

NEUROBIOLOGISCHE EN NEUROPSYCHOLOGISCHE ASPECTEN VAN DYSLEXIE

L. Blomert en P. Hagoort, IWAL Amsterdam respectievelijk Max Planck Institut für Psycholinguistik Nijmegen

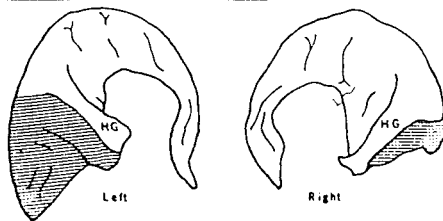
Inleiding

In het navolgende wordt aandacht besteed aan bevindingen uit de neuroanatomie en de neurofysiologie, die er op wijzen dat we bij dyslexie te maken hebben met structurele en functionele afwijkingen in die hersengebieden die een centrale rol spelen bij taalverwerking. Tevens wordt de recente theorie van twee Amerikaanse neurologen, Geschwind en Galaburda, besproken, welke een licht werpt op de biologische antecedenten van dyslexie.

Geconcludeerd zal worden dat op grond van neurobiologische en neuropsychologische gegevens dyslexie gekarakteriseerd dient te worden als een verstoring in centrale aspecten van taalverwerking. De consequentie voor de behandeling van dyslexie is dienengevolge dat alleen effect verwacht mag worden, indien daarin nader te karakteriseren aspecten van het begrijpen en produceren van taal centraal staan. Dit betekent dat de inhoud van een behandelingsprogramma getoetst dient te worden aan de huidige stand van zaken in de psycholinguïstiek.

Neuroanatomische verstoringen bij dyslectici

In de laatste twee decennia is het inzicht ontstaan dat asymmetrieën tussen hersenstructuren in de linker en de rechter hersenhelft eerder regel zijn dan uitzondering. Voor wat betreft gebieden die met het menselijk taalvermogen samenhangen, is een belangrijke asymmetrie gevonden tussen het zogeheten planum temporale in de linker en dat in de rechter hersenhelft.



Figuur 1 Het planum temporale (gearceerd); diagram van het temporale oppervlak van het brein

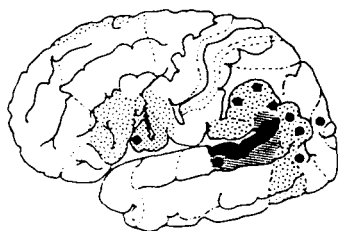
Geschwind en Levitsky (1968) verrichtten bij 100 menselijke breinen metingen van de omvang van het linker en rechter planum temporale. Zij vonden in 65% van de gevallen

een aanmerkelijk groter planum temporale links, in 11% van de gevallen was het rechter planum groter dan het linker en in 24% van de gevallen was er sprake van vergelijkbare omvang. Ongeveer vergelijkbare resultaten werden gevonden door Wada, Clark en Hamm (1975) bij hun onderzoek van 100 volwassen en 100 foetale breinen.

Dit planum temporale is gelegen in het achterste deel van de temporale winding, waarvan bekend is dat het in de linkerhemisfeer een belangrijke rol speelt bij taalverwerking. Deze anatomische asymmetrieën zijn in overeenstemming met onze kennis van functionele asymmetrieën, waarbij overtuigend is aangetoond dat in het normale geval vooral de linker hersenhelft betrokken is bij aspecten van taalverwerking zoals spreken, verstaan, lezen en schrijven. Kennelijk geldt met betrekking tot de relatie tussen structuur en functie nog steeds het oude frenologische adagium; hoe groter de structuur, des te beter wordt de bijbehorende functie vervuld.

Er zijn sterke aanwijzingen dat dit normale patroon van anatomische asymmetrieën bij dyslectici afwezig is. Evidentie daarvoor is onder andere afkomstig uit een aantal autopsiestudies, post-mortem onderzoek, waarbij de anatomische structuur van vier dyslectische breinen nader werd onderzocht (Galaburda, Rosen, & Sherman, 1985). Van deze autopsiestudies zijn een tweetal bevindingen hier van belang.

Allereerst blijkt dat in de tot op heden gerapporteerde gevallen het planum temporale links niet groter is dan dat in de rechter hersenhelft. In de tweede plaats zijn vooral in de linker hersenhelft afwijkingen gevonden in de corticale gelaagdheid. Clusters van neuronen, zenuwcellen, blijken tijdens de embryonale ontwikkeling op de verkeerde plaats terechtgekomen te zijn waardoor de opbouw van een streng gelaagde corticale structuur ter plaatse verstoord wordt. Er zijn aanwijzingen dat deze afwijkingen in de corticale structuur van deze dyslectische breinen het resultaat zijn van een afwijkend proces van ontwikkeling tijdens de foetale periode. Daarop komen wij in het vervolg nog terug.



