

1. Wie ben ik?

Alle ervaringen in je leven, van eenvoudige gesprekken tot je cultuur in bredere zin, bepalen samen de microscopische details van je hersenen. Neuraal gesproken bepaalt waar je geweest bent wie je bent. Je hersenen passen voortdurend hun vorm aan, herschrijven onafgebroken de eigen verbindingen – en omdat jouw ervaringen uniek zijn geldt dat ook voor de talloze gedetailleerde patronen in je neurale netwerken. Doordat die je hele leven lang blijven veranderen, is jouw identiteit ook voortdurend in beweging en bereikt die nooit een eindpunt.

Neurowetenschap is mijn dagelijks werk, en toch voel ik elke keer ontzag als ik hersenen van een mens in mijn handen houd. Behalve het substantiële gewicht (de hersenen van een volwassene wegen ongeveer 1400 gram), de merkwaardige samenstelling (een soort stevige gelei) en de rimpelige verschijning (diepe plooien in een gezwollen materie) valt vooral de aanraakbaarheid ervan op: de homp weinig opvallend materiaal lijkt niet te rijmen met de mentale processen die erin plaatshebben.

Onze gedachten, dromen, herinneringen en ervaringen komen allemaal uit dit vreemde neurale materiaal voort. Wie we zijn ligt vast in de verfijnde patronen van elektrochemische trillingen. Als die activiteit stilvalt, gebeurt dat ook met jou. Als die activiteit door verwondingen of medicijnen van karakter verandert, verandert jouw karakter in de maat mee. Als je een klein stukje van je hersenen beschadigt, is de kans groot dat jij wezenlijk verandert, wat voor andere lichaamsdelen niet geldt. Om te begrijpen hoe dat werkt, kunnen we het best bij het begin beginnen.

ONAF GEBOREN

Bij onze geboorte zijn we hulpeloos. We kunnen het eerste jaar nog niet lopen, de eerste drie jaar onze gedachten nog niet onder woorden brengen en nog veel langere tijd niet voor onszelf zorgen. Om te overleven zijn we volledig afhankelijk van onze omgeving. Vergelijk dat eens met andere zoogdieren. Dolfijnen worden zwemmend geboren, een giraf kan binnen enkele uren staan, een zebra kan drie kwartier na de geboorte rennen. Verwante schepsels in het dierenrijk zijn al heel snel na hun geboorte onafhankelijk.

Dat lijkt voor die verwante soorten een groot voordeel, maar als we goed kijken is dat juist een beperking. Pasgeboren dieren ontwikkelen zich zo snel doordat hun hersenen aan de hand van een grotendeels van tevoren vastgesteld programma groeien. Dat gaat ten koste van de flexibiliteit. Als een neushoorn de pech had op de arctische toendra, op een berg in de Himalaya of in het hart van Tokio terecht te komen, zou het dier zich onmogelijk kunnen aanpassen (en daarom zijn daar ook geen neushoorns). De strategie om met van tevoren afgestelde hersenen op een bepaalde plek te belanden is handig in een vaste biotoop van het ecosysteem, maar zodra zo'n dier buiten die biotoop terechtkomt, wordt de kans op overleven een stuk kleiner.

De mens kan zich daarentegen staande houden op de ijzige toendra, hoog in de bergen, maar ook in drukke stedelijke centra. Dat komt doordat we met zulke onvoltooide hersenen worden geboren. In plaats van met alle verbindingen al op hun plaats – *hardwired* – ter wereld te komen, hebben de hersenen van de mens de ruimte om zich op basis van de opgedane ervaringen te vormen. In de periode waarin de jonge hersenen zich ontwikkelen – *livewired* – is er dan sprake van langdurige hulpeloosheid.

MINDER IS MEER: HET BEELD

UIT HET MARMER HAKKEN

Hoe komt het dat jonge hersenen zo flexibel zijn? Aan de groei van de cellen ligt het niet, want het aantal cellen is bij kinderen en volwassenen ongeveer gelijk. De oorzaak zit 'm in de verbinding tussen die cellen.

Bij de geboorte zijn de neuronen bij een baby ongelijksoortig en niet verbonden. In de eerste twee jaar gaan ze op basis van zintuiglijke waarnemingen heel snel heel veel verbindingen aan. In babyhersenen vormen zich elke seconde miljoenen

nieuwe verbindingen, oftewel synapsen. Op tweejarige leeftijd heeft een kind meer dan honderd biljoen van die synapsen, twee keer zoveel als volwassenen.

Dat is het maximum, en het zijn ook veel meer verbindingen dan een mens nodig heeft. De productie van nieuwe verbindingen maakt vanaf dit moment plaats voor de strategie van het neurale 'snoeien'. Onderweg naar volwassenheid wordt de helft van de verbindingen weer ongedaan gemaakt.

Welke synapsen verdwijnen, en welke blijven? Als een synaps succesvol deel uitmaakt van een circuit, wordt hij daar sterker van. Als een synaps niet nuttig blijkt te zijn, verzwakt hij en wordt hij uiteindelijk geëlimineerd. Het is net als met een paadje door het bos: als het niet wordt gebruikt, verdwijnt het.

Het proces dat je wordt wie je bent draait in zekere zin om het uitdunnen van de mogelijkheden die er al zijn. Je wordt niet wie je bent door wat er in je hersenen groeit, maar door wat eruit wordt weggehaald.

LIVEWIRING

Veel dieren komen genetisch voorgeprogrammeerd of 'hardwired' ten aanzien van bepaalde instincten en gedragingen ter wereld. Genen sturen de groei van hun lichaam en hersenen zodanig dat vastligt hoe ze worden en zich zullen gedragen. De reflex van de vlieg om weg te vliegen voor een langskomende schaduw, het instinct van het roodborstje om 's winters naar het zuiden te vliegen, de beer die een winterslaap houdt, de hond die zijn baasje beschermt: het zijn allemaal voorbeelden van aangeboren instinct en gedrag. Deze voorprogrammering zorgt dat dieren zich al vanaf hun geboorte net zo gedragen als hun ouders en soms meteen al zelf kunnen eten en overleven.

Bij de mens gaat dat anders. De hersenen van een baby

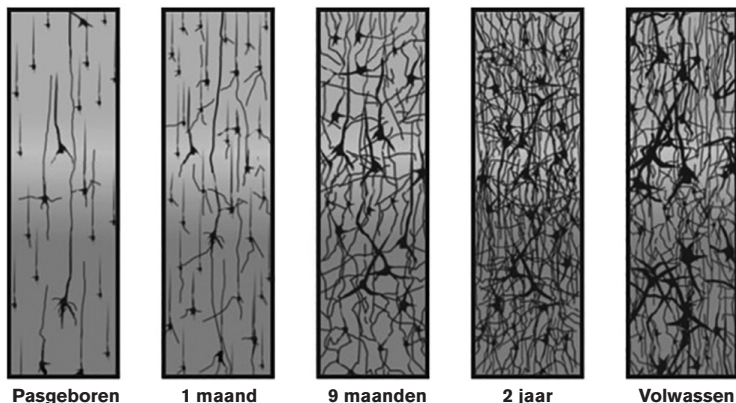
kennen wel enige genetische voorprogrammering (voor ademhalen, huilen, zuigen, gezichtsherkenning en de aanleg om een taal te leren), maar in vergelijking met de rest van het dierenrijk zijn onze hersenen bij de geboorte nog erg onaf. De precieze verbindingen zijn veel minder sterk voorgeprogrammeerd en de genen wijzen ons slechts de richting waar we de blauwdrukken van onze neurale netwerken kunnen vinden. De rest van de verbindingen ontwikkelt zich op basis van ervaring – livewiring – wat aanpassing aan plaatselijke details mogelijk maakt.

Het vermogen van onze hersenen om zich te vormen naar de wereld waarin we geboren worden, stelt ons als soort in staat om in elk ecosysteem te overleven.

In de loop van onze jeugd blijft onze leefomgeving onze hersenen verfijnen. Het woud van mogelijkheden wordt uitgedund tot het correspondeert met waar we aan worden blootgesteld. Het aantal verbindingen neemt af, de kracht ervan neemt toe.

De taal waaraan een baby wordt blootgesteld bijvoorbeeld (laten we zeggen: Engels tegenover Japans) verfijnt het vermogen om bepaalde klanken van die taal te herkennen en verslechtert het gevoel voor de klanken van andere talen. Een in Japan en een in de VS geboren baby kunnen aanvankelijk op alle klanken in beide talen reageren. In de loop van de tijd verliest de Japanse baby het vermogen om de R- en de L-klank te onderscheiden, omdat die in Japan niet verschillen. We worden gevormd door de wereld waarin we toevallig terecht komen.

