



## Tast zin\*

► H. Chris Dijkerman

\* Dit is een bewerking van de oratie die Chris Dijkerman uitsprak bij het aanvaarden van het ambt van hoogleraar Neuro-psychologie van de Perceptie aan de Universiteit Utrecht op 20 maart 2013.

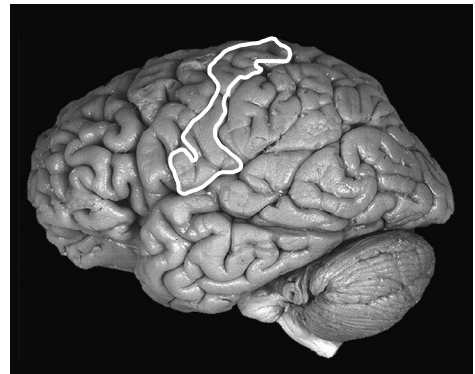
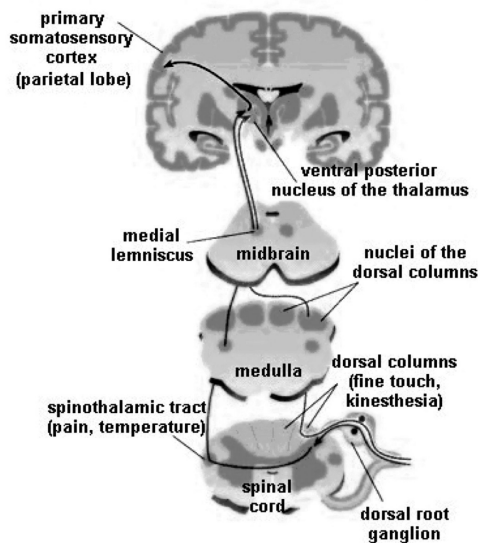
In deze oratie wil ik graag aandacht vragen voor de tastzin en met name bespreken wat de functie, de zin, van tast is. Het belang van tastwaarneming voor ons functioneren kan moeilijk overschat worden. Op ieder moment van ons wakend bestaan ervaren we ons lichaam en dit is ook wezenlijk voor onze identiteit (Blanke, 2012). Afwijkingen in de tastwaarneming en lichaamservaring hebben dan ook een duidelijk effect op ons dagelijks functioneren. Ondanks het belang van tast, wordt er in het neuropsychologisch en neurowetenschappelijk onderzoek minder aandacht aan besteed dan aan andere zintuigen zoals het zien en het horen. In deze oratie wil ik daarom verschillende aspecten van de tastwaarneming bespreken. Deze zullen geïllustreerd worden aan de hand van stoornissen in de tastwaarneming, waarmee ik ook hoop duidelijk te maken dat taststoornissen van belang, en zelfs essentieel zijn, binnen de neuropsychologische praktijk.

### Het somatosensorisch systeem

Alhoewel ik het gemakshalve over de tastzin heb, wordt hier eigenlijk het somatosensorisch systeem mee bedoeld. Dit systeem kan onderverdeeld worden in verschillende deelsystemen. Allereerst de tast zelf, dat is informatie vanuit de huid die aangeeft waar de aanraking is, hoe hard deze is, et cetera. Andere receptoren geven informatie over hoe koud of warm een stimulus is of zijn belangrijk voor pijnwaarneming. Daarnaast zijn er de receptoren in de spieren, gewrichten en pezen die informatie doorgeven over waar de ledematen zich bevinden. Dit wordt ook wel proprioceptie genoemd.

Deze informatie wordt via zenuwbanen doorgestuurd naar het ruggenmerg vanwaar het via de hersenstam naar de thalamus gaat (zie figuur 1 links). Van daar wordt de meeste informatie doorgegeven aan de primaire somatosensorische hersenschors, die zich bevindt in het voorste deel van de pariëtaalkwab (zie figuur 1 rechts).

Schade aan dit corticale gebied leidt tot tast- en proprioceptieve uitval in de lichaamshelft aan de tegenovergestelde zijde. Mensen nemen niet



FIGUUR 1

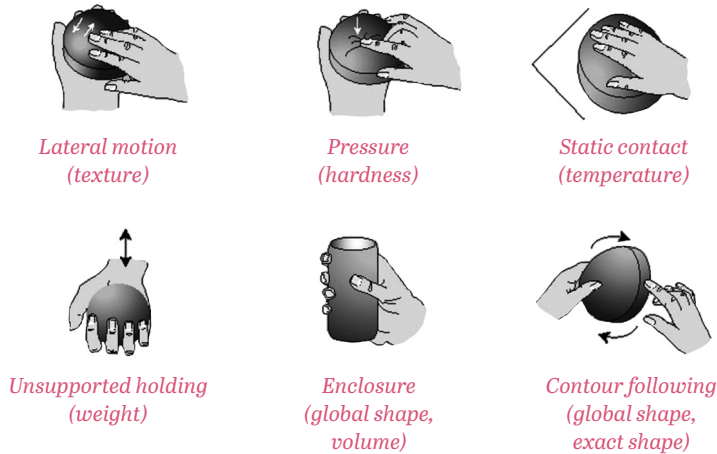
De somatosensorische zenuwbanen van het ruggenmerg tot de primaire somatosensorische hersenschors (links). De primaire somatosensorische hersenschors (rechts).

langer een aanraking waar en weten ook niet meer waar hun lichaamsdelen zich bevinden. In het tweede somatosensorische gebied is de verwerking complexer en wordt informatie van beide lichaamshelften samengevoegd.