Figuur 2 Neuroanatomische anomalieën in de linker hersenhelft van het brein van een dyslecticus; een groot gebied gekenmerkt door polymicrogyria in het planum temporale (zwart) en verschillende andere gebieden met lokale corticale dysplasieën (zwarte stippen)

Naast de traditionele studie van het brein door sectie en daarnaast kleuring van de cellen of onderdelen daarvan, zijn er de laatste 30 jaar verscheidene nieuwe technieken ontwikkeld om de structuur van de hersenen in vivo zichtbaar te maken. Een daarvan is de computertomografie (CT).

CT is een methode waarmee hersenstructuren zichtbaar gemaakt kunnen worden, doordat verschillend hersenweefsel, de straling die er doorheen gaat, in ongelijke mate absorbeert. De hiervoor genoemde afwijkingen in het normale patroon van cerebrale a-

symmetrieën zijn dan ook bij grote groepen dyslectici nader onderzocht middels de computertomografie (Haslam et al., 1981; Hier et al., 1978; Rosenberger & Hier, 1979). De resultaten bevestigen het beeld uit de anatomische studies, dat bij dyslectici in vergelijking met niet-dyslectici veel vaker de normale links-rechts asymmetrie van het planum temporale afwezig is. Dit houdt uiteraard nog niet in dat bij alle individuen waarbij de normale asymmetrie van de plana afwezig is, er ook inderdaad sprake is van dyslexie.



Figuur 3 CT-scans van twee dyslectici; het linker brein vertoont de normale asymmetrie met een parieto-occipitaal gebied dat links groter is; het rechterbrein vertoont een opvallende omkering van het normale asymmetrische patroon met een parieto-occipitaal gebied dat rechts groter is

Wat wel uit dit CT onderzoek geconcludeerd kan worden, is dat afwezigheid van het normale asymmetrische patroon van het planum temporale de kans op het voorkomen van dyslexie zeer sterk vergroot.

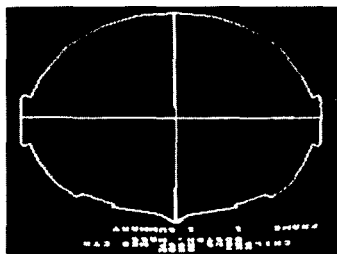
Een andere en nog zeer recente methode om hersenstructuren te visualiseren is de kernspintomografie of nucleaire magnetische resonantie (NMR). Deze techniek maakt een meer verfijnde en contrastrijker afbeelding van hersenstructuren mogelijk dan tot nu toe met de computertomografie bereikt kon worden. Voor een recent onderzoek (Rumsey et al., 1986) met deze nieuwe methode werden 10 mannelijke dyslectici geselecteerd. Negen van hen vertoonden een duidelijk symmetrisch beeld van de temporaal kwabben. De eerder besproken afwijkingen in de gelaagdheid van de corticale structuur zijn zo klein dat ze ook met deze nieuwe methode niet zichtbaar gemaakt konden worden.

Neurofysiologische verstoringen bij dyslectici

Nu is het een welbekend feit dat neuro-anatomische afwijkingen niet alleen kunnen leiden tot verstoorde activiteit in het betrokken gebied zelf, maar ook effecten kunnen hebben buiten dit gebied. Een lokale anatomische afwijking kan dan ook enerzijds leiden tot diffuse functionele veranderingen in grote gebieden of anderzijds tot lokale veranderingen in specifieke regionen ver verwijderd van de plaats van de neuroanatomische afwijking. Vandaar dat het interessant is om niet alleen de structureel-anatomische, maar ook de functioneel-fysiologische afwijkingen in ogenschouw te nemen.