1. WIE BEN IK?



In de hersenen van een pasgeborene bestaan er maar weinig verbindingen tussen de neuronen. In de eerste paar jaar groeien de vertakkingen en neemt het aantal verbindingen toe. Daarna vindt er selectie plaats en wordt het aantal verbindingen kleiner, maar ze worden wel sterker.

DE GOK VAN DE NATUUR

In de loop van onze jeugd brengen de hersenen het aantal verbindingen terug, waardoor onze geschiktheid voor een bepaalde leefomgeving toeneemt. Het is heel slim om hersenen op een leefomgeving af te stemmen, maar daar zitten ook risico's aan vast.

Als hersenen gedurende hun ontwikkeling niet de juiste, 'verwachte' omgeving wordt aangeboden – die waarin het kind op behoorlijke wijze wordt verzorgd – zullen ze zich niet normaal ontwikkelen. De familie Jensen uit Wisconsin kan daarover meepraten. Carol en Bill Jensen adopteerden Tom, John en Victoria toen de kinderen vier waren. Ze hadden tot hun adoptie onder afschuwelijke omstandigheden in staatsweeshuizen in Roemenië geleefd, en dat had gevolgen voor de ontwikkeling van hun hersenen.

Toen de Jensens de kinderen ophaalden en met een taxi uit Roemenië meenamen, vroeg Carol de chauffeur te vertalen wat de kinderen zeiden. De chauffeur legde uit dat hij ze niet be-

greep. Bij gebrek aan normale interactie hadden de kinderen een merkwaardig wartaaltje ontwikkeld. Door het gemis in hun jongste jeugd kregen de kinderen in de loop van hun verdere groei te maken met leerhandicaps.

Tom, John en Victoria herinneren zich weinig van hun jaren in Roemenië. Iemand die zich de weeshuizen in dat land nog maar al te goed herinnert is Charles Nelson, hoogleraar kindergeneeskunde aan het Boston Children's Hospital. Hij bezocht ze in 1999 voor het eerst en wat hij zag vervulde hem met afschuw. Jonge kinderen zaten zonder enige zintuiglijke prikkeling in hun kinderbedjes. Er was per vijftien kinderen één verzorger, en die mocht de kinderen niet optillen of andere vormen van affectie tonen, ook niet als de kinderen huilden; het idee was dat zo'n vertoon van affectie tot de vraag naar meer zou leiden, iets wat vanwege het gebrek aan personeel niet kon worden gehonoreerd. Met die context als uitgangspunt lag alles zo strak mogelijk vast. Kinderen moesten allemaal tegelijk op plastic po's gaan zitten, alle haren waren – onafhankelijk van geslacht – hetzelfde geknipt, iedereen droeg dezelfde kleren en de kinderen aten volgens een vast schema. Alles was gemechaniseerd.

Kinderen die met hun gehuil geen gehoor vinden, leren dat huilen snel af. Deze kinderen werden niet vastgepakt en er werd niet met ze gespeeld. In hun basisbehoeftes werd voorzien (ze werden gevoed, gewassen en gekleed), maar het ontbrak hun aan elke vorm van emotionele zorg, steun of stimulans. Daardoor ontwikkelden ze allemansvriendjesgedrag (*indiscriminate friendliness*). Nelson vertelt hoe hij een zaal in liep en omringd werd door kindertjes die hij nog nooit had gezien en die allemaal in zijn armen wilden springen, op zijn schoot wilden zitten, zijn hand wilden vasthouden en met hem mee wilden. Op het eerste gezicht lijkt dat lief, maar het is een overlevingsstrategie van verwaarloosde kinderen en een symptoom van langdurig gebrek aan aandacht. Het is bij uitstek ge-

drag van kinderen die in instellingen zijn opgegroeid.

De ervaring was een schok voor Nelson en zijn team, en daarom startten ze het Bucharest Early Intervention Team ('team voor vroeg ingrijpen'). Ze onderzochten 136 kinderen van een half jaar tot drie jaar oud die vanaf hun geboorte in instellingen hadden geleefd. De kinderen hadden een IQ van in de zestig of zeventig, waar het gemiddelde honderd is. Ze hadden onderontwikkelde hersenen en een grote taalachterstand. Nelson testte met elektro-encefalografie (eeg) de elektrische activiteit in de hersenen van de kinderen, en daaruit bleek dat die activiteit sterk gereduceerd was.

Zonder emotionele zorg en cognitieve prikkels kunnen de hersenen van de mens zich niet normaal ontwikkelen.

Nelsons onderzoek legde gelukkig ook een belangrijke keerzijde bloot: hersenen herstellen zich, in uiteenlopende mate, als de kinderen naar een veilige en liefdevolle omgeving worden overgeplaatst. Kinderen die in de eerste twee jaar van hun leven naar pleeggezinnen gingen, herstelden in het algemeen goed. Als dat na hun tweede gebeurde, traden er ook nog wel verbeteringen op, maar hielden ze er ontwikkelingsproblemen van wisselende omvang aan over.

De bevindingen van Nelson benadrukken het belang van een liefdevolle, zorgzame omgeving voor de ontwikkeling van kinderhersenen. Dit laat zien hoe belangrijk onze leefomgeving is voor wie we worden. We zijn ontzettend gevoelig voor onze omgeving. Door deze 'al doende leren'-strategie van de menselijke hersenen hangt wie we worden sterk af van waar we geweest zijn.

DE WEESHUIZEN VAN ROEMENIË

Om het aantal inwoners en het arbeidspotentieel te verhogen verbood de Roemeense president Nicolae Ceaușescu in 1966 anticonceptie en abortus. Overheidsgynaecologen,

de zogenaamde ‘menstruatiepolitie’, onderzocht vruchtbare vrouwen om er zeker van te zijn dat ze voldoende nakomelingen voortbrachten. Gezinnen met minder dan vijf kinderen kregen een ‘celibaatbelasting’ opgelegd. Het geboortecijfer schoot omhoog.

Veel arme gezinnen konden de zorg voor hun kinderen niet betalen en leverden de kleintjes in bij staatsweeshuizen. Door dit snel stijgende aanbod zette de overheid steeds meer van die instellingen op. Toen Ceaușescu in 1989 werd afgezet, leefden er 170 000 verstoten kinderen in deze weeshuizen.

Onderzoek maakte nadien al snel duidelijk welke gevolgen voor de ontwikkeling een dergelijke opvoeding had. Die bevindingen zorgden voor een ommezwaai in het overheidsbeleid. De meeste Roemeense kinderen gingen in de jaren daarna weer terug naar hun ouders of kwamen in door de overheid georganiseerde pleegzorg terecht. Sinds 2005 is het in Roemenië verboden om kinderen vóór hun derde jaar in een instelling op te nemen, tenzij ze ernstig gehandicapt zijn.

Overal ter wereld leven nog altijd miljoenen kinderen in weeshuizen. Gezien de noodzaak van een zorgzame omgeving voor de ontwikkeling is het van levensbelang dat overheden omstandigheden voor de kinderen creëren waarin de hersenen de cruciale groei kunnen doormaken.

Nog maar enkele tientallen jaren geleden dachten we dat de ontwikkeling van de hersenen tegen het eind van de kindertijd grotendeels was voltooid. Inmiddels weten we dat de opbouw van onze hersenen soms wel 25 jaar duurt. De tienertijd is een periode van een zo belangrijke neurale reorganisatie en verandering, dat die grote invloed heeft op wie we zijn. Door het lijfgierende hormonen leiden tot grote lichamelijke veranderingen.

gen, maar in onze hersenen zijn de veranderingen in die tijd niet minder ingrijpend. Die veranderingen beïnvloeden sterk hoe we ons gedragen en hoe we op de wereld om ons heen reageren.

Een van die veranderingen heeft te maken met de opkomst van een notie van het zelf – en daarmee van het bewustzijn ervan. Om beter te begrijpen hoe de tienerhersenen werken, voerden we een eenvoudig experiment uit. Mijn student Ricky Savjani en ik vroegen vrijwilligers om in een etalage op een kruk te gaan zitten. Daarna trokken we de gordijnen open. De vrijwilliger kon de wereld in kijken, maar was daar ook zichtbaar voor alle voorbijgangers.

Voordat we de deelnemers in deze ongemakkelijke positie brachten, tuigden we ze op met apparatuur om hun emotionele respons te meten. We registreerden op die manier hoe ver hun zweetklieren opengingen, wat als een nuttig instrument geldt om ongemak vast te stellen. Hoe hoger deze zogenaamde galvanische huidreactie, hoe sterker de geleiding van de huid (deze technologie wordt ook in leugendetectors gebruikt).

DE VORMGEVING VAN HET ADOLESCENTE BREIN

Na de kindertijd en vlak voor het begin van de puberteit doet zich een tweede fase van overproductie voor. De prefrontale cortex maakt nieuwe cellen en verbindingen (synapsen), en daarmee nieuwe ruimte voor verandering aan. Na deze overvloed volgt ongeveer tien jaar snoeien. De hele tienertijd door worden zwakkere verbindingen afgebroken en sterkere verder versterkt. Door die uitdunning neemt de omvang van de prefrontale cortex in de tienerjaren jaarlijks met 1 procent af. De vorming van circuits in de tienertijd maakt ons geschikt voor de lessen die we op weg naar volwassenheid leren.

Deze grote veranderingen voltrekken zich in de hersen-

gebieden voor besluitvorming en impulsbeheersing, en de adolescentie is dan ook een periode van grote cognitieve verandering. De dorsolaterale prefrontale cortex, die een grote rol speelt in de impulsbeheersing, bereikt pas bij beginnende twintigers volwassenheid. Al ruim voordat neurowetenschappers dit vaststelden, zagen autoverzekeringsbedrijven de gevolgen van een onvolledige volwassenheid van de hersenen, en tieners betaalden dan ook hogere premies. Ook het rechtssysteem had al vermoedens voordat er bewijzen waren, en daarom worden jongeren anders behandeld dan volwassenen.

Aan ons experiment deden zowel tieners als volwassenen mee. Volwassenen vertoonden precies de stressreactie die van het bekeken worden in de etalage werd verwacht. Bij tieners zorgde dezelfde ervaring echter voor een enorme piek in de sociale emoties. Zo bekeken te worden zorgde voor heel veel stress, soms zelfs zo erg dat ze helemaal begonnen te trillen.

Waar kwam dat verschil tussen volwassenen en tieners vandaan? Het antwoord ligt besloten in de gyrus frontalis medius of de mediale prefrontale cortex (mpFC). Dit hersengebied wordt actief als je over jezelf nadenkt, en dan met name over de emotionele betekenis van een situatie voor jezelf. Dr. Leah Somerville en haar collega's van Harvard stelden vast dat de mpFC in sociale situaties tijdens de groei van adolescentie naar volwassenheid actiever wordt, met een piek rond het vijftiende levensjaar. Sociale situaties wegen dan heel zwaar, wat bij een groot bewustzijn van het zelf tot een sterke stressreactie leidt. In de adolescentie heeft over jezelf nadenken, de zogenaamde zelfevaluatie, een hoge prioriteit. Hersenen van volwassenen zijn daarentegen, als een paar schoenen dat ingelopen is, wel aan het zelf gewend. Als gevolg daarvan tilt een volwassene er niet zo zwaar aan om een tijdje in een etalage te zitten.

Buiten het sociale ongemak en de hypergevoeligheid voor emoties zijn tienerhersenen er ook op afgestemd om risico's te nemen. Of het nu om te hard rijden of het via de telefoon versturen van naaktfoto's gaat, riskant gedrag is voor het brein van tieners verleidelijker dan voor volwassen hersenen. Dat heeft veel te maken met onze reactie op prikkels en beloningen. Tijdens de overgang van kind naar adolescent reageren de hersenen in aan genot gerelateerde gebieden (zoals de nucleus accumbens) steeds sterker op beloningen. Bij tieners is de activiteit daar net zo groot als bij volwassenen, maar belangrijk is dat de activiteit in de orbitofrontale cortex, het gebied voor besluitvorming, aandacht en inzicht in gevolgen voor de toekomst, bij tieners nog ongeveer hetzelfde is als bij kleinere kinderen. Een volwassen systeem om genot te zoeken in combinatie met een onvolwassen orbitofrontale cortex zorgt niet alleen voor hypergevoeligheid bij tieners, maar ook voor een verminderd vermogen om de emoties in toom te houden.

Somerville en haar medewerkers hebben wel een idee waarom groepsdruk zo'n grote invloed op het gedrag van tieners heeft. Gebieden voor sociale overwegingen (zoals de mPFC) zijn sterker verbonden met andere gebieden die motivatie in handelingen omzetten (het striatum en het daaraan gekoppelde netwerk van verbindingen). Dit zou kunnen verklaren, zo zeggen ze, waarom tieners meer risico's nemen als er vrienden bij zijn.

Hoe we de wereld als tiener zien is het gevolg van volgens schema veranderende hersenen. Door die veranderingen worden we ons meer bewust van onszelf en vatbaarder voor op soortgenoten afgestemd gedrag. Gefrustreerde ouders overal ter wereld, onthoud dat wie we als tiener zijn niet alleen het gevolg van een keuze of een houding is, maar vooral het resultaat van een periode vol intense en onontkoombare neurale veranderingen.

PLASTICITEIT BIJ VOLWASSENEN

Als we een jaar of vijftientig zijn, zijn de veranderingen in onze hersenen uit onze jeugd en puberteit afgerond. De tektonische verschuivingen in onze identiteit en persoonlijkheid zijn achter de rug en onze hersenen wekken een volledig ontwikkelde indruk. Het idee kan ontstaan dat wie we als volwassenen zijn nu onwrikbaar vastligt. Ook bij volwassenen blijven de hersenen echter veranderen. Iets wat gevormd kan worden – en die vorm kan behouden – noemen we plastisch. De hersenen zijn ook bij volwassenen nog plastisch, want ervaringen zorgen voor veranderingen en die veranderingen zijn blijvend.

Om te begrijpen hoe indrukwekkend die fysieke veranderingen kunnen zijn, kijken we naar een specifieke groep mannen en vrouwen die allemaal in Londen werken: de taxichauffeurs in die stad. Ze worden vier jaar lang opgeleid voor de ‘Kennis van Londen-toets’, een van de zwaarste geheugentests denkbaar. Voor de toets moeten aspirant-*cabbies* het hele weggennet van Londen, met al zijn verbindingen en veranderingen, uit hun hoofd leren. Dat is een buitengewoon ingewikkelde opgave. Hun wordt gevraagd naar 320 verschillende routes, naar 25 000 straten en 20 000 herkenningpunten en interessante plekken, van hotels, theaters en restaurants tot ambassades, politiebureaus en sportaccommodaties – en elke andere plek waar de passagier eventueel naartoe wil. Kandidaten voor de toets zijn dagelijks gemiddeld drie à vier uur bezig om routes in hun hoofd te oefenen.

De unieke mentale uitdaging van de toets wekte de belangstelling van een groep neurowetenschappers van University College London, die de hersenen van verschillende taxichauffeurs scanden. De onderzoekers waren vooral geïnteresseerd in de hippocampus, een klein hersengebied dat essentieel is voor met name het ruimtelijk geheugen.

De onderzoekers constateerden dat het achterste deel van de

hippocampus bij de chauffeurs groter was dan bij de controle-groep, en vermoedden dat dat hun betere ruimtelijke geheugen verklaarde. De onderzoekers stelden ook vast dat de verandering in dit hersengebied groter is naarmate de chauffeur zijn werk langer doet. Dat wijst erop dat dit geen eigenschap is die de chauffeurs al hadden voordat ze dit beroep kozen, maar dat ze het gevolg is van het werk.

Dit onderzoek toont aan dat hersenen van volwassenen geen vaststaand gegeven zijn, maar zich zodanig kunnen aanpassen dat de verandering met een geoefend oog waarneembaar is.

Het zijn niet alleen hersenen van taxichauffeurs die zich opnieuw vormen. Onderzoek naar de hersenen van Albert Einstein maakte niet duidelijk waar zijn genialiteit vandaan kwam. Er bleek wel uit dat het hersengebied dat de vingers van zijn linkerhand stuurde vergroot was en een flinke plooï in zijn hersenschors vormde. Dit omegateken, zo genoemd omdat het de vorm van het Griekse symbool Ω heeft, dankte hij aan zijn minder bekende liefde voor het vioolspelen. Deze plooï groeit bij ervaren violisten, die veel aan de vingervlugheid van hun linkerhand werken. Pianisten ontwikkelen een omegateken in beide hersenhelften, want zij gebruiken voor hun verfijnde bewegingen beide handen.

De vorm van de heuvels en dalen in de hersenen is bij iedereen grotendeels hetzelfde, maar de details vormen een persoonlijke en unieke weerspiegeling van je verleden en van wie je nu bent. De meeste veranderingen zijn niet met het blote oog waarneembaar, maar al je ervaringen hebben de fysieke structuur van je hersenen veranderd – van de expressie van de genen tot de positie van moleculen en de architectuur van neuronen. Jouw voorouders, je cultuur, je vrienden, je werk, elke film die je ooit hebt gezien en elk gesprek dat je ooit hebt gevoerd, hebben allemaal hun sporen in jouw zenuwstelsel achtergelaten. Al die minuscule indrukken bij elkaar maken jou tot wie je bent en beperken wie je kunt worden.