

Jeukende handen

De taal van beweging binnen handbereik

Waarom jeuken onze handen als we een kind onhandig zien proberen een ritssluiting dicht te maken? Als we een beweging zien, doen onze hersenen deze intern na. Daardoor kunnen we de beweging herkennen, begrijpen en eventueel beantwoorden. De spiegelneuronen die hiervoor verantwoordelijk zijn, blijken echter niet alleen betrokken bij het begrijpen en imiteren van bewegingen. Hun functies raken aan vele andere belangrijke psychologische fenomenen zoals taal, empathisch vermogen, sociaal gedrag, Theory of Mind en autisme.

Nina Bien

Tijdens een dansles kopiëren we zo precies mogelijk de bewegingen die de leraren ons voordoen, ondertussen onopvallend in de spiegel kijkend of het er ook echt zo uitziet als het voelt. Tijdens het praten zetten we ons verhaal met handgebaren en gezichtsuitdrukkingen kracht bij, zelfs al bevindt het luisterend oor zich aan de andere kant van een telefoonlijn. De dirigent zorgt er met hand- en armgebaren voor dat zijn orkest, een samenraapsel van individuen met hun zo verschillende instrumenten, één groot, geolied instrument wordt. Doven zijn voor hun communicatie zelfs voor een groot deel afhankelijk van het kunnen maken en interpreteren van subtiele handgebaren (zie Figuur 1). Mensen hebben iets met bewegingen van andere mensen, zoveel is duidelijk.

Het interpreteren van de bewegingen van andere mensen lijkt helemaal vanzelf te gaan. Ook al twijfel je soms over wat er met een bepaalde beweging bedoeld wordt, het waarnemen en eventueel imiteren ervan gaat automatisch goed. Heel simpel toch? Als je de hersenen echter iets beter bekijkt, zie je dat het zo simpel niet kan zijn. Visuele verwerking en het uitvoeren van bewegingen vinden plaats in heel andere hersengebieden. Toch moet er ergens in de hersenen iets zijn dat deze twee systemen aan elkaar koppelt, dat een link legt tussen enerzijds het waarnemen van een beweging, en anderzijds het begrijpen en uitvoeren van precies dezelfde beweging.

Die link werd in de jaren negentig door enkele onderzoekers van de universiteit van Parma min of meer bij toeval gevonden. Tijdens het onderzoeken van motorneu-



Figuur 1. Het interpreteren van bewegingen van andere mensen speelt een belangrijke rol in ons dagelijks leven. Doven en slechthorenden zijn zelfs afhankelijk van het begrijpen van bewegingen om te kunnen communiceren. Tijdens het communiceren in gebarentaal wordt het gebied van Broca gebruikt, een belangrijk taalgebied dat ook deel blijkt uit te maken van het menselijke systeem van spiegelneuronen. Dit staft de theorie dat spiegelneuronen aan de basis liggen van het menselijk taalvermogen.

Foto: Nina Bien

ronen in de premotorcortex van een makiak viel hun op dat bepaalde neuronen niet alleen zoals verwacht vuurden op het moment dat het aapje kleine voorwerpen oppakte, maar ook terwijl het aapje niks deed en slechts toekeek hoe de onderzoekers dezelfde voorwerpen oppakten. Deze motorneuronen, normaliter betrokken bij het uitvoeren van

specifieke bewegingen, bleken eveneens te reageren op visuele informatie over diezelfde specifieke bewegingen.

De onderzoekers noemden deze neuronen daarom heel toepasselijk 'spiegelneuronen'. Ze beredeneerden dat door de geobserveerde beweging te projecteren op de eigen motorische cortex, de beweging herkend kon worden. En misschien zelfs begrepen. Tevens zou de stap naar het imiteren van de waargenomen beweging dan niet meer groot zijn; spiegelneuronen zijn immers ook motorneuronen.

Het waarnemen, interpreteren en imiteren van bewegingen is voor mensen in hun alledaagse, sociale context van groot belang. De spiegelneuronen die bij aapjes ontdekt werden, lijken geknipt voor het uitvoeren van deze taken. Zouden mensen ook zo'n systeem van spiegelneuronen bezitten?

Spiegelneuronen in de menselijke hersenen

Spiegelneuronen, neuronen die zowel sensorische als motorische eigenschappen bezitten, werden zoals gezegd in de jaren negentig ontdekt in de premotorcortex van makakaapen. De evolutionaire continuïteit tussen apen- en mensenhersenen is aanzienlijk (Decety, 2002). Hoewel het zeker niet per definitie zo is dat anatomisch gelijksoortige structuren bij aap en mens ook verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van dezelfde functies, zou het bestaan van een menselijk systeem van spiegelneuronen in de lijn der verwachting liggen. Als we het systeem zoals dat bij apen blijkt te bestaan simpelweg zouden projecteren op de menselijke cortex, dan zouden we een corticaal systeem verwachten bestaande uit de superieure temporale sulcus (sts), inferieure frontale gyrus en bepaalde delen van de pariëtaalkwab.

Het onderzoeken van spiegelneuronen bij mensen is echter van een heel andere orde dan het onderzoeken daarvan bij apen. Het laatste betreft namelijk *single cell recording* (Rizzolatti et al., 1996), oftewel het meten van de actiepotentialen van één of enkele neuronen door middel van een naaldelektrode die in het brein wordt ingebracht. Voor deze procedure moet de schedel geopend worden, een riskante ingreep die bij mensen slechts sporadisch wordt toegepast in geval van medische noodzaak.

Gelukkig zijn er ook minder invasieve manieren om meer te weten te komen over de hersenen en hun functies. De meest gebruikte methode is fMRI, oftewel functionele MRI: een magnetische scan waarmee niet alleen de anatomie van de hersenen, maar ook de lokale activiteit tijdens het uitvoeren van bepaalde taken gevisualiseerd kan worden. Meer activiteit in een bepaald hersengebied betekent door de bank genomen dat dat gebied bij het uitvoeren van de betreffende taak een rol speelt. Door de activatiepatronen als gevolg van verschillende taken, of verschillende niveaus van eenzelfde taak, met elkaar te contrasteren, kunnen conclusies getrokken worden over welke specifieke functie door een hersengebied uitgevoerd wordt.

Soortgelijke onderzoeken zijn sinds de jaren negentig veelvuldig gebruikt om te proberen een beeld te vormen van de anatomie en het functioneren van een mogelijke men-

selijke equivalent van de spiegelneuronen die in aapjes gevonden werden. In tegenstelling tot *single cell recording* geeft fMRI echter geen directe informatie over de activatiepatronen van individuele of kleine groepjes neuronen, maar kan het slechts indirecte informatie verschaffen omtrent het functioneren van relatief grotere corticale gebieden. Om iets te kunnen vinden, moet je eerst ongeveer weten waar je naar op zoek bent. Waar waren de onderzoekers naar op zoek, in het geval van de spiegelneuronen? Ze zochten naar bewijzen dat de motorische cortex, normaliter betrokken bij het uitvoeren van bewegingen, tevens activiteit vertoont tijdens het passief observeren van bewegingen.

Een van de eerste bewijzen dat dit inderdaad het geval is, werd in 1995 gevonden door Fadiga en zijn collega's (1995). Zij lieten proefpersonen naar beelden van armbewegingen kijken, terwijl ze ondertussen transcraniële magnetische stimulatie (TMS, een methode waarbij een magnetische puls op de schedel de hersenfunctie zeer plaatselijk en tijdelijk verstoort) toedienden aan de motorcortex van de linkerhemisfeer. Tegelijkertijd werden de spierpotentialen (*motor evoked potentials*, oftewel MEP's) van de rechterarm gemeten. De geregistreerde potentialen in de rechterarm werden groter wanneer de proefpersonen een armbeweging observeerden, hetgeen impliceert dat de motorcortex verantwoordelijk voor de arm actiever was tijdens de observatie van een armbeweging dan wanneer er geen armbeweging van iemand anders geobserveerd werd. Er was dus activiteit in de motorische cortex hoewel de proefpersoon zelf géén motorische actie uitvoerde.

Een tweede mijlpaal was het resultaat van enkele studies met behulp van positronemissietomografie (PET), een visualisatiemethode vergelijkbaar met fMRI. Observatie van beelden waarin door menselijke handen grijpacties werden uitgevoerd, leidde bij proefpersonen tot een verhoogde activatie in de superieure temporale sulcus, de inferieure pariëtale cortex en in de inferieure frontale gyrus (Rizzolatti & Arbib, 1998). Deze gebieden bleken opmerkelijk overeen te komen met de gebieden die bij aapjes deel uitmaken van het systeem van spiegelneuronen.

Beide bovengenoemde resultaten zijn sterke aanwijzingen dat, evenals bij apen, bij mensen een systeem van spiegelneuronen betrokken is bij het observeren en verwerken van acties van andere individuen. Maar hoe zorgen deze spiegelneuronen ervoor dat we weten wat de geobserveerde actie voor betekenis heeft?

Het begrijpen van bewegingen

Visuele versus motorische verwerking, waarneming versus uitvoering: tot de ontdekking van spiegelneuronen werden deze corticale systemen als grotendeels gescheiden systemen beschouwd, zowel wat functie als anatomie betreft.

**Winnaar van de
Publicatieprijs voor
aankomende auteurs
2007**

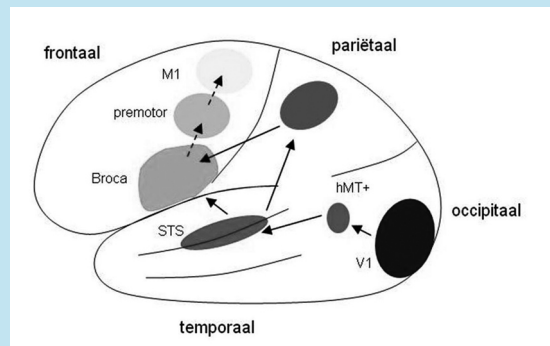
Dat elke visuele waarneming, ook die van een beweging, via het visuele systeem verloopt, staat buiten kijf. Het begrijpen en zeker het imiteren van een geobserveerde beweging ontstijgt echter ontegenzeggelijk het puur visuele niveau. Spiegelneuronen kunnen door hun tweeslachtige karakteristieken beschouwd worden als de schakel tussen beide systemen, maar hoe gaat dat schakelen precies in zijn werk?

Visuele waarneming vindt plaats helemaal achterin de hersenen, in de occipitaalkwab. De visuele cortex bestaat uit verschillende gebieden die hiërarchisch geordend zijn, van heel simpele naar steeds complexere eigenschappen van stimuli. Zo verwerkt de primaire visuele cortex v1 vooral eenvoudige contrasten, is v4 gespecialiseerd in kleuren en v5 oftewel hMT+ in beweging. Op een nog hoger niveau worden stimuli verwerkt in gespecialiseerde gebieden elders in de hersenen. Objecten worden bijvoorbeeld gecategoriseerd en eventueel herkend in de temporaalkwab, en hetzelfde gebeurt met gezichten in de fusiforme gyrus. Het waarnemen van een beweging gemaakt door een ander individu, blijkt eveneens tot zo'n specifieke categorie te behoren, te weten 'biologische beweging'.

Bewegingen van andere organismen worden automatisch als biologische beweging herkend, en vervolgens op een speciale manier verwerkt en geïnterpreteerd. Alleen het verwerken van de visuele input is immers niet genoeg. Vaak heeft zo'n biologische beweging een betekenis die in ons evolutionaire verleden nog wel eens van levensbelang heeft kunnen zijn. Het hersengebied verantwoordelijk voor het herkennen van biologische beweging is, net als bij aapjes, een deel van de superieure temporale sulcus (STS) (Figuur 2; Blakemore & Decety, 2001). Een meer posterieur gelegen gedeelte van de STS blijkt tevens te reageren op de context waarin de biologische beweging plaatsvindt, wat erop wijst dat dit gebied betrokken is bij het begrijpen van intenties van anderen aan de hand van hun bewegingen (Saxe et al., 2004).

Het herkennen van een biologische beweging en de eventuele context vindt dus plaats in de STS. Op dit punt aangekomen is de verwerking echter nog altijd puur visueel. De theorie van de spiegelneuronen voorspelt dat om bewegingen te begrijpen, we ze projecteren op onze eigen motorische cortex. Door de activiteit die dan ontstaat kunnen we achterhalen welke beweging er gemaakt werd. Door die informatie vervolgens te vergelijken met situaties waarin wij zelf deze activiteit zouden produceren – met andere woorden, wanneer we zelf eenzelfde beweging zouden maken – kan een inschatting gemaakt worden van de reden waarom dit individu die beweging gemaakt zou kunnen hebben. De contextgevoelige informatie afkomstig uit de posterieure STS kan hierbij helpen.

Kortom, voor het begrijpen van biologische bewegingen verwachten we betrokkenheid in hersengebieden die zowel sensorische als motorische karakteristieken vertonen, zoals – analoog aan het apenbrein – in de (pre)motorische en pariëtale cortex. In verschillende fMRI-studies is inderdaad bewijs gevonden dat specifieke motorische en pariëtale gebieden zowel motorische als sensorische karakteristieken vertonen, dus zowel actief waren tijdens het uitvoeren van acties als

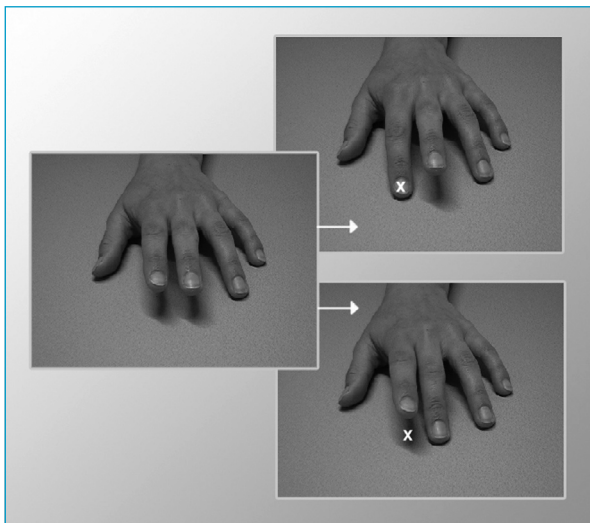


Figuur 2. Een vereenvoudigde voorstelling van de menselijke hersenen met daarin een schematisch model van het systeem van spiegelneuronen. Visuele informatie over biologische bewegingen wordt eerst verwerkt in het visuele systeem, wordt vervolgens herkend als biologische beweging in de superieure temporale sulcus (STS) en dient uiteindelijk als input voor het systeem van spiegelneuronen, bestaande uit frontale en pariëtale gebieden.

tijdens het observeren ervan, hét criterium voor de aanwezigheid van mirror neurons (Buccino et al., 2000; Rizzolatti, Fogassi & Gallese, 2001; Rizzolatti et al., 2002; Wheaton et al., 2004).

Naast bewijzen afkomstig uit TMS- en fMRI-studies zijn er ook gedragsmatige bewijzen dat mensen inderdaad over een systeem van spiegelneuronen lijken te beschikken. Brass en collega's (2000) en Brass, Bekkering en Prinz (2001) gebruikten een simpel maar doeltreffend experimenteel ontwerp om dit aan te tonen, met als uitgangspunt de overeenkomst tussen stimulus en respons: het *Stimulus-Response-Compatibility* paradigma (Figuur 3). Proefpersonen keken naar een scherm, waarop een hand verscheen. Op een zeker moment bewoog één van de vingers – de wijs- of de middelvinger – op en neer. Op precies hetzelfde moment verscheen er ook op een van de beide vingers een kruisje. Dat kruisje verscheen in de helft van de gevallen op de bewegende vinger (congruent), in de andere helft op de niet-bewegende vinger (incongruent). De opdracht was simpel: in de ene conditie moesten de proefpersonen de vingerbeweging nadoen (imitatie), in de andere conditie moesten ze deze vingerbeweging juist negeren en een respons geven met de vinger waarop het kruisje verscheen (spatieel).

Uitgaande van de theorie van spiegelneuronen zal de observatie van een biologische beweging leiden tot een activatie van spiegelneuronen in de motorische cortex. Een activatie, bovendien, die vergelijkbaar is met de activatie die nodig is om zelf deze beweging te kunnen uitvoeren. Dit zou logischerwijs leiden tot een neiging om de geobserveerde beweging te imiteren. In dit geval zou het waarnemen van de vingerbeweging bij de proefpersoon dus de neiging opwekken om deze beweging te imiteren. In de imitatieconditie kwam dat goed van pas, imiteren was immers precies de opdracht. In de spatiele conditie daarentegen, zou men op basis van de theorie van spiegelneuronen een langzamere reactie verwachten, omdat eerst de neiging



Figuur 3. Een voorbeeld van het *Stimulus-Response-Compatibility*-paradigma, een veelgebruikte proefopzet bij het onderzoeken van het menselijke systeem van spiegelneuronen. De proefpersoon zit voor een scherm, de rechterhand ligt op tafel in dezelfde startpositie als de hand op het scherm (links). Op een bepaald moment beweegt de wijsvinger (bovenste plaatje) of middelvinger (onderste plaatje) naar beneden. Op hetzelfde moment verschijnt op dezelfde vinger (congruent, boven) of op de andere vinger (incongruent, onder) een kruisje. In de imitatieconditie wordt de proefpersoon gevraagd de vingerbeweging zo snel mogelijk na te doen (boven: wijsvinger, onder: middelvinger). In de spatiele conditie echter moet de vinger bewogen worden die een kruisje vertoont (boven en onder: wijsvinger). Proefpersonen blijken sneller te reageren als de hun gevraagde respons overeenkomt met de beweging in de stimulus, dus als ze mogen imiteren in plaats van op het kruisje te letten. Ook blijkt in de incongruente condities de bewegende andere vinger een sterkere afleider te zijn dan het kruisje op de andere vinger. Beide resultaten zijn een bewijs voor het bestaan van spiegelneuronen in de menselijke hersenen. Bovendien laten ze zien dat mensen een neiging hebben om bewegingen die ze zien onbewust na te doen.

tot imitatie onderdrukt moest worden, en vervolgens een rationele beslissing genomen moest worden met betrekking tot de keuze van de vinger. Kortom, men verwachtte een snellere respons van de proefpersoon indien die respons gelijk was aan de geobserveerde beweging (compatibel), en een langzamere respons wanneer de respons anders was dan de geobserveerde beweging (incompatibel). Daarnaast verwachtten de onderzoekers dat de storende invloed van een andere bewegende vinger in de spatiele-incongruente conditie groter zou zijn dan die van het kruisje op de andere vinger in de imitatief-incongruente conditie.

De resultaten van beide studies van Brass en zijn collega's bevestigden deze hypothesen. Proefpersonen waren inderdaad sneller wanneer ze de beweging mochten imiteren, ten opzichte van wanneer ze hun respons moesten bepalen aan de hand van de kruisjes. Bovendien bleken proefpersonen extra vertraagd te worden door een vinger die bewoog terwijl ze moesten letten op het kruisje op de

andere vinger, ten opzichte van een kruisje op de andere vinger wanneer ze mochten imiteren. Blijkbaar is het observeren en imiteren van geobserveerde bewegingen een zodanig automatisch proces dat het heel snel en gemakkelijk uitgevoerd kan worden.

Het lijkt er kortom op dat er in de menselijke hersenen inderdaad gebieden te vinden zijn die zowel sensorische als motorische karakteristieken vertonen. Bovendien blijkt uit bovenstaande gedragsdata dat de motorische activiteit die optreedt tijdens het waarnemen van bewegingen, functioneel relevant is, dus niet slechts een bijverschijnsel van de observatie. Samen levert dit overtuigend bewijs dat mensen spiegelneuronen gebruiken om bewegingen van andere mensen te begrijpen.

Na-apen: niet altijd handig

Blijkbaar hebben mensen de neiging om elke beweging die ze zien te imiteren. Deze neiging, hoewel van groot nut bij het herkennen en interpreteren van bewegingen, kan echter lastig zijn in het dagelijks leven, waar het klakkeloos imiteren van elke beweging waarschijnlijk vreemde blikken zou oproepen. Het is daarom aannemelijk dat er in de hersenen, naast het systeem van spiegelneuronen dat ervoor zorgt dat we een neiging hebben tot imitatie van een geobserveerde beweging, een systeem is dat zorgt voor de onderdrukking van deze neiging in situaties waar imitatie niet gewenst is.

Dat er zo'n systeem bestaat, en dat het laten werken ervan enige moeite kost, blijkt soms in situaties waar mensen hun aandacht volledig op de bewegingen van andere mensen gevestigd hebben, en daardoor zo in beslag genomen worden dat ze zich minder bewust zijn van hun eigen gedrag. Een situatie waarbij dit bij uitstek naar boven komt, is tijdens het kijken naar sport. Iedereen kent wel het beeld van de boxtrainer die zo meeleeft met zijn pupil dat hij onbewust 'meevecht' met zijn vuisten en bovenlichaam. Of de manier waarop een voetbalkijker meebeweegt met de spits die met de bal aan de voet het doel nadert, zijn gezicht een weerspiegeling van het al dan niet succesvolle verloop van de doelpoging. Onze handen jeuken dan om mee te doen, en het is in het vuur van dit spel dat we soms eventjes vergeten om onze imitatie-drang te onderdrukken.

Naast dit nogal indirecte bewijs van het bestaan van een systeem dat de neiging tot automatisch imiteren onderdrukt indien imitatie ongewenst is, is er natuurlijk ook meer wetenschappelijk bewijs. Neuropsycholoog Luria beschreef in 1966 reeds hoe patiënten met een beschadiging in het frontale gedeelte van de hersenen opvallend imitatiegedrag vertoonden, een symptoom dat hij 'echopraxia' noemde. De Franse arts Lhermitte (Lhermitte, Pillon & Serdaru, 1986) onderzocht twee decennia later patiënten met zogenaamde frontotemporale dementie, een aandoening geassocieerd met frontaal hersenletsel, en kwam tot de fascinerende slotsom dat een groot gedeelte van hen niet anders kon dan elke beweging te imiteren die hij hen voordeed. Dit hardnekkige imitatiegedrag ging zelfs door terwijl de arts hen vroeg te stoppen. Ze konden er simpelweg niets aan doen.

Uit dit ziektebeeld komen twee dingen naar voren. Ten eerste dat er waarschijnlijk een mechanisme is dat imitatie-drang onderdrukt wanneer nodig, een mechanisme dat bij deze patiënten beschadigd was geraakt. Ten tweede dat dit mechanisme vermoedelijk in het frontale gedeelte van de hersenen is gesitueerd, gezien het feit dat alle patiënten die dit gedrag vertoonden, frontaal hersenletsel hadden.

Naast neuropsychologisch bewijs leverden Brass en zijn collega's experimenteel bewijs door middel van een fMRI-studie. In deze studie (Brass, Zysset & Von Cramon, 2001) werd een vereenvoudigde versie van het eerder besproken *Stimulus-Response-Compatibility* paradigma gebruikt. Proefpersonen kregen steeds vooraf een instructie met betrekking tot welke vinger ze gedurende een bepaalde periode moesten bewegen, de wijsvinger of de middelvinger. Vervolgens werd gedurende diezelfde periode een stimulus getoond waarbij ofwel dezelfde, ofwel de andere vinger dezelfde beweging maakte. Het uitgangspunt hiervan was dat onderdrukking van automatische imitatie zou optreden wanneer stimulus en beweging verschillend waren, maar niet wanneer ze gelijk waren. Zoals kon worden voorspeld aan de hand van de neuropsychologische data wezen de resultaten inderdaad in de richting van enkele frontale hersengebieden.

Een logisch en interessant vervolg op deze studie zou zijn om met behulp van de eerder genoemde methode TMS de inhibitieve component tijdelijk uit te schakelen. Indien de proefpersonen als gevolg van deze TMS-puls alle waargenomen bewegingen zouden beginnen te imiteren, vergelijkbaar met het gedrag van de patiënten van Lhermitte, dan zou dit sluitend bewijs zijn voor enerzijds het bestaan van de inhibitie van imitatie, en anderzijds voor de noodzaak ervan. Anders gezegd, het zou bewijs zijn dat mensen inderdaad automatisch elke geobserveerde beweging imiteren, tenzij dit onderdrukt wordt. Een dergelijke studie is in feite zeer recentelijk uitgevoerd door onze groep (Bien et al., 2007). Met behulp van fMRI werden relevante hersengebieden voor de inhibitie van automatische imitatie gelokaliseerd. Vervolgens werd de werking van deze gebieden met TMS functioneel verstoord terwijl de proefpersonen de *Stimulus-Response-Compatibility* taak uitvoerden. Uit de reactietijden zou blijken of de proefpersonen inderdaad een neiging tot automatische imitatie zouden vertonen. De volledige resultaten van deze belangwekkende studie hopen we binnenkort te publiceren.

Spiegelneuronen betrokken bij een veelvoud aan hogere functies

Eerder werd door de onderzoekers die spiegelneuronen ontdekten bij aapjes reeds verondersteld dat spiegelneuronen een functie hebben in de onderlinge communicatie tussen apen, wat zeer plausibel is gezien de ambivalente karakteristieken van spiegelneuronen. Nu is onderlinge communicatie bij uitstek een gebied waarin de mens uitblinkt. Zouden spiegelneuronen hier iets mee te maken kunnen hebben?

Zoals eerder gezegd, werd in enkele PET-studies een verhoogde activatie gevonden in soortgelijke gebieden als

waar bij aapjes spiegelneuronen ontdekt werden. Een van die gebieden is de menselijke homoloog van het apen-premotorgebied F5 – dat spiegelneuronen bevat die coderen voor hand- en mondacties – namelijk het posterieure deel van de inferieure frontale gyrus (Rizzolatti & Arbib, 1998). Dit gebied is beter bekend als het gebied van Broca, een hersengebied dat cruciaal is voor het begrijpen en uitvoeren van de meest complexe vorm van communicatie die er is: menselijke spraak.

De constatering dat een belangrijk taalgebied activatie vertoonde tijdens taken die met het begrijpen en imiteren van beweging te maken hebben, maar helemaal niets met taal, was opzienbarend. Nu hebben alle visualisatiemethoden van hersenfuncties een nadeel, en dat is dat ze slechts passief observeren hoe de activiteit varieert met de taak, maar niet kunnen vaststellen of die activiteit ook daadwerkelijk cruciaal is voor het uitvoeren van de taak. TMS is een methode die die mogelijkheid wel biedt, waar Heiser en zijn collega's in 2003 dankbaar gebruik van maakten. Zij lieten hun proefpersonen een variant van – wederom – de *Stimulus-Response-Compatibility* taak uitvoeren, waarbij in de ene conditie een sequentie van vingerbewegingen geïmiteerd moest worden, en in de andere eenzelfde sequentie uitgevoerd moest worden aan de hand van spatiele aanwijzingen. Ondertussen werd met TMS het functioneren van het gebied van Broca steeds kortstondig onderbroken. Dit veroorzaakte geen verandering in prestatie tijdens de spatiele taak, maar bleek wel een zeer storende werking te hebben tijdens de imitatietask. Kortom, het gebied van Broca is wel degelijk cruciaal voor het kunnen imiteren van bewegingen. Dit is tevens bewijs dat het gebied van Broca niet uitsluitend gebruikt wordt voor taalaangelegenheden, zoals soms wordt beweerd, maar ook betrokken is bij andere functies.

We zouden kunnen beredeneren dat dit taalgebied wellicht niet slechts toevallig spiegelneuronen bevat, of andersom, dat dit deel van de cortex dat spiegelneuronen bevat niet toevallig is uitgegroeid tot een belangrijk taalgebied. Bij apen is het premotorgebied F5, de homoloog van het menselijke gebied van Broca, immers verantwoordelijk voor hand- en mondbewegingen. Inderdaad zijn er onderzoekers die beweren dat onze huidige communicatie door middel van vocale taal is ontstaan uit een meer basaal systeem gebaseerd op het uitwisselen van bewegingen en lichaamstaal (Rizzolatti & Arbib, 1998). Deze theorie wordt onder andere ondersteund door het feit dat geoefende gebruikers van gebarentaal gebruik blijken te maken van de taalgebieden die ook door sprekers worden gerekruteerd, waaronder het spiegelneuronen bevattende gebied van Broca (zie Figuur 1; Corina & McBurney, 2001; Kassubek, Hickok & Erhard, 2004). Daarnaast zien we ook in vocale sprekers veelvuldig gebruik van lichaamstaal en handbewegingen, zelfs al bevindt de luisteraar zich aan het andere eind van een telefoonlijn waar deze bewegingen niet eens waargenomen kunnen worden. Gesproken en gebarentaal zijn blijkbaar onlosmakelijk verbonden.

In het bespreken van het of, hoe en waarom van spiegelneuronen, hebben we het tot nu toe uitsluitend gehad over het visueel waarnemen van bewegingen, en het begrijpen

en eventueel imiteren ervan. Er zijn echter naast visuele waarneming natuurlijk nog andere zintuiglijke systemen, zoals het auditieve systeem. Is het vergezocht om te zeggen dat ook auditieve stimuli gekoppeld kunnen zijn aan bewegingen, en dat ook geluiden een belangrijke rol kunnen spelen bij het uitvoeren én waarnemen van bewegingen? Nee, dat is het niet. Denk aan het schoppen tegen een bal of het inslaan van een spijker met een hamer. In beide voorbeelden geeft het geluid dat door de bewegingen wordt voortgebracht extra informatie over de beweging, zoals of de bal geraakt werd, en of de hamer op de spijker terecht kwam of op het omringende hout. Dit geldt zowel in het geval dat je zelf deze beweging uitvoert, alsook wanneer je het geluid hoort dat een beweging van een ander voortbrengt.

Het ligt dus voor de hand dat de keten van waarnemen, herkennen, interpreteren en eventueel imiteren niet alleen geldt voor het zien, maar ook voor het horen. Bewijzen voor deze stelling werden onder andere gevonden door Kohler en collega's (2002), die constateerden dat veel spiegelneuronen in het premotorgebied F5 van makaken niet alleen, zoals reeds bekend, reageerden op visuele stimuli van bewegingen, maar tevens op de geluiden die bij deze bewegingen hoorden. Er werden zowel visuele, auditieve als audiovisuele spiegelneuronen gevonden. De laatste waren veruit in de meerderheid, een teken van het belang van de combinatie van beeld en geluid bij het kunnen interpreteren van bewegingen.

Ook bij mensen werd bewijs gevonden voor het bestaan van auditieve spiegelneuronen. Pizzamiglio en collega's (2005) concludeerden dat geluiden gerelateerd aan het uitvoeren van acties, anders verwerkt werden in de hersenen dan niet-actiegerelateerde geluiden, met name in de STS en in de premotorcortex, gebieden die we inmiddels herkennen als onderdelen van het systeem van spiegelneuronen. Gazzola en collega's (2006) vonden met behulp van fMRI eveneens activatie in typische spiegelneuronengebieden als reactie op actiegerelateerde geluiden. Ze poneren daarnaast de stelling dat deze auditieve en audiovisuele spiegelneuronen wellicht een rol hebben gespeeld in de evolutie van taal, hetgeen aansluit bij de eerder besproken visie dat spiegelneuronen misschien aan de basis daarvan hebben gestaan.

Naast het kijken naar verschillende modaliteiten die verenigd zijn in de motorische verwerking van waargenomen bewegingen, kan het principe van de uitvoerende cortex die tevens als verwerkende cortex dienstdoet, eveneens doorgetrokken worden naar andere hersengebieden. Zoals de somatosensorische cortex, die verantwoordelijk is voor het verwerken van tastsignalen. Zo voerden Keysers en collega's (2004) een interessante fMRI-studie uit waarbij proefpersonen ofwel beelden te zien kregen van personen die aangeraakt werden, ofwel zelf aangeraakt werden op hun been. Hun conclusie was dat, net zoals de secundaire motorcortex reageert op het waarnemen van motorische acties, de secundaire somatosensorische cortex reageert op het visueel waarnemen van aanrakingen.

Volgens Keysers en collega's kon dit letterlijk 'meevoelen' met anderen gezien worden als een element van een vaardigheid die voor mensen heel belangrijk is in hun da-

gelijks leven: empathie, oftewel het vermogen om ons in te leven in anderen. Deze hoge cognitieve functie maakt het mogelijk dat we interacteren met andere mensen op een sociaal acceptabele manier, dat we achterhalen wat onze gesprekspartners voor emoties beleven, dat we kortom hun gedachten kunnen lezen en ons gedrag daarop kunnen afstemmen. Deze vaardigheid om gedachten van andere mensen te lezen wordt ook wel *Theory of Mind* (ToM) genoemd. Het systeem van spiegelneuronen zou beschouwd kunnen worden als de neurale basis van deze essentiële vaardigheid, waarbij er door het spiegelen van percepten op de uitvoerende cortex een voorstelling gevormd kan worden van de intenties en drijfveren van onze sociale partner (Blakemore et al., 2001). Bewijzen dat het systeem van spiegelneuronen inderdaad zeer waarschijnlijk betrokken is bij empathie, werden onder andere geleverd door Leslie, Johnson-Frey en Grafton (2004) en door Gazzola en collega's (2006).

Empathie en het daaruit voortvloeiende vermogen om gedachten en intenties van andere mensen af te kunnen leiden uit hun gedrag, ToM, zijn dus essentieel voor het functioneren in een sociale omgeving, zoals de meeste mensen dat tegenwoordig dagelijks moeten doen. Een groep mensen die structureel problemen vertoont met dit sociaal functioneren, vormen de autisten (Blakemore & Decesy, 2001). Autisten hebben een sterk verminderd vermogen zich in te leven in anderen, waardoor ze minder goed tot nauwelijks kunnen interacteren. Hun gedachtenleesfunctie, hun ToM, is sterk verminderd aanwezig of helemaal niet ontwikkeld. Met in het achterhoofd de theorie dat spiegelneuronen de neurale basis vormen van ToM, zou het niet zo kunnen zijn dat autisten een defect hebben aan hun systeem van spiegelneuronen, wat hen verhindert om zoals gezonde mensen de intenties van andere mensen af te leiden uit hun gedrag?

Dit werd onder andere onderzocht door Avikainen en collega's (2003) met behulp van een gedragsexperiment waarin autisten bepaalde acties moesten imiteren. Vergeleken met gezonde mensen bleken autisten sterk afwijkend imitatiegedrag te vertonen. Sindsdien is de hoeveelheid bewijzen van een connectie tussen spiegelneuronen en autisme sterk toegenomen, en wordt deze kennis bovendien op therapeutisch vlak ingezet (Ramachandran & Oberman, 2006). Opvallend is ook dat een van de kernpunten van de Amerikaanse Son-Rise-methode om met autistische kinderen om te gaan, bestaat uit 'het delen in de herhaalde en ritualistische gedragingen van het kind', om zo 'de mysteries van dit gedrag te leren begrijpen en oogcontact, sociale ontwikkeling en het betrekken van anderen in het spel te bevorderen'.¹ Kortom, door je autistische kind te imiteren, zou je het uiteindelijk sociaal vaardiger kunnen maken.

Een laatste aanwijzing dat het systeem van spiegelneuronen betrokken is bij hogere sociale functies, is een fenomeen bekend uit de sociale psychologie, *mood contagion* (Neumann & Strack, 2000). Deze 'stemmingsoverdracht' houdt in dat wanneer twee mensen met elkaar in gesprek zijn, ze onbewust de manier van spreken en de gemoedstoestand van de gesprekspartner beginnen over te nemen. Deze covert vorm van imitatie – wellicht gefaciliteerd

door het systeem van spiegelneuronen – kan beschouwd worden als een proces dat de sociale acceptatie tussen gesprekspartners vergroot.

Conclusie

Samenvattend blijken spiegelneuronen tamelijk boeiende cellen te zijn. Anders dan hun naam doet vermoeden, openen ze de deur naar een wereld van psychologische en sociale fenomenen, en werpen ze licht op vele vooralsnog onopgehelderde verschijnselen. Het moge duidelijk zijn dat het menselijke systeem van spiegelneuronen verder geëvolueerd is dan simpelweg het spiegelen van geobserveerde acties aan hun corticale representaties. Het blijkt in onze wereld, vergeven van de noodzaak tot sociale interactie, een onmisbaar attribuut.

Mw drs. N. Bien is verbonden aan de Capaciteitsgroep Cognitive Neuroscience van de Faculteit der Psychologie van de Universiteit Maastricht, Postbus 616, 6200 MD Maastricht. E-mail: <nina.bien@psychology.unimaas.nl>.

Noten

1. 'We join, rather than stop, a child's repetitive, exclusive and ritualistic behaviors. [...] Participating with a child in these behaviors facilitates eye contact, social development and inclusion of others in play.' Citaat afkomstig van Son-Rise, <http://www.autismtreatmentcenter.org>.

Literatuur

- Avikainen, S., Wohlschläger, A., Liuhänen, S., Hänninen, R. & Hari, R. (2003). Impaired mirror-image imitation in Asperger and high-functioning autistic subjects. *Current Biology*, 13, 339-341.
- Bien, N., Roebroek, A., Goebel, R. & Sack, A.T. (2007). The inhibition of automatic imitation. Gepresenteerd tijdens 13th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 10-14 juni 2007, Chicago, Verenigde Staten. Beschikbaar op cd-rom in *NeuroImage*, 36 (1).
- Blakemore, S.-J. & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 561-567.
- Brass, M., Bekkering, H. & Prinz, W. (2001). Movement observation affects movement execution in a simple response task. *Acta Psychologica*, 106, 3-22.
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, A. & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements. Comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and Cognition*, 44, 124-143.
- Brass, M., Zysset, S. & Cramon, D.Y. von (2001). The inhibition of imitative response tendencies. *NeuroImage*, 14, 1416-1423.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G. & Freund, H.-J. (2000). Somatotopically graded premotor cortex activation in action observation. *NeuroImage*, 5, 5885.
- Corina, D.P. & McBurney, S.L. (2001). The neural representation of language in users of American Sign Language. *Journal of Communication Disorders*, 34, 455-471.
- Decety, J. (2002). Is there such a thing as functional equivalence between imagined, observed and executed action? In A.N. Meltzoff & W. Prinz (Eds.), *The imitative mind. Development, evolution, and brain bases. Cambridge studies in cognitive perceptual development* (p. 291-310). New York: Cambridge University Press.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G. & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation. A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73, 2608-2611.
- Gazzola, V., Aziz-Zadeh, L. & Keysers, C. (2006). Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans. *Current Biology*, 16, 1824-1829.
- Heiser, M., Iacoboni, M., Maeda, F., Marcus, J. & Mazziotta, J.C. (2003). The essential role of Broca's area in imitation. *European Journal of Neuroscience*, 17, 1123-1128.
- Kassubek, J., Hickok, G. & Erhard, P. (2004). Involvement of classical anterior and posterior language areas in sign language production, as investigated by 4 T functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience Letters*, 364, 168-172.

- Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J.-L., Fogassi, L. & Gallese, V. (2004). A touching sight: *SI/PIV* activation during the observation and experience of touch. *Neuron*, 42, 335-346.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M.A., Fogassi, L., Gallese, V. & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions. Action representation in mirror neurons. *Science*, 297, 846-848.
- Leslie, K.R., Johnson-Frey, S.H. & Grafton, S.T. (2004). Functional imaging of face and hand imitation. Towards a motor theory of empathy. *NeuroImage*, 21, 601-607.
- Lhermitte, F., Pillon, B. & Serdaru, M. (1986). Human autonomy and the frontal lobes. Part I: Imitation and utilization behavior. A neuropsychological study of 75 subjects. *Annals of Neurology*, 19, 326-334.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books, Inc.
- Neumann, R. & Strack, F. (2000). 'Mood contagion'. The automatic transfer of mood between persons. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79, 211-223.
- Pizzamiglio, L., Aprile, T., Spironi, G., Pitzalis, S., Bates, E., D'Amico, S. & Di Russo, F. (2005). Separate neural systems for processing action- or non-action-related sounds. *NeuroImage*, 24, 852-861.
- Ramachandran, V.S. & Oberman L.M. (2006). Broken mirrors: a theory of autism. *Scientific American*, 295, 62-69.
- Rizzolatti, G. & Arbib, M.A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21, 188-194.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L. & Gallese, V. (2002). From mirror neurons to imitation. Facts and speculations. In A.N. Meltzoff & W. Prinz (Eds.), *The imitative mind. Development, evolution, and brain bases. Cambridge studies in cognitive perceptual development* (p. 247-266). New York: Cambridge University Press.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 661-670.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.
- Saxe, R., Xiao, D.-K., Kovacs, G., Perrett, D.I. & Kanwisher, N. (2004). A region of right posterior superior temporal sulcus responds to observed intentional actions. *Neuropsychologia*, 42, 1435-1446.
- Wheaton, K.J., Thompson, J.C., Syngieniotis, A., Abbott, D.F. & Puce, A. (2004). Viewing the motion of human body parts activates different regions of premotor, temporal, and parietal cortex. *NeuroImage*, 22, 277-288.

Itching fingers: the language of movement within our reach

N. Bien

Why do our fingers itch when we observe a child that clumsily tries to zip up its coat? When we observe an action of somebody else our brain copies this action internally. This allows us to recognize, understand, and if necessary answer the action. The mirror neurons responsible for this process turn out to be involved not only in recognition and imitation of actions, but also in several other important psychological phenomena like language, the ability to empathize, social conduct, Theory of Mind, and autism. This paper provides an overview of the literature available on this subject, covering the vast range of research areas that are in one way or another associated with the mirror neuron system.