De laatste jaren zijn er meerdere technieken ontwikkeld om de activiteit van de hersenen te meten. Een belangrijke en klinisch veel gebruikte methode berust op de registratie van elektrische potentialen. Dit wordt mogelijk gemaakt doordat deze elektrische activiteit spontaan aanwezig (ElectroEncephaloGram) of makkelijk opwekbaar is (Evoked Potentials). Van groot belang is dat deze methode herhaalbaar en niet-invasief is, dat wil zeggen er wordt op geen enkele wijze in de integriteit van het organisme ingegrepen. Een geavanceerde variant van deze methoden is de brain electrical activity mapping (BEAM). De activiteit van de hersenen wordt daarbij met behulp van op de hoofdhuid bevestigde elektroden afgeleid. Aan de proefpersonen wordt veelal gevraagd om gedurende deze meetperiode bepaalde taken uit te voeren. De activiteit van de processen die betrokken zijn bij de uitvoering van de opgedragen taken kan vervolgens gemeten worden, terwijl tevens geregistreerd kan worden op welke plaatsen in de hersenen die activiteit optreedt en op welke momenten in de tijd. Op deze wijze kunnen zowel functionele verschillen tussen hersengebieden bij een persoon, als verschillen tussen groepen personen vastgesteld worden.

We kunnen ons nu de vraag stellen: Is de functionele activiteit van de hersenen bij dyslectici anders dan bij niet-dyslectici?



Figuur 4 BEAM-gegevens geplaatst in een schematische afbeelding van het hoofd. De lichte gebieden markeren de gebieden waar de dyslectische groep afwijkt van de controlegroep. Naast de betrokkenheid van de klassieke temporale gebieden valt vooral het verschil in activiteit in de prefrontale gebieden op.

Recent zijn enige dyslectici met deze BEAM-methode onderzocht (Duffy, McAnulty, & Schachter, 1984). Een van de taken betrof het in stilte lezen van enige paragrafen tekst. Daarbij werden grote verschillen in activiteit gevonden in het linker temporale gebied tussen een groep dyslectici en een groep niet-dyslectici. Tevens werden er ook grote verschillen in activiteit gemeten tussen de groepen in de mediale frontale kwabben. Het betrokken gebied wordt ook wel het supplementaire motor gebied genoemd; een gebied boven in het voorste deel van de frontale kwabben dat zich voornamelijk uitstrekt over het mediale vlak.

Dit resultaat is interessant in het licht van enige eerdere bevindingen betreffende de betrokkenheid van dit gebied bij taalverwerkingsprocessen. Zo leidt elektrische prikkeling in dit gebied tot onwillekeurige vocalisaties. Het operatief verwijderen van dit gebied leidt tot relatief kortdurende taalstoornissen (Penfield & Roberts, 1959). Daarnaast blijkt uit onderzoek van lokale hersenactiviteit, die afgeleid wordt uit de mate van doorbloeding van een gebied (RCBF), dat zowel gedurende stil en hardop lezen als tijdens het

sprekende ditzelfde gebied een sterk verhoogde activiteit vertoont vergelijkbaar met het activiteitsniveau in een meer traditioneel taalgebied als de temporale regio (Lassen, Ingvar & Skinhoj, 1978; Lassen, 1985). Ook werd vastgesteld dat voornamelijk dit gebied actief is bij 'inner speech' (Lassen et al., 1978; Penfield et al., 1959)



Figuur 5 Stil (linker figuur) en hardop (rechter figuur) lezen. Door middel van het meten van de cerebrale doorbloeding wordt de hersenactiviteit vastgesteld. De gebieden gekenmerkt door de geconcentreerde witte vlakken zijn actief tijdens het lezen

Een andere bron van evidentie voor de betrokkenheid van het supplementaire motor gebied bij taalverwerking komt voort uit een onderzoek van de hersenactiviteit bij afasiepatiënten door middel van het meten van de metabole activiteit van hersencellen. Dit is mogelijk met behulp van positron emissie tomografie (PET), een invasieve methode waarbij radioactief gemaakte stoffen in de cellen worden opgenomen. De resultaten laten duidelijk zien dat beschadiging van de temporale taalgebieden leidt tot een hieraan gerelateerde vermindering van de metabole activiteit in het prefrontale gebied (Metter, 1987).

Er kunnen nu drie belangrijke conclusies getrokken worden. Ten eerste: naast anatomische zijn er ook fysiologische verschillen aantoonbaar tussen breinen van dyslectici en niet-dyslectici. Ten tweede is het evident dat het supplementaire motor gebied, gelegen in de prefrontale cortex, betrokken is bij de centrale aspecten van taalverwerking en ten derde, dat bij de uitvoering van taken die een beroep doen op taalverwerking dit en andere gebieden die bij taalverwerking betrokken zijn bij dyslectici een duidelijk andere activiteit vertonen dan bij niet-dyslectici.

Lateralisatie en dyslