandelen, nog zo'n verschijnsel waarbij mensen dingen doen zonder zich bewust te zijn van hun daden. Toen we hem achteraf vragen stelden, zei hij ook dat hij gewoon door de gang was gelopen. Hij was zich er niet van bewust iets gezien te hebben en besepte bovendien niet dat hij niet gewoon rechtdoor was gegaan. Hij kon ons niet vertellen wat hij precies had gedaan, laat staan hoe.

WAT KAN JE BLIND ZIEN?

Blindzicht werkt het best bij visuele prikkels van ongeveer een euro-muntstuk groot, gezien vanop anderhalve meter tot vijf meter. Uiteenlopende visuele eigenschappen kunnen worden onderscheiden, zoals:

- Eenvoudige vormen
- Lijnenreeksen
- Beweging
- Kleur
- Oriëntatie van lijnen



- Blindzicht herkent wel of iemand bang is of blij, maar registreert niet of het een man of een vrouw is.

Blinde emoties

Beweging is een van de essentiële taken om te overleven, dus het hoeft ons niet te verbazen dat het brein heeft uitgedokterd hoe we kunnen navigeren als de primaire visuele cortex het laat afweten of het bewuste zicht wordt belemmerd. De mens vertrouwt als sociale soort bovendien op succesvolle communicatie met anderen om te overleven. Hij moet anderen kunnen herkennen, hun gebaren interpreteren en inschatten wat ze denken. Met die gedachte in het achterhoofd, vroegen mijn medewerkers en ikzelf ons een tiental jaar geleden af of mensen met corticale letsels de emotie op een gezicht konden lezen of de betekenis achterhalen van iemands lichaamshouding in het gedeelte van het gezichtsveld dat bij hen normaal gezien ontoegankelijk was.

In 1999 begonnen we een reeks tests met bewegende beelden van gezichten. Die worden beschouwd als visueel complexe gegevens en zijn veel moeilijker te verwerken dan rasters en andere elementaire vormen. Maar een gezicht is tegelijk een erg natuurlijke vorm.

Onze patiënt GY hadals kind de werking van zijn primaire visuele cortex volledig verloren aan de linkerkant, en was dus blind aan de rechterkant van zijn gezichtsveld. We ontdekten dat hij goed was in het raden van de uitdrukking op gezichten die hij niet bewust waarnam. Maar voor een hele reeks niet-emotionele gezichtseigenschappen, zoals persoonlijke identiteit en geslacht, bleef hij echt blind.

Voor verder onderzoek naar blindzicht en emoties deden we in 2009 een beroep op emotionele aanstekelijkheid, de neiging om onze eigen gezichtsuitdrukking te spiegelen aan die van anderen. Het verschijnsel wordt gemeten door middel van faciale electromyografie, een techniek waarbij elektroden op het gezicht de zenuwsignalen registreren die naar de spieren lopen als we lachen of de wenkbrauwen fronsen.

Toen we de techniek toepasten bij GY en DB terwijl we hen beelden toonden van gezichten en lichamen die vreugde en angst uitdrukten, zagen we dat alle prikkels emotionele reacties uitlokten, of ze nu in het actieve gezichtsveld werden getoond of in het blinde gebied. Vreemd genoeg reageerden de proefpersonen sneller op de beelden die ze niet konden zien dan op de bewust waargenomen plaatjes! We maten ook de pupilverwijding als maatstaf voor fysiologische prikkeling. De onbewust waargenomen plaatjes die angst uitdrukten, hadden het grootste effect. Hoe meer we ons bewust zijn van een

