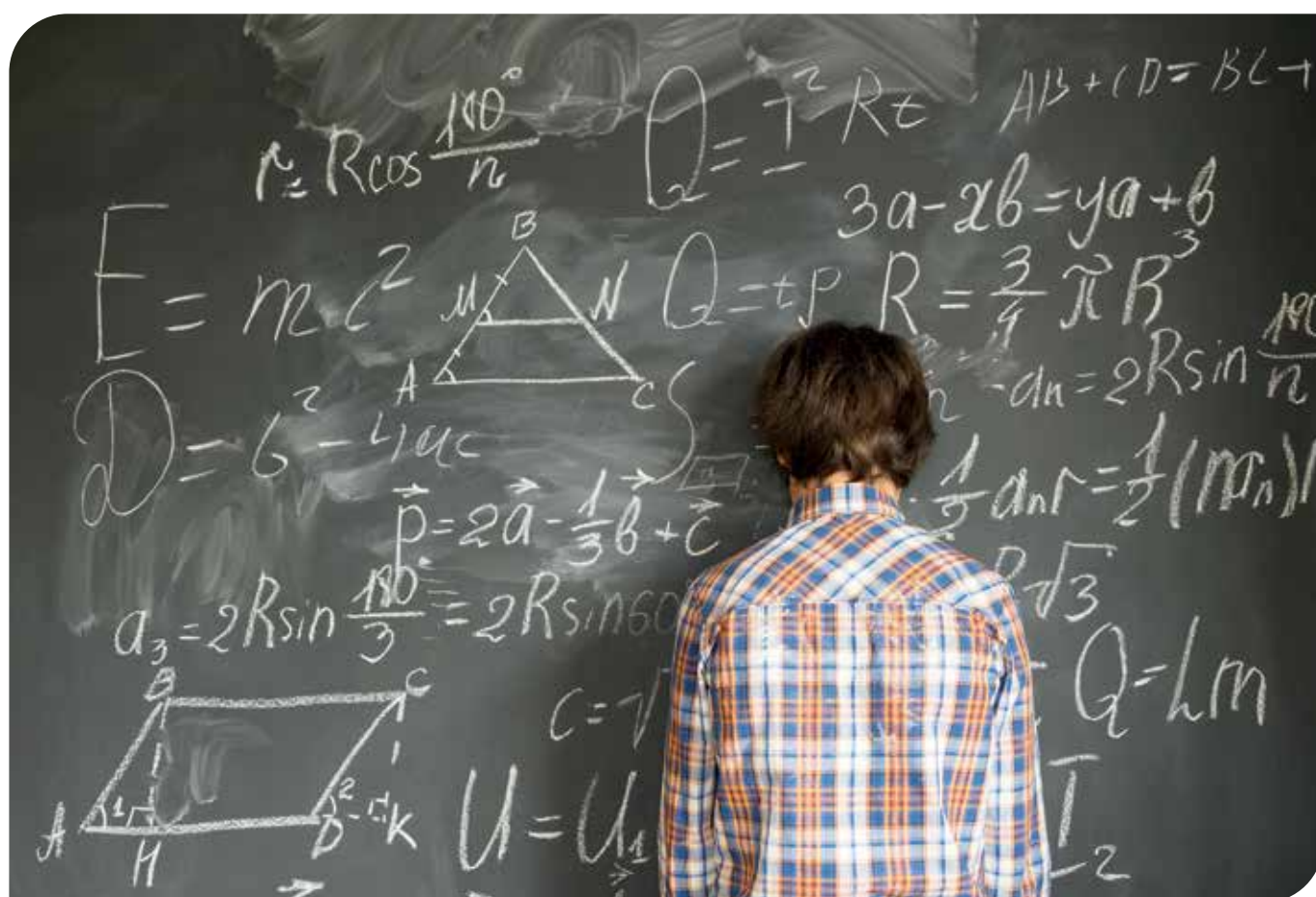




De cerebrale werking berust op een organisatie in de hersenen die bestaat uit onafhankelijke eenheden en interactie. Onze numerieke en rekenkundige vaardigheden ontsnappen niet aan deze regel. Dit blijkt uit onderzoek gericht op de semantische representatie van getallen, de “transcodering”, de “rekenkundige feiten” of complexe berekeningen. De modulariteit verklaart met name het bestaan van een groot aantal dissociaties die worden waargenomen bij acalculiepatiënten.

HERSENEN EN NUMERIEKE COGNITIE (HET BEGRIP VAN GETALLEN)



Philippe Lambert

Inleiding

In het begin van de 19de eeuw beweren de Duitse arts en anatoom Frans Josef Gall en zijn medewerker Johann Gaspar Spurzheim, psycholoog, dat de schedel de bovenkant van de cortex getrouw weergeeft. Op deze manier leggen ze de grondslag voor de frenologie of de cranioscopie. Ze beweren dat elke functie een specifieke hersenstructuur omvat waarvan het volume groter wordt naarmate de overeenkomstige vaardigheid toeneemt. Bovendien beweren ze dat de bijzondere efficiëntie die een individu kan vertonen voor een bepaalde cognitieve functie direct voelbaar is, aangezien ze leidt tot een uitgroei van de schedel op een specifieke locatie. Vandaar trouwens de populaire uitdrukking een “wiskundige knobbel hebben”.

Vertrekkend van de schedels van criminelen en geesteszieken en bustes van politieke figuren maken Gall en Spurzheim een model op waarin ze 27 mentale vermogens toewijzen aan een specifieke locatie op de hersencortex. Al snel wordt de frenologie echter het voorwerp van een hevige controverse. De wetenschappelijke wereld verwijt hen de lichtzinnigheid van de observaties en de Kerk wijst op het materialisme, dat haaks staat op het spiritualisme waarop zij geen enkele afwijking schijnt te willen dulden. Hierbij werd vergeten dat de hersenfuncties voor de vroege kerkvaders, met name voor Nemesius, de bisschop van Emesa en Sint-Augustinus, in overeenstemming waren met bepaalde zones van de hersenen. Zij waren bv. van mening dat de anterieure, mediale en posterieure hersenventrikels respectievelijk instonden voor de verbeelding, de rede en het geheugen.

voorbeelden ter illustratie van de manier waarop de functies van de geest kunnen worden gefragmenteerd en gebaseerd zijn op specifieke organische substraten, hoewel deze soms erg diffuus kunnen zijn. Zo begrijpt de ene patiënt met een hersenletsel geen mondeling gesproken taal, terwijl hij de geschreven taal nog altijd machtig blijft, terwijl bij een andere patiënt net het tegenovergestelde wordt waargenomen. Zo blijkt een andere patiënt nog steeds in staat te zijn om twee getallen van elkaar af te trekken, terwijl optellen niet meer lukt.

Het is in deze logica van netwerken bestaande uit onafhankelijke eenheden die onderling interageren dat onze numerieke en rekenkundige vermogens worden onderzocht. Vandaar de vraag of deze onafhankelijke eenheden, afzonderlijk bekeken, zelf afhankelijk zijn van specifieke hersenstructuren. Is dat bv. het

Het is in deze logica van netwerken bestaande uit onafhankelijke eenheden die onderling interageren dat onze numerieke en rekenkundige vermogens worden onderzocht.

Vandaag is de frenologie een verouderde discipline, een historisch curiosum. Het gaat er nu niet meer om “megafuncties”, zoals taal of geheugen, te lokaliseren op een vastomlijnde locatie. In tegenstelling tot de klassieke lokalisatietheorieën, die lang in de bovenste lade lagen, wordt in het werk van de cognitieve neurowetenschappen, de cognitieve psychologie en de functionele beeldvorming van de hersenen thans de nadruk gelegd op een organisatie van de hersenen in netwerken, die elk zijn opgebouwd uit onafhankelijke, met elkaar in interactie staande eenheden. De pathologie biedt een groot aantal

geval voor wat betreft ons vermogen om de betekenis van Arabische getallen te begrijpen? Of om mentaal in staat te zijn tot vermenigvuldigen? Of voor het besef van tijd... Vragen doen nieuwe vragen stellen... Impliceert het besef van de realiteit van een getal verschillende mentale processen afhankelijk van de notatie waarin het getal is opgetekend (letters, Arabische cijfers, Romeinse cijfers, opeenvolging van punten...)? Of een andere illustratie: als we ervan uitgaan dat rekenen een mentale functie is, corresponderen optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen dan met afzonderlijke hersenstructuren?

Primitieve numerieke vermogens

Naar aanleiding van een reeks studies en waarnemingen gepubliceerd in 1941 in het boek *The Genesis of Number in Children*, waren de beroemde Zwitserse psycholoog Jean Piaget en zijn Poolse collega Alina Szeminska van mening dat het begrip getal bij kinderen niet vóór de leeftijd van 6 of 7 jaar werd geconstrueerd. Enkele jaren later bewezen de Franse psycholoog Jacques Mehler en zijn Amerikaanse opponent Thomas Bever dat dit niet klopte. Aan de hand van hun werk bewezen ze dat kinderen vanaf de leeftijd van 2 jaar in staat zijn om het onderscheid te maken tussen een lang uitgerekte rij snoepjes en een kortere rij waar de snoepjes dichter bij elkaar waren gelegd. Kortom, jonge kinderen bleken zich bewust van aantallen, oftewel het aantal losse elementen die een verzameling voorwerpen vormen.

Nog beter zelfs, vandaag wordt algemeen aangenomen dat een zuigeling beschikt over rudimentaire numerieke vaardigheden. In een oud onderzoek werden aan pasgeborenen dia's getoond met hierop een beperkt aantal voorwerpen, bv 2. Plots wordt op het scherm een foto aangeboden met slechts 1 voorwerp, of juist 3 voorwerpen. Merkt het kind het verschil? Ja, dus. Het toont gevoelig te zijn voor het contrast door een grotere waakzaamheid, door de versnelling van de zuigreflex of de verlening van de oogfixatietijd. Dit fenomeen werd zelfs opgemerkt bij baby's van net een week oud. In andere werken (1) bleek een kind van 5 maanden oud in staat om het resultaat van een eenvoudige som of aftrekking type '1 + 1' of '2 - 1' te anticiperen.

Terwijl de menselijke baby al vroeg de vaardigheid heeft om variaties in getallen te ontdekken en te anticiperen op het resultaat van de meest elementaire

optellingen en aftrekkingen, is hij niet de enige die dit kan: hij deelt dit voorrecht met diersoorten. “We hebben lang aangenomen dat deze vaardigheden bij het dier eigenlijk een soort na-*apen* was van de *primaten*. Later is men echter tot het besef gekomen dat de meeste zoogdieren in staat zijn om getallen te verwerken. Uit recente werken blijkt trouwens dat soorten zoals duiven (2), heel jonge kuikens (3), vissen (4) en bijen (5) niet alleen een gevoeligheid blijken te hebben voor getallen, maar ook beschikken over numerieke vermogens”, rapporteert professor Mauro Pesenti, onderzoeksleider van het FNRS in het *Institut de Recherche en Sciences Psychologiques* van de *Université Catholique de Louvain* (UCLouvain). Hij voegt er nog aan toe dat, na een lange leertijd, sommige primaten in staat zijn om symbolische notaties aan te leren. Zo slagen apen er uiteindelijk in om de betekenis van Arabische cijfers te begrijpen er hier rekenkundige eigenschappen van af te leiden (6) die hen niet specifiek werden aangeleerd.

Het idee, verdedigd door Stanislas Dehaene van het *Collège de France* en door de Amerikanen Rochel Gelman en Randy Gallistel, is dat de mens en andere soorten zouden beschikken over primitieve numerieke vaardigheden die hebben bijgedragen tot hun overleven. Zo was er de noodzaak tot het optimaliseren van keuzes en gedragingen bij het zoeken naar voedsel (de meest overvloedige bronnen onderscheiden) en het hoofd te bieden aan het blootstellingsrisico dat de aanwezigheid van roofdieren inhoudt afhankelijk van hun aantal. Het leidt geen twijfel dat een deel van onze numerieke en rekenkundige vaardigheden een onderdeel vormen van onze biologische bagage. Maar zijn deze



Professor Mauro Pesenti
Onderzoeksleider van het
FNRS in het Institut de
recherche en sciences
psychologiques van de
Université catholique de
Louvain (UCLouvain)

aangeboren? Een aantal onderzoekers menen van wel. Mauro Pesenti, daarentegen, is niet overtuigd: “Tijdens zijn leven in de baarmoeder wordt de foetus blootgesteld aan trillingen die hij voelt of hoort, onder meer het kloppen van het hart van de moeder. Afhankelijk van hun aard, manifesteren ze zich in een bepaalde frequentie. Hoewel de hypothese van de aangeborenheid misschien wel de goede is, kan even goed worden verondersteld dat de foetus in zekere mate de getallenleer aanleert of hieraan deelneemt.”

Het tegelijk aanwezig zijn van een relatief elementaire protonumerieke installatie en de taal- en logische vaardigheden die eigen zijn aan onze species differentieert de mens van het dier op het vlak van numerieke cognitie.

Semantische representatie

Het tegelijk aanwezig zijn van een relatief elementaire protonumerieke installatie en de taal- en logische vaardigheden die eigen zijn aan onze species differentieert de mens van het dier op het vlak van numerieke cognitie. Daar ligt naar alle waarschijnlijkheid de oorsprong van de aanzienlijke ontwikkeling van de menselijke vaardigheden op dit vlak. “De dierlijke vaardigheden beperken zich tot kleine getallen (7 of 8)”, volgens professor Pesenti. “Eens daarboven worden de prestaties heel wat minder en gaat het eerder om benaderende waarden. Dankzij systemen van numerieke notaties kan de mens de getallen met een bijzondere nauwkeurigheid voorstellen en deze vervolgens voorleggen aan een complex geheel van rekenkundige transformaties.”

Hoe verhoudt de taal van de getallen zich tot deze van de woorden? Of met andere woorden, zijn de numerieke betekenissen slechts een subgeheel van de taalbetekenissen of hebben ze, integendeel, een bijzonder statuut, een eigen autonomie, binnen het semantische systeem? Anatomisch gesproken zijn de cerebrale zones van de numerieke semantiek (parietale cortex) niet inbegrepen in deze van de taalsemantiek in het algemeen (temporale cortex). Uit verschillende waarnemingen bij patiënten met een hersenletsel blijkt trouwens dat taalvaardigheid en rekenvaardigheid vaak gelijktijdig, maar ook selectief kunnen zijn aangetast.

Eind jaren 1990 bestudeerde prof. Xavier Seron, oud-voorzitter van de

Société de Neuropsychologie de Langue Française, lid van de Koninklijke Academie van België, onder meer de casus van een patiënt met een hersenletsel en met een sterke beperking van de gesproken taal (7). Naar aanleiding van een schedeltrauma was deze man van hoge socioculturele afkomst niet langer in staat om meer dan 300 verschillende woorden uit te spreken. Erger nog, wanneer hem foto's van voorwerpen werden gepresenteerd uit verschillende semantische categorieën, bleek hij niet in staat om er ook maar één te benoemen. Nochtans had hij hier geen enkel probleem mee wanneer de foto's getallen voorstelden. Wanneer onderzoekers de patiënt vroegen om met luide stem binnen een bepaalde tijdsduur zoveel mogelijk getallen uit te spreken,

waren zijn prestaties volstrekt normaal, terwijl deze pijlsnel zakten wanneer het ging over namen van landen of van transportmiddelen. Met andere woorden, de semantische voorstelling van getallen en het lexicon van de getalwoorden bleken selectief behouden, terwijl de semantische voorstelling en de lexicon van woorden in taal selectief verstoord waren. *“De case study’s en cognitieve modellen die werden ontwikkeld sinds de jaren 1980 en de functionele neurologische beeldvorming wijzen erop dat de getallen een specifiek semantisch en lexicaal domein vormen die bijzondere hersenstructuren vereisen”*, onderstreept Mario Pesenti. *Natuurlijk blijven er gemeenschappelijke mechanismen voor de taal van woorden en de taal van getallen, zoals het gebruik van het werkgeheugen of de aandachtsbronnen. Het is de beschadiging van sommige van deze gedeelde mechanismen die verklaart waarom numerieke vaardigheden en taalvaardigheden soms tegelijk verstoord zijn”*.

Op neuroanatomisch niveau is vandaag bewezen dat de verwerking van de kwantitatieve betekenis van de getallen en de verwerking van niet-numerieke hoeveelheden (zoals lengte, intensiteit, duur, enz...) een beroep doen op zones rond de linker en de rechter intrapariëtale sulcus, hoofdzakelijk in het horizontale segment van deze sulcus. De verwerking van getallen doet dan weer hoofdzakelijk een beroep op de zones van de rechter intrapariëtale sulcus en de rechter frontale zones.

Transcoderingsfouten

Een andere cruciale vraag is deze van de transcodering. De vraag is inderdaad hoe de omzetting plaatsvindt van een notatie die als input wordt aangeboden (bv. Arabische cijfers) in een ander, die als output wordt geproduceerd (letters, geluiden, taal...)? *“Deze vraag is van*

groot belang op klinisch vlak omdat ze de kern raakt van een groot aantal klachten van patiënten”, geeft prof. Pesenti aan. Zoals al werd aangetoond in wetenschappelijk onderzoek, met name in het onderzoek van Xavier Seron aan de UCLouvain betreffende de overgang van Arabische code naar woordcode, zijn de mentale operaties die nodig zijn voor dit type conversie complex en impliceren ze specifieke onderliggende structuren.

Bij patiënten met hersenletsels worden twee soorten transcoderingsfouten gevonden, één van lexicaal aard en één op het niveau van de syntaxis.

Bij patiënten met hersenletsels worden twee soorten transcoderingsfouten gevonden, één van lexicaal aard en één op het niveau van de syntaxis. De eerste soort bestaat op haar beurt uit twee types. Het kan dat patiënten 70 transcoderen in 50, 13 in 14 of 525 in 524, maar ook 30 in 3, 14 in 40 of 60 in 16. Fouten van het eerste type situeren zich binnen eenzelfde lexicale klasse, een tiental vervangen door een ander tiental, een eenheid door een andere eenheid, enz... Bij fouten van het tweede type echter, vergist de patiënt zich altijd van klasse, maar wordt de positie van het element in de originele klasse behouden. Zo hebben 30 en 3 gemeenschappelijk dat het gaat om het derde element in hun respectievelijke klasse. Afhankelijk van het cerebrale letsel wordt het functionele deficit ofwel het identificatiemechanisme van de klasse aangetast, dan wel het identificatiemechanisme van de positie, of beide.

Wat met syntaxisfouten? Deze vertalen zich door het feit dat vertrekkende van

de lexicale elementen, die nochtans strikt correct zijn, de structuur die door de persoon wordt geproduceerd onjuist blijkt. Een klassiek geval hiervan is dat een patiënt 2100540 (2/100/5/40) schrijft vertrekkende van het woordelijke tweehonderdvijfenveertig. Hij schrijft dan in Arabisch schrift het equivalent van elke eenheid van het getal uit, zonder hierbij rekening te houden met de integratie van de syntaxis.

Lexicale fouten en syntaxisfouten gaan niet noodzakelijk samen en binnen de eerste soort zijn er ook dissociaties. De lexicale en syntaxismechanismen die tussenbeide komen in de verwerking van getallen zouden dus onafhankelijk zijn en een deel ervan zou zelfs binnen de eerste soort optreden.

Rekenkundige feiten en complexe berekeningen

Naast studies die verwijzen naar de problematiek van de representatie van getallen en de manipulatie van notaties, bekijken sommige studies het ‘rekenen’. In dit verband werden heel wat studies besteed aan wat psychologen “rekenkundige feiten” noemen. Waarover gaat dit? De resultaten van basisbewerkingen (optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen) die we over het algemeen in onze kindertijd van buiten hebben geleerd, zitten in ons langetermijngeheugen en komen meteen in ons op wanneer we een reële berekening uitvoeren. Zo is bv. een vermenigvuldiging 2 maal 3 of de som 4 plus 2 bij de

meesten onder ons een automatisme. *“Over het algemeen wordt aangenomen dat rekenkundige feiten worden bewaard in het semantisch geheugen, maar de aard van deze opslag is nog lang niet eenduidig,”* zegt Mauro Pesenti.

Sommige auteurs verwijzen naar een abstract opslagformaat(*), anderen hebben het over een opslagformaat dat gekoppeld is een aan andere zintuiglijke modaliteit afhankelijk van de voorkeuren van elk individu. Nog anderen, waaronder Stanislas Dehaene en Laurent Cohen van het *Institut du Cerveau et de la Moelle épinière* (Parijs) stellen dat de rekenkundige feiten zijn gecodeerd onder de vorm van verbale associaties, zoals dit bv. het geval is met gebeden of voordrachten. Als gevolg hiervan is het ophalen van rekenkundige feiten het werk van cerebrale zones die te maken hebben met de taal (inferieure frontale gyrus en superieure temporale gyrus) en het verbale werkgeheugen (gyrus angularis in de inferieure pariëtale kwab). *“Literatuurgegevens suggereren dat het concept van Dehaene en Cohen bij sommige personen kan worden geverifieerd, maar niet bij anderen”,* zegt professor Pesenti. Uit de feiten blijkt dat de taalzones bij de recuperatie van rekenkundige feiten niet systematisch worden geobserveerd

veerd tijdens cerebrale beeldvorming bij normale personen (8). Bovendien hebben sommige patiënten perfect bewaarde rekenkundige prestaties terwijl ze massale alteraties vertonen in hun taalmogelijkheden (9) (**Figuur 1**).

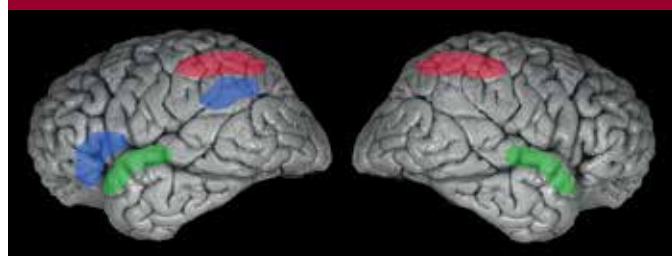
Volgens gegevens uit de neurologische beeldvorming zijn de hersenregio's die betrokken zijn bij eenvoudige rekenkundige problemen (rekenkundige gegevens) de zones rond de intrapariëtale sulcus en de premotorische zones van de frontale cortex die overeenkomen met het netwerk dat ten grondslag ligt aan de controle van de vingerbewegingen, wat volgens Mauro Pesenti een spoor zou kunnen zijn van ancestrale manieren om oplossingen te vinden door te tellen op de vingers. In een bijdrage voor de *Encyclopedia Universalis*, schreef de psycholoog overigens: *“de oplossing van eenvoudige rekenkundige problemen gaat bovendien soms gepaard met activeringen in de mediale en superieure temporale gyrus en in het posterieure deel van de superieure pariëtale kwab, wat tegelijk een implicatie suggereert van de taalprocessen en de aandachtsprocessen die gekoppeld zijn aan de exploratie van de numerieke representaties van ruimtelijke aard in de recuperatie van gememoriseerde antwoorden.”*

De complexe mentale berekening, met andere woorden een berekening met getallen bestaande uit meerdere cijfers, rekruteert in eerste instantie 2 uitgebreidere netwerken. Het eerste netwerk bestaat uit zones gekoppeld aan het visuospatiale werkgeheugen in de pariëtale en frontale cortex. Het tweede netwerk, gekoppeld aan de mentale visuele beeldvorming, de occipitotemporale junctie. *“Nochtans is enige voorzichtigheid geboden in de mate waarin interpersoonlijke verschillen worden vastgesteld in de oplossingsstrategieën van complexe berekeningen. Het is zeer goed mogelijk dat er variaties bestaan in de gekoppelde netwerken, bv. in het gebruik van een verbaal werkgeheugen eerder dan het visuo-spatiale werkgeheugen”,* verduidelijkt prof. Pesenti (**Figuur 2**).

Langetermijnwerkgeheugen

Onderzoekers hadden bijzondere interesse voor wonderrekenaars. Deze zouden profijt trekken uit de samenvoeging van 2 elementen: namelijk het kunnen verwerken van een groot aantal rekenkundige feiten in het geheugen, alsook de ontwikkeling van uiterst efficiënte procedures. Maar over welke procedures gaat het? Het team van Mauro Pesenti bestudeerde de case van wonderrekenaar Rüdiger Gamm met behulp

Figuur 1: De hersenzones die gewoonlijk worden geobserveerd bij de recuperatie in het geheugen van de rekenkundige feiten.



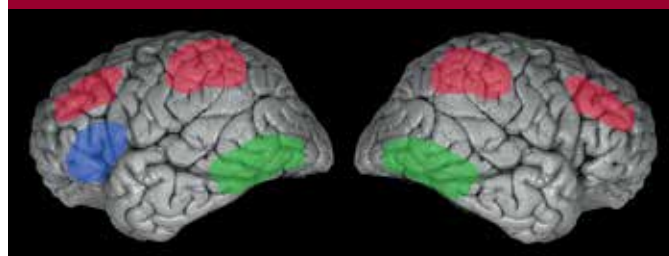
Linkerhemisfeer

Rechterhemisfeer

Deze figuur geeft de hersenzones weer die gewoonlijk worden geobserveerd tijdens de recuperatie van rekenkundige feiten in het geheugen: de gebieden rond de horizontale delen van de linker en rechter intrapariëtale sulci [rood] die verband houden met semantische verwerking en manipulatie van numerieke getallen, de inferieure frontale en linker pariëtale zones [blauw] en de bilaterale superieure temporale zones [groen] die aan de basis liggen van mogelijke verbale strategieën.

Source: Mauro Pesenti

Figuur 2: De hersenzones die gewoonlijk worden geobserveerd bij het oplossen van rekenkundige problemen met getallen van twee cijfers.



Linkerhemisfeer

Rechterhemisfeer

Deze figuur geeft de hersenzones weer die gewoonlijk worden geobserveerd bij het oplossen van rekenkundige problemen met getallen van 2 cijfers: de bilaterale pariëtale en frontale zones [rood] die gekoppeld zijn aan het visuo-spatiale werkgeheugen, de linker inferieure frontale zones [blauw] die gekoppeld zijn aan het behoud van informatie in het werkgeheugen (mogelijk verbaal), en de bilaterale occipitotemporale zones [groen] die aan de basis liggen van de visuele mentale beeldvorming.

Source: Mauro Pesenti

van positronemissietomografie. Het bleek dat deze expert bij het mentaal oplossen van complexe berekeningen dezelfde hersenzones activeerde als de niet-deskundige proefpersonen, maar bovendien een beroep deed op de rechter mediale temporale structuren (hippocampus en parahippocampus) waarvan bekend is dat zij betrokken zijn bij de visuo-spatiale aspecten van het episodisch (langetermijn-) geheugen, dat wil zeggen het geheugen van persoonlijk beleefde gebeurtenissen. In voorkomend geval werd vastgesteld dat de zone van de rechter parahippocampus instaat voor de opslag en het behoud op lange termijn van de episodische herinneringen van visuo-spatiale aard. Daarnaast werd eveneens een beroep gedaan op de rechter frontale mediane zones die worden gebruikt voor de recuperatiemechanismen van het episodische geheugen.

“Net zoals in de andere cognitieve zones is het zwakke vermogen van het werkgeheugen in de mentale berekening een beperking”, legt Mauro Pesenti uit. Onze hypothese is dat de wonderrekenaars, ten minste zij die wij hebben onderzocht, ter ondersteuning van de mentale berekening, gebruik maken van het episodische geheugen dat een veel grotere capaciteit heeft. Daarom lijkt het ons gegrond om te praten over een ‘langetermijnwerkgeheugen’ dat een beroep doet op dezelfde hersenzones als deze die worden gebruikt voor het episodische geheugen.”

Twee modellen, drie modules

Acalculie is een cognitieve stoornis die ontstaat als gevolg van een hersenletsel, zoals een hoofdletsel, beroerte, tumor of neurodegeneratieve ziekte. Zij wordt gekenmerkt door een tekort in getalverwerking, berekening of beide. Naar schatting heeft ongeveer 60 % van de patiënten met een letsel in de linkerhemisfeer acalculieproblemen. Dit is het geval bij 15 %

van de patiënten met een letsel in de rechterhemisfeer. De ernstigste stoornissen zijn gewoonlijk het gevolg van letsels in de linkerhemisfeer in zones die grenzen aan de intrapariëtale sulcus, de angulaire gyrus, de occipitale of temporale zones.

In de klinische praktijk zijn de drie meest frequent gerapporteerde klachten door patiënten in dalende volgorde: problemen met transcoding (van de ene numerieke notatie overgaan naar een andere), problemen met mentale berekening en geschreven berekeningsproblemen waaronder de identificatie van de operatoren (+, -, x en :). *“Op diagnostisch vlak gaat het erom om bij elke patiënt te identificeren welk(e) vermogen(s) zijn aangetast en welke behouden zijn gebleven omdat deze laatste eventueel kunnen worden gebruikt om de afwijkingen te overbruggen”,* zegt prof. Pesenti.