Echter hier houdt de informatieverwerking niet op. Andere gebieden in het achterste deel van de pariëtaalkwab, en in de insula, blijken ook betrokken te zijn bij somatosensorische informatieverwerking. Hierbij heeft het somatosensorische systeem twee belangrijke functies: het informeert ons over *de omgeving* door haptische exploratie van bijvoorbeeld voorwerpen en het vertelt ons over *het eigen lichaam* (Dijkerman & De Haan, 2007). Ik zal kort iets over het eerste vertellen, maar wil het vooral hebben over de lichaamswaarneming.

### Haptische exploratie van voorwerpen

Alhoewel visuele waarneming dominant is voor het herkennen en verkennen van voorwerpen, gebruiken we in het dagelijks leven ook vaak de tastzin. Denkt u maar eens aan het herkennen van uw telefoon in uw tas



FIGUUR 2

Exploratoire hand- en vingerbewegingen voor haptische verkenning van voorwerpen (uit Lederman & Klatzky, 1993).

of broekzak waar ook uw sleutels in zitten. Het waarnemen van voorwerpen op de tast is vooral een actief proces. We gebruiken specifieke hand- en vingerbewegingen om informatie over het voorwerp te verkrijgen. Lederman en Klatzky (1993) hebben laten zien dat het type beweging afhangt van welke informatie we willen verkrijgen (zie figuur 2). Dus wanneer we willen weten hoe zwaar een voorwerp is dan bewegen we de hand op en neer. Willen we weten hoe ruw een voorwerp is, dan wrijven we met onze vingers eroverheen. Zo zijn er zes verschillende ‘exploratory procedures’, ieder gericht op een bepaald aspect van het voorwerp.

Een stoornis in het herkennen van voorwerpen op de tast, terwijl primaire tastfuncties nog wel intact zijn, wordt een tactiele agnosie genoemd. Dit komt meestal voor na letsel aan de posterieure pariëtaalgebieden en mogelijk de insula. Tactiele agnosie is in bepaalde opzichten vergelijkbaar met een visuele agnosie.

Net als in het visuele domein zijn er verschillende vormen. Bij een apperceptieve tactiele agnosie heeft een patiënt problemen met het vormen van een perceptuele representatie van het voorwerp op basis van haptische informatie (Reed e.a., 1996). De patiënten kunnen bijvoorbeeld een voorwerp dat ze betast hebben, niet natekenen. Andere patiënten kunnen wel een perceptuele representatie van het voorwerp maken en het dan ook natekenen, maar herkennen het desalniettemin niet

(Nakamura e.a., 1998). Bij deze patiënten is juist het associëren van de gemaakte haptische representatie met (semantische) kennis over een voorwerp gestoord. Dit wordt, net als in het visuele domein, een associatieve agnosie genoemd.

Daarnaast kan een stoornis in exploratieve vingerbewegingen, tactiele apraxie (Binkofski e.a., 2001), ertoe leiden dat een voorwerp niet op de juiste manier haptisch verkend wordt, waardoor het ook niet herkend kan worden (Valenza e.a., 2001). Ook kan de temporospatiële integratie van informatie gestoord zijn, wat wederom kan leiden tot haptische herkenningproblemen (Saetti e.a., 1999).

Samenvattend, de eerste zin (functie) van de tast is het waarnemen van en interacteren met voorwerpen in onze omgeving. Deze vaardigheid is gebaseerd op diverse cognitieve en sensomotorische processen en kan als gevolg van hersenletsel gestoord zijn.

## Lichaamsrepresentaties

### *Taakafhankelijke verwerking*

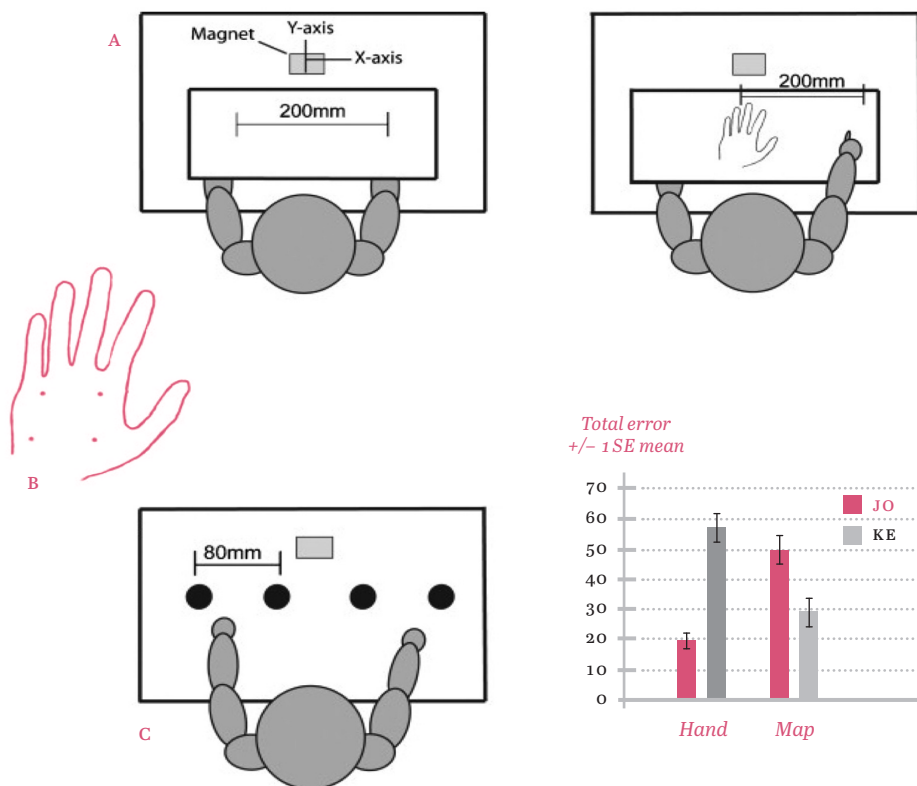
Een wellicht belangrijker functie van het somatosensorische systeem is dat het ons informeert over het eigen lichaam. Tast en proprioceptie vormen de basis voor een bewuste ervaring van de positie en structuur van ons lichaam en voor lichamelijk gerelateerde emoties. Ze zijn ook cruciaal voor de aansturing van bewegingen.

Alhoewel we ons lichaam als een eenheid ervaren, is er al ruim een eeuw bewijs voor verschillende representaties in ons brein die onafhankelijk van elkaar kunnen opereren. In een nog steeds invloedrijk artikel getiteld 'Sensory disturbances from cerebral lesions' beschreven Head en Holmes (1911) op basis van patiëntenonderzoek drie verschillende representaties. Twee aparte 'schema's': een voor de positie van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar en een voor het lokaliseren van een aanraking op de huid (p. 187). Deze zijn niet toegankelijk voor bewuste gewaarwording, maar zijn vooral belangrijk bij het aansturen van bewegingen. Daarnaast zijn er in de sensorische hersenschors lichamelijke herinneringen opgeslagen. Deze werken volgens Head en Holmes samen met de inkomende sensorische informatie waarbij ze uiteindelijk leiden tot een bewust beeld van de aanraking of de positie van een ledemaat.

Helaas heeft men in de jaren daarna dit onderscheid tussen het onbewuste lichaamsschema en het bewuste lichaamsbeeld enigszins uit het oog verloren en werden deze termen door elkaar gebruikt. Eind jaren negentig is hier pas een einde aan gekomen toen Shaun Gallagher en Jacques Paillard, wederom op basis van patiëntenonderzoek, het onder-

scheid tussen het onbewuste lichaamsschema voor het aansturen van bewegingen en het lichaamsbeeld voor bewuste waarneming weer onder de aandacht brachten (Gallagher, 2005; Paillard, 1999).

Mede geïnspireerd door dit onderscheid en door het 'two visual streams'-model van David Milner en Mel Goodale (1995) hebben Edward de Haan en ik enkele jaren geleden gesuggereerd dat corticale verwerking van tastinformatie afhankelijk is van het doel van de verwerking (Dijkerman & De Haan, 2007). Dus wanneer het doel is om een vlieg op je arm dood te slaan wordt de tactiele informatie over de locatie van de vlieg



FIGUUR 3

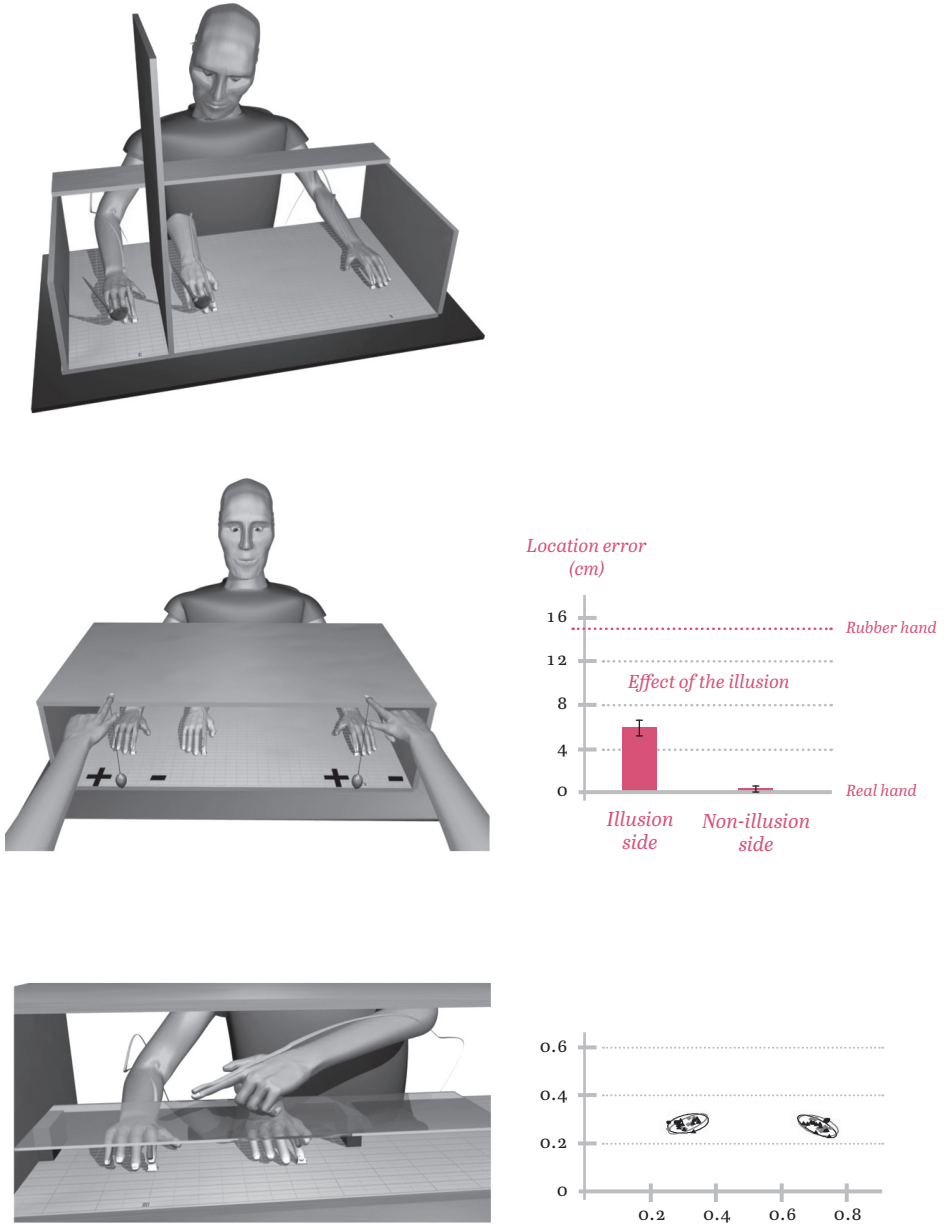
Een dubbele dissociatie tussen het lokaliseren van een aanraking door middel van een perceptuele respons (aanwijzen op een afbeelding [map] van de hand) en een motorische respons (direct wijzen naar de aanraking op de hand). Patiënt KE is gestoord op de motorische respons en presteert normaal op de perceptuele lokaliseratie. Patiënt JO laat het tegenovergestelde patroon zien (uit Anema e.a., 2009).

anders verwerkt dan wanneer het doel is om een perceptuele schatting van de locatie van de vlieg te maken. Bewijs voor dit onderscheid komt van studies die promovendi Marjolein Kammers en Helen Anema enige jaren geleden gedaan hebben. Helen testte twee patiënten op twee verschillende tactiele lokalisatietaken (zie figuur 3). Bij beide taken was de tactiele informatie hetzelfde, een aanraking op de hand, maar verschilde het doel. In de motorische taak werd de patiënt gevraagd om direct naar de aanraking op de hand te wijzen (met de andere hand). In de perceptuele taak werd de patiënt gevraagd om op een afbeelding van de hand aan te geven waar hij werd aangeraakt. Helen vond bij een patiënt uitval op de motorische taak, met normale prestaties op de perceptuele taak, en het omgekeerde patroon bij de andere patiënt (Anema e.a., 2009). Dit laat zien dat, alhoewel de tactiele aanraking hetzelfde is, het type respons bepaalde of een patiënt stoornissen had. Zo'n dubbele dissociatie geeft in de neuropsychologie aan dat er parallelle processen zijn die onafhankelijk van elkaar verstoord kunnen raken.

Marjolein daarentegen ging met lichaamsgerelateerde illusies aan de slag. Alhoewel wij het idee hebben dat we ons lichaam waarnemen zoals het werkelijk is, weten we van diverse illusies dat wij hiermee gemakkelijker voor de gek gehouden kunnen worden. Zoals collega Frans Verstraten in zijn oratie ruim een decennium geleden al aangaf, dit soort illusies geeft ons gereedschap om van buitenaf naar de werking van het brein te kijken.

Marjolein gebruikte de inmiddels zeer populaire rubberen handillusie (Botvinick & Cohen, 1998) (zie figuur 4). Bij deze illusie wordt er tegelijkertijd over een rubberen hand, die voor de proefpersoon ligt, en de eigen hand, die niet zichtbaar is, gewreven. Aangezien de gevoelde aanraking op de hand synchroon plaatsvindt met de geziene aanraking op de rubberen hand, interpreteert het brein dit als dat ze door eenzelfde aanraking veroorzaakt worden. Visuele informatie is hierbij meestal dominant, waardoor de geziene aanraking op de rubberen hand als bron van de gevoelde aanraking wordt waargenomen. Dit heeft ook bij veel proefpersonen tot gevolg dat de rubberen hand als eigen hand wordt ervaren. Een van de reacties waaruit dit kan worden afgeleid, is dat de waargenomen positie van de wijsvinger verschoven is richting de rubberen hand.

Marjolein testte dit door haar vingers over het tafelblad waaronder de handen lagen naar het midden te bewegen (Kammers e.a., 2009, zie figuur 4). De proefpersoon moest dan aangeven wanneer Marjoleins wijsvingers op dezelfde plek waren als de eigen wijsvingers. Er was een duidelijke verschuiving richting rubberen hand in vergelijking met de controleconditie. Vervolgens werd de proefpersoon gevraagd om



FIGUUR 4

De rubberen handillusie. Effect van de rubberen handillusie op een perceptuele lokalisatierespons (boven), maar niet op een motorische lokalisatierespons (onder) (uit Kammers e.a., 2009).

met de ene hand naar de andere hand te wijzen (zowel met de illusiehand naar de controlehand als andersom), dus een motorische in plaats van perceptuele lokaliseringsrespons. En deze bewegingen bleken niet beïnvloed te zijn door de illusie. De locaties van de wijsresponsen in de illusieconditie (blauw) overlappen helemaal met die in de controleconditie (rood). Dus ook hier leek het verwerken van lichaamsgerelateerde informatie afhankelijk van het type respons.

Alhoewel informatieverwerking over de locatie van je hand afhankelijk is van de respons, heeft deze outputgerelateerde denkwijze zeker zijn beperkingen. Zo vroegen Marjolein en Frederique de Vignemont zich af waar je de grens legt (Kammers e.a., 2010). Er zijn verschillen tussen twee responsen die consistent zijn met het idee van twee aparte lichaamsrepresentaties, maar er zijn natuurlijk meer dan twee verschillende responsen te bedenken. Betekent dit dat er voor ieder type respons een andere representatie bestaat? Waar leg je de grens en waar baseer je dit op?

Wellicht is het verstandiger om gedetailleerder te kijken naar de onderliggende processen. Bijvoorbeeld, bij het bewust ervaren van ons lichaam is kennis over de structuur van ons lichaam van belang, maar speelt ook affectieve informatie een rol. Bij ieder zijn aparte processen betrokken.

### *Structurele representaties*

Structurele kennis betekent dat we weten hoe ons lichaam is opgebouwd, dat de hand aan de pols zit en de pols weer aan de onderarm. Dat er twee lichaamshelften zijn en vijf vingers. Letsel aan de linker posterieure pariëtaalcortex leidt tot stoornissen in deze structurele lichaamsrepresentaties. Patiënten kunnen niet langer specifieke lichaamsdelen aanwijzen (autotopagnosie), verwisselen de linker- en rechterzijde van hun lichaam (links-rechtsdesoriëntatie) en herkennen de individuele vingers niet meer (vingeragnosie).

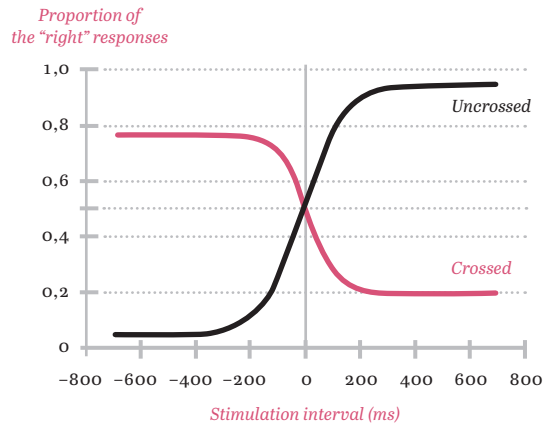
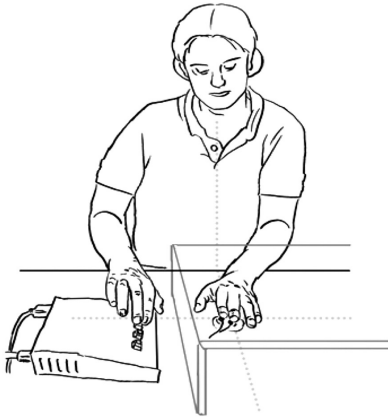
Een vraag bij vingeragnosie is welke onderliggende processen, betrokken bij het vormen van een representatie van de vingers, eventueel gestoord zijn. Hiervoor is van belang dat er aanwijzingen zijn dat vingers anders gerepresenteerd zijn dan overige lichaamsdelen. Een eerste indicatie is uiteraard dat vingerherkenning selectief gestoord kan zijn, terwijl herkenning van andere lichaamsdelen wel intact is. Studies met gezonde proefpersonen geven verdere aanwijzingen voor een aparte vingerrepresentatie. Haggard e.a. (2006) lieten zien dat wanneer de vingers van beide handen met elkaar verweven zijn en vervolgens een



van de vingers wordt aangeraakt, het moeilijker is om aan te geven welke hand is aangeraakt dan wanneer de vingers niet met elkaar verweven zijn. Voor het aangeven van welke vinger er is aangeraakt maakt het echter niet uit. Hij suggereerde dat dit zo is omdat vingers somatotopisch gerepresenteerd zijn (dus volgens de structuur van het lichaam, het soma), terwijl de positie van de hand meer beïnvloed is door *externe* spatiële representaties.

Een ander voorbeeld van dit laatste is onderzoek van Yamamoto en Kitazawa (2001). Zij gaven proefpersonen twee kort opeenvolgende aanrakingen, een op iedere hand. Proefpersonen moesten vervolgens aangeven welke hand er het eerst aangeraakt werd. De handen konden hierbij wel of niet gekruist worden. Cruciaal hierbij is dat ruimtelijke (spatiële) en lichamelijke (somatotopische) representaties uit elkaar getrokken worden. Met andere woorden, wanneer de handen niet gekruist zijn dan ligt de linkerhand aan de linkerkant van de ruimte en de rechterhand aan de rechterkant. De spatiële en somatotopische representaties zijn dan met elkaar in overeenstemming. Echter, worden de handen gekruist, dan bevindt de rechterhand zich aan de linkerkant en andersom. Hierdoor zijn lichamelijke en ruimtelijke representaties niet meer met elkaar in overeenstemming. Dit had enige gevolgen voor de prestaties van de proefpersonen. Wanneer de aanrakingen op de handen kort na elkaar gebeurden (minder dan driehonderd milliseconden) dan hadden sommige proefpersonen de neiging om te reageren alsof de handen niet gekruist waren, dus volgens een lichamelijke representatie. Blijkbaar worden aanrakingen op de hand eerst somatotopisch verwerkt en heeft het tijd nodig om deze om te zetten in een ruimtelijk referentiekader, maar lukt dit uiteindelijk wel. Wanneer er een langere tijd tussen de twee aanrakingen zat, maakten de proefpersonen deze fout niet.

Hoe zit het dan met vingers? Als deze alleen somatotopisch gerepresenteerd zijn, verwacht je dat de vingers netjes in de representatie op een rij liggen van duim tot pink. Het kruisen van de vingers zou er voor zorgen dat de spatiële representatie van de aanrakingen niet meer overeenkomt met de lichamelijke representatie. Enig bewijs voor het feit dat het brein niet gewend is om tastinformatie van gekruiste vingers te krijgen komt van een oude illusie van Aristoteles. Wanneer je met gekruiste vingers een voorwerp zoals een pen of neus aanraakt dan voelt het alsof er twee verschillende voorwerpen aangeraakt worden. Aangezien je vrijwel nooit iets met gekruiste vingers aanraakt, interpreteert het brein de inkomende tastinformatie alsof dit van twee verschillende voorwerpen komt.



FIGUUR 5

Tegenovergestelde patronen voor het aangeven van de richting van twee opeenvolgende aanrakingen voor gekruiste en niet-gekruste vingers (uit De Haan e.a., 2012).



Een studie van Alyanne de Haan in ons lab bevestigde dit (De Haan e.a., 2012). Proefpersonen kregen twee opeenvolgende tikjes, op de wijsvinger of middelvinger van de rechterhand (zie figuur 5). Deze vingers konden wel of niet gekruist zijn. De proefpersonen werd gevraagd om aan te geven in welke richting de aanrakingen gingen, naar rechts of naar links. Het juiste antwoord was uiteraard tegenovergesteld in de gekruiste en niet-gekruste condities. Dat is: wijsvinger-middelvinger is naar rechts in de niet-gekruste conditie en naar links in de gekruiste conditie. De proefpersonen echter negeerden over het algemeen dat de vingers gekruist waren en gaven antwoord alsof de vingers niet gekruist waren, dus in een lichamelijk referentiekader. Dit suggereert dat deze lichamelijke (somatotopische) representatie leidend is bij het waarnemen van tastinformatie vanuit de vingers.

Dit onderzoek laat zien hoe opgeslagen representaties wat betreft de structuur van een deel van het lichaam, hier de vingers, de waarneming van aanrakingen beïnvloeden.

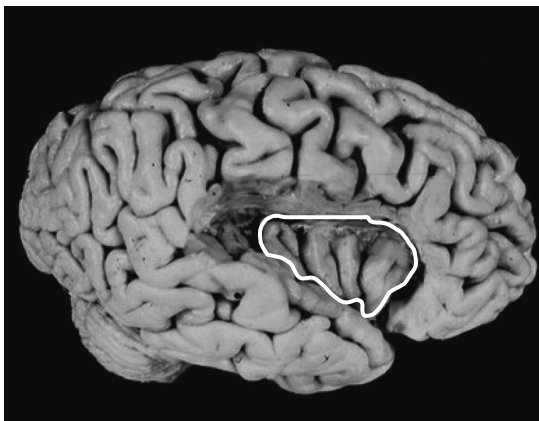
### *Het gevoel van eigendom over verschillende lichaamsdelen*

Een ander aspect dat bij de bewuste ervaring van ons lichaam hoort, is dat wij het idee hebben dat ons lichaam, onze armen en benen van onszelf zijn. Dit lijkt triviaal en vanzelfsprekend, maar de al eerder genoem-

de rubberen handillusie laat zien dat dit niet altijd zo is. Wanneer we ervaren dat de aanraking op de rubberen hand plaatsvindt en dus de rubberen hand bij ons lichaam hoort, gaat tegelijkertijd de temperatuur van de eigen hand iets omlaag, alsof deze hand er niet meer bij hoort (Moseley e.a., 2008). Vanuit de neurologie is bekend dat letsel in met name de rechterhersenhelft kan leiden tot het gevoel dat de arm aan de tegenoverstelde kant niet meer bij het lichaam hoort. Sommigen gaan zelfs zover dat ze deze toewijzen aan iemand anders, de dokter of een familielid.

De afgelopen jaren heeft promovenda Haïke van Stralen enkelen van deze somatoparafreniepatiënten onderzocht. Een van deze patiënten leerde ons iets interessants. Het viel ons op dat de patiënte tijdens het testen op een affectieve manier over de hand wreef waarvan ze eerder had gezegd dat deze niet meer bij haar (lichaam) hoorde. Toen we de patiënte hiernaar vroegen, gaf ze aan dat ze dit deed om extra lief voor de hand te zijn. De hand en zij waren al ruim zestig jaar samen en ze wou nu niet dat ze niet meer bij elkaar waren... Daarom knuffelde ze hem extra. Deze manier van personifiëren van de hand is niet ongebruikelijk bij somatoparafrenie. Het affectief wrijven over de aangedane hand hielp haar om ervoor te zorgen dat de hand voor haar gevoel bij het lichaam bleef horen. Vroegen we haar om op dezelfde affectieve manier over een rubberen hand of Haïkes hand te wrijven, dan had ze het idee dat die hand van haar was (Van Stralen e.a. 2011).

Uit fysiologisch onderzoek weten we dat het langzaam en zacht strelen van de harige bovenkant van de onderarm specifieke zenuwbanen activeert, de zogenaamde c-afferent fibres. De informatie vanuit deze zenuwbanen gaat niet direct naar de primaire somatosensorische her-



FIGUUR 6  
De insula cortex

senschors, maar naar een ander hersengebied, de posterieure insula (figuur 6).

Van onderzoek door Otto Karnath weten we dat patiënten met problemen in het bewustzijn van hun eigen lichaam juist in dit gebied letsel hebben (Karnath e.a., 2005). Daarnaast heeft neuro-imaging laten zien dat activiteit in dit gebied samenhangt met het gevoel van ‘ownership’ over de rubberen hand in de rubberen handillusie (Tsakiris e.a., 2007). Het zou daarom kunnen zijn dat ownership beïnvloed wordt door het type streling tijdens de rubberen handillusie en dit is precies wat promovendus Haïke van Stralen momenteel onderzoekt. Deze manier van beïnvloeden van lichaamsbewustzijn biedt tevens mogelijkheden voor het ontwikkelen van methodes om problemen hiermee te verminderen binnen een revalidatiesetting.

Samenvattend hebben we gezien dat tast ten eerste belangrijk is voor het herkennen van bijvoorbeeld voorwerpen en ten tweede ons informeert over ons eigen lichaam.

### **De neuropsychologie van de tastwaarneming**

Ik heb eerder diverse voorbeelden gegeven van veranderingen in tastwaarneming en lichaamservaring na hersenletsel. Deze stoornissen komen relatief vaak voor. Studies van Carey (1995) en Connell e.a. (2008) laten zien dat tot 60% van de patiënten kort na een beroerte tastwaarnemingsstoornissen ervaart. Lopend onderzoek van Haïke van Stralen, in samenwerking met Martine van Zandvoort en Jaap Kappelle laat een vergelijkbaar percentage zien. Hogere-ordelichaamsrepresentatiestoornissen na een beroerte hebben tot nu toe minder aandacht gekregen. Ook dit zal de studie van Haïke in kaart brengen.

Daarnaast is het voor de patiënt bijzonder relevant dat taststoornissen onderkend worden en dat waar mogelijk er binnen de revalidatie aandacht aan besteed wordt. Helaas blijkt er relatief weinig bekend te zijn over welke revalidatiemethode effectief is. In samenwerking met de afdeling Revalidatie en Sportgeneeskunde, in het bijzonder met Anne Visser-Meily zijn wij momenteel bezig een overzicht te maken van de verschillende revalidatiemethoden en te kijken wat de onderliggende processen zijn. Dit vormt hopelijk de basis voor het ontwikkelen van een effectieve interventie voor het verminderen van taststoornissen.

Ik hoop dat ik met dit overzicht heb kunnen aantonen dat tastwaarneming essentieel is voor wie we zijn en hoe we dagelijks functioneren. Hierbij moge duidelijk zijn dat tastwaarneming niet alleen afhangt van informatie vanuit onze huid en spieren, maar ook van hogere orde cogni-

tieve processen. Daarnaast komen taststoornissen na hersenletsel zoals bij een beroerte relatief vaak voor en is het gevolg dikwijls beperkingen in het dagelijks functioneren. Mijn pleidooi zou dan ook zijn om binnen de klinische neuropsychologische praktijk meer aandacht aan tast- en lichaamsrepresentatiestoornissen te besteden. Maak van tastwaarneming een van de functies binnen de neuropsychologische diagnostiek die, net als visuele waarneming, hoort tot het domein van de neuropsycholoog.

Ik heb gezegd.

**H. Chris Dijkerman** Universiteit Utrecht, Psychologische Functieleer, Heidelberglaan 1, 3584 cs Utrecht.

#### Literatuur

- Anema, H.A., Van Zandvoort, M.J.E., De Haan, E.H.F., Kappelle, L.J., De Kort, P.L.M., Jansen, B.P.W. & Dijkerman, H.C. (2009). A double dissociation between somatosensory processing for perception and action. *Neuropsychologia*, 47, 1615-1620.
- Binkofski, F., Kunesch, E., Classen, J., Seitz, R.J. & Freund, H.J. (2001). Tactile apraxia: Unimodal apractic disorder of tactile object exploration associated with parietal lobe lesions. *Brain*, 124, 132-144.
- Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature reviews Neuroscience*, 13, 556-571.
- Botvinick, M. & Cohen, J. (1998). Rubber hands "feel" touch that eyes see. *Nature*, 391, 756.
- Carey, L.M. (1995). Somatosensory loss after stroke. *Critical Reviews in Physical Rehabilitation Medicine*, 7, 51-91.
- Connell, L.A., Lincoln, N.B. & Radford, K.A. (2008). Somatosensory impairment after stroke: Frequency of different deficits and their recovery. *Clinical Rehabilitation*, 22, 758-767.
- Dijkerman, H.C. & De Haan, E.H. (2007). Somatosensory processes subserving perception and action. *Behavioral and Brain Sciences*, 30, 139-189.
- Gallagher, S. (2005). *How the body shapes the mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Haan, A.M. de, Anema, H.A. & Dijkerman, H.C. (2012). Fingers crossed! An investigation of somatotopic representations using spatial directional judgements. *PLoS one*, 7, e45408.
- Haggard, P., Kitadono, K., Press, C. & Taylor-Clarke, M. (2006). The brain's fingers and hands. *Experimental brain research*, 172, 94-102.
- Head, H. & Holmes, G. (1911). Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, 34, 102-254.
- Kammers, M.P., De Vignemont, F., Verhagen, L. & Dijkerman, H.C. (2009). The rubber hand illusion in action. *Neuropsychologia*, 47, 204-211.
- Kammers, M.P.M., Mulder, J., De Vignemont, F. & Dijkerman, H.C. (2010). The weight of representing the body: Addressing the potentially indefinite number of body representations in healthy individuals. *Experimental brain research*, 204, 333-342.
- Karnath, H.O., Baier, B. & Nagele, T. (2005). Awareness of the functioning of one's own limbs mediated by the insular

- cortex? *Journal of Neuroscience*, 25, 7134-7138.
- Lederman, S.J. & Klatzky, R.L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- Milner, A.D. & Goodale, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Moseley, G.L., Olthof, N., Venema, A., Don, S., Wijers, M., Gallace, A. & Spence, C. (2008). Psychologically induced cooling of a specific body part caused by the illusory ownership of an artificial counterpart. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 13169-13173.
- Nakamura, J., Endo, K., Sumida, T. & Hasegawa, T. (1998). Bilateral tactile agnosia: A case report. *Cortex*, 34, 375-388.
- Paillard, J. (1999). Body schema and body image—a double dissociation in deafferented patients. In: G.N. Gantchev, S. Mori & J. Massion (red.), *Motor control, today and tomorrow* (pp. 198-214). Sofia: Academic Publishing House 'Prof. M. Drinov'.
- Reed, C.L., Caselli, R.J. & Farah, M.J. (1996). Tactile agnosia: Underlying impairment and implications for normal tactile object recognition. *Brain*, 119, 875-888.
- Saetti, M.C., De Renzi, E. & Comper, M. (1999). Tactile morphagnosia secondary to spatial deficits. *Neuropsychologia*, 37, 1087-100.
- Stralen, H.E. van, Van Zandvoort, M.J.E. & Dijkerman, H.C. (2011). The role of self-touch in somatosensory and body representation disorders after stroke. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 366, 3142-3152.
- Tsakiris, M., Hesse, M.D. & Boy, C. Haggard, P. & Fink, G.R. (2007). Neural signatures of body ownership : A sensory network for bodily self-consciousness. *Cerebral Cortex*, 17, 2235-2244.
- Valenza, N., Ptak, R., Zimine, I., Badan, M., Lazeyras, F. & Schnider, A. (2001). Dissociated active and passive tactile shape recognition: A case study of pure tactile apraxia. *Brain*, 124, 2287-2298.
- Yamamoto, S. & Kitazawa, S. (2001). Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature Neuroscience*, 4, 759-765.