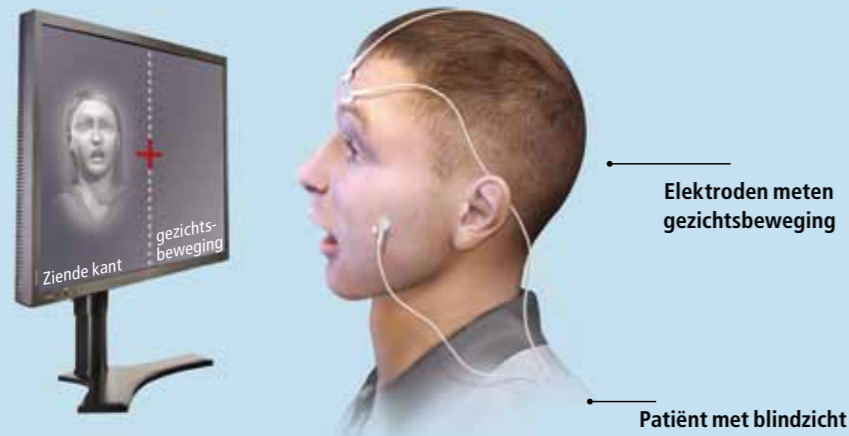
Veel meer patiënten met een beschadigde visuele cortex kunnen blindzien dan psychologen dachten

BLINDZICHT ONDER DE LOEP

Volledige corticale blindheid is heel uitzonderlijk. Daarom wordt er in experimenten vaak gewerkt met patiënten die blind zijn aan één kant van hun gezichtsveld. De patiënt staart recht voor zich uit naar een vast punt, terwijl beelden worden getoond aan de blinde en de ziende kant. De proefpersoon moet dan raden wat er aan de blinde kant wordt getoond of een knop indrukken als hij iets ziet aan de ziende kant. De onderzoekers kunnen onbewuste waarneming registreren door de hersenactiviteit te meten en onbewuste reacties vast te leggen, zoals minieme gezichtsbevingen en pupilverwijding.

ZIEN WE BINDELINGS EMOTIES?

Als patiënten met blindzicht beelden worden getoond van mensen die een emotie uitdrukken, raden ze bijna altijd wat die emotie is, zelfs als het beeld aan hun blinde kant wordt getoond. Hun gezichtsspieren deden hen lachen en fronsen in een spiegeling van de onzichtbare beelden. De gevoelens werden dus herkend zonder bewuste waarneming. Het effect deed zich zowel bij gezichten voor als bij lichamen zonder gezicht, waardoor we weten dat de proefpersonen niet onbewust een gezichtsuitdrukking nabootsten, maar daadwerkelijk de emotie herkenden.



Normaal zicht — Lichte pupilvernaauwing



Blinde / Ziende kant

Blindzicht — Sterke pupilvernaauwing



Normaal zicht — Lichte pupilvernaauwing



Blindzicht — Lichte pupilvernaauwing



WELKE HERSENGEBIEDEN GEBRUIKEN WE BIJ BLINDZICHT?

In experimenten werden grijze en paarse vierkanten getoond aan de patiënten, want de superieure colliculus in de middenhersenen ontvangt geen signalen van het netvlies over paarse objecten. Grijze vierkanten lokten bij de proefpersonen reacties uit die wijzen op blindzicht, zoals een sterkere pupilvernaauwing. Bij de paarse vierkanten bleven zulke reacties uit. In combinatie met neurobeeldvorming wijst dat erop dat de superieure colliculus een sleutelrol speelt bij blindzicht.

emotioneel signaal, hoe trager en zwakker onze reactie is, zo lijkt het.

Volgens een bepaalde wetenschappelijke stroming ontstaat emotionele aanstekelijkheid doordat mensen onbewust de uitdrukkingen nabootsen die ze zien, zonder de emotie zelf te hoeven herkennen. Maar onze patiënten reageerden niet alleen op gezichten, maar ook op lichamen (met onscherp gezicht), waaruit we konden concluderen dat ze reageerden op de emotie die ze waarnamen.

Iedereen ziet blind

Er is maar een klein aantal geschikte patiënten voor onderzoek naar blindzien, dus het is bijzonder waardevol om in gecontroleerde experimenten het verschijnsel uit te lokken bij mensen met een gezond brein. Eén van de technieken die daarvoor worden ingezet, gebruikt subliminale beelden: een visuele prikkel is heel kortstondig, in een flits, te zien, onmiddellijk gevolgd door een patroon op precies dezelfde locatie. Het patroon knoeit met de bewuste verwerking van het vluchtige subliminale beeld, waardoor de proefpersoon het niet bewust waarneemt. Toch

kunnen we objectief bewijzen dat hij het beeld heeft gezien. Andere experimenten schakelen de visuele cortex tijdelijk uit door het achterhoofd te prikkelen met een magnetisch veld, een techniek die transcraniële magnetische stimulatie heet.

Heel wat studies hebben aangetoond dat gezonde proefpersonen de aard van een prikkel erg goed kunnen raden, zelfs als die te kort is getoond om hem bewust waar te nemen of als transcraniële magnetische stimulatie de visuele cortex heeft uitgeschakeld. Er is ook al veel onderzoek verricht naar de reactie van proefpersonen met normaal zicht op emotionele prikkels die ze niet bewust kunnen zien. Zelfs vóór experimenten naar emotionele blindziendheid deden studies bij dieren en mensen vermoeden dat structuren in de subcortex (dieper gelegen en evolutionair oudere hersengebieden dan de cortex) geschikte reacties in gang kunnen zetten voordat gebieden als de visuele cortex de prikkel in detail hebben verwerkt. Dit niet-bewuste systeem lijkt parallel te werken aan de normale, voornamelijk corticale verwerkingsroutes. De subcorticale gebieden die worden geactiveerd

door subliminale emotionele prikkels zijn de 'hoofdverdachten' voor het verwerken van onbewust waargenomen emoties bij blinde patiënten.

Toch kunnen we voorlopig onmogelijk weten of de tijdelijke, uitgelokte blindheid bij mensen met normaal zicht het functionele equivalent is van blindziende patiënten met permanente corticale schade. Visuele maskering, zoals het gebruik van subliminale beelden, laat de visuele cortex de informatie verwerken zoals die dat normaal gezien ook doet, maar knoeien wel met de verdere bewuste verwerking. Het blindzien van subliminale beelden zou dus iets heel anders kunnen zijn dan blindzicht bij corticale schade, met een heel eigen samenwerkingsverband van hersengebieden. Magnetisch opgewekt blindzicht bootst corticale schade vermoedelijk erg goed na, maar om te weten te komen of het ook effectief dezelfde zenuwbanen gebruikt, zullen we experimenten moeten uitvoeren die transcraniële magnetische stimulatie combineren met neurobeeldvorming.

Bovendien is het mogelijk dat het brein, zelfs bij volwassenen -, na een letsel nieuwe verbindingen legt om de opgelopen schade te compenseren. Die plasticiteit legt misschien nieuwe routes aan voor blindzicht die er niet zijn bij proefpersonen met normaal zicht. Zolang we daar het raden naar hebben, blijft onderzoek met patiënten met letsels essentieel om te doorgronden hoe in niet-corticale gebieden blindzicht ontstaat.

Zenuwbanen

Er zijn nog geen sluitende conclusies over de zenuwstructuren achter blindzicht, maar de grootste kanshebber voor een hoofdrol is de superieure colliculus (SC), een gebied in de middenhersenen van de subcortex. Bij gewervelde dieren zoals vogels en vissen is dat de belangrijkste structuur die informatie doorgestuurd krijgt van de ogen. Bij zoogdieren neemt de visuele cortex die opdracht over, maar het gebied speelt wel een rol bij het aansturen van oogbewegingen en andere visuele taken. Bij blindzicht zou informatie rechtstreeks van het netvlies naar de SC reizen zonder een omweg te maken langs de primaire visuele cortex, en hij levert misschien ook genoeg informatie aan het organisme om snel en passend te reageren op grote sociale prikkels.

Vorig jaar toonde ik samen met mijn collega's aan dat de middenhersenen een centrale rol spelen bij het omzetten van onbewust waargenomen visuele signalen in daden. In ons experi-

[DE AUTEUR]



Beatrice de Gelder is hoogleraar cognitieve neurowetenschap en directeur van het Cognitive and Affective Neuroscience Laboratory aan de Universiteit van Tilburg. Ze is ook stafid aan het Amerikaanse Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging. De Gelder bestudeert de neurowetenschappelijke aspecten van de verwerking van gezichten en emoties en de manieren waarop cognitie en emotie op elkaar inspelen in gezonde en beschadigde hersenen.

ment vroegen we een patiënt een knop in te drukken telkens we hem een vierkant toonden aan zijn ziende kant. Soms toonden we tegelijk een vierkant aan de blinde kant. We gebruikten nu eens grijze vierkanten, dan weer paarse, en de paarse tint kon maar door één soort lichtgevoelige kegelcellen in het netvlies worden geregistreerd. Zo waren we er zeker van dat de SC de paars tint niet kon waarnemen, want het gebied krijgt geen informatie doorgestuurd van dat bepaalde celtype.

Een grijs vierkant aan de blinde kant versnelde de respons bij de proefpersoon en deed de pupillen verder samentrekken, een teken dat de prikkel werd verwerkt. Bij paarse vierkanten trad geen van de twee effecten op. De proefpersoon nam in blindzicht dus wel de grijze prikkel waar, maar niet de paarse. Hersenscans toonden aan dat zijn SC het sterkst werd geactiveerd door de grijze prikkel aan zijn blinde kant. Er zijn nog een aantal andere gebieden in de middenhersenen waarvan men vermoedt dat ze blindzicht mogelijk maken, maar in ons experiment vertoonden ze geen relevante activiteit.

Het experiment leerde ons dat de SC bij mensen de brug legt tussen zintuiglijke verwerking (zicht) en motorieke verwerking (reactie). De superieure colliculus draagt bij tot visueel gestuurd gedrag op een manier die kennelijk autonoom werkt ten opzichte van de banen naar de cortex, volledig los van de bewuste visuele ervaring. Ook bij blindzicht van emoties is de SC betrokken, samen met andere gebieden in de middenhersenen zoals de amygdala.

Veel filosofen zijn gefascineerd door blindzien vanwege het tegenstrijdige concept zien zonder het te beseffen. Het is natuurlijk alleen paradoxaal als we 'zien' per definitie interpreteren als 'bewust zien,' een denkwijze die veel wetenschappers in de weg stond om te geloven in blindzicht, en die heel wat vertraging opleverde voor onze kennisopbouw rond de rol van onbewust zien bij menselijke cognitie.

Ook voor corticaal blinde patiënten zelf kan dat ideeën struikelblok zijn, want ze zijn zich vaak niet bewust van hun verborgen gezichtsvermogen. TN beschouwt zichzelf bijvoorbeeld als een blinde, en hij zal volledig afhankelijk blijven van zijn witte stok tot hij ervan overtuigd raakt dat hij kan zien zonder het te beseffen. Oefening helpt misschien ook. Na drie maanden dagelijks oefenen konden corticaal blinde patiënten objecten beter bespeuren in hun blinde veld. Of aangepaste therapie in realistische omstandigheden de navigatievaardigheden verbetert, is een interessante vraag voor verder onderzoek. ■

BLINDE ROUTEKAART

Er worden geavanceerde beeldvormingstechnieken ingezet om de zenuwbanen in kaart te brengen waarlangs visuele informatie in ons hoofd reist om ons blindzicht te geven.

Een eerste methode is diffusie-tensorbeeldvorming (DTI), een MRI-techniek (magnetic resonance imaging) die gebruik maakt van het feit dat water zich makkelijker verplaatst in de richting van neuronen dan als het neuronen moet kruisen.

Met DTI zijn zenuwbundels in kaart gebracht die misschien verantwoordelijk zijn voor blindzicht van emoties. De banen verbinden de pulvinare nucleus en de superieure colliculus met de amygdala, die een sleutelrol speelt bij het verwerken van emoties.