Met het ontstaan van de cognitieve modellen in de jaren 1980 werd speciale aandacht besteed aan de aanwezige dissociaties bij acalculiepatiënten. Op dit moment zijn er 2 bepalende modellen: het “modulaire model” ontwikkeld door Michael McCloskey van de John Hopkins Universiteit en het “model van de drievoudige code” van Stanislas Dehaene. Zoals Mauro Pesenti aangeeft, bestaan beide modellen uit 3 modules: de eerste betreft het begrip van getallen, de tweede de productie ervan en de derde de berekening. In het model van McCloskey berusten deze 3 onderdelen op semantische voorstellingen van abstracte getallen die geen enkele visuele, verbale, motorisch of kinesthetische voorstelling hebben. *“De kracht van dit model is om dissociaties bij cerebrale parese patiënten te verklaren, om te specificeren in welk domein van numerieke verwerking of berekening, of beide, hun tekorten zijn gelokaliseerd. Dit model blijft het referentiemodel in de klinische praktijk”,* stelt prof. Pesenti.

Naast een anatomische inplanting voor de betrokken functies, verschilt het model van Dehaene (10) van dat van zijn Amerikaanse tegenhanger eveneens door het feit dat de representaties er van verschillende aard zijn naargelang de specifieke taken die moeten worden uitgevoerd en de respectieve hersenzones die aan de realisatie ervan ten grondslag liggen. Ze zijn met andere woorden onderling verbonden. Zoals we hebben aangegeven, is het daarom dat voor Dehaene de oplossing van rekenkundige feiten is gekoppeld aan een representatie van het verbale type. In andere gevallen zou de representatie visueel of analoog kunnen zijn, waarbij een aantal wordt voorgesteld op een continuüm, een soort “mentale numerieke lijn” die de opeenvolging van de getallen bv. op een regel weergeven.

De beste methode voor de behandeling van acalculiepatiënten lijkt te berusten op 2 pijlers: enerzijds intensieve training op basis van repetitieve oefeningen en anderzijds conceptueel opnieuw leren. Dit door bv. opnieuw uit te leggen en visueel te tonen dat een vermenigvuldiging gelijk is aan opeenvolgende en herhalende sommen (11).

(*) In de cognitieve wetenschappen vertegenwoordigen abstracte of “amodale” representaties concepten en zijn de relaties die deze verbinden onder de een vorm die totaal onafhankelijk is van enige zintuiglijke modaliteit.

Referenties

- Wynn K. Addition and subtraction by human infants. *Nature* 1992;358(27):749-50.
- Scarf D, Hayne H, Colombo M, et al. Pigeons on par with primates in numerical competence. *Science* 2011;334(6063):1664.
- Rugani R, Fontanari L, Simoni E, Regolin L, Vallortigara G. Arithmetic in newborn chicks. *Proc Biol Soc* 2009;276:2451-60.
- Agrillo C, Dadda M, Serena G, Bisazza A. Do fish count? Spontaneous discrimination of quantity in female mosquitofish. *Animal Cognition* 2005;11(3):495-503.
- Pahl M, Si A, Zhang S. Numerical cognition in bees and other insects. *Front Psychol* 2013;4, article 162.
- Boysen ST, Berntson GG. Numerical competence in a Chimpanzee (*Pan troglodytes*). *J Comp Psychol* 1989;103(1):23-31.
- Thioux M, Pillon A, Samson D, de Partz M-P, Noël M-P, Seron X. The isolation of numerals at the semantic level. *Neurocase* 1998;4:371-89.
- Pesenti M, Thioux M, Seron X, De Volder A. Neuroanatomical substrate of Arabic number processing, numerical comparison and simple addition: A PET study. *J Cogn Neurosci* 2000;12(3):461-79.
- Whalen J, McCloskey M, Lindemann M, Boulton G. Representing arithmetic table facts in memory: Evidence from acquired impairments. *Cogn Neuropsychol* 2002;19:505-22.
- Dehaene S. Varieties of numerical abilities. *Cognition* 1992;44:1-42.
- Domahs F, Bartho-Doering L, Delazer M. Rehabilitation of arithmetic abilities: Different intervention strategies for multiplication. *Brain and Language* 2003;87:165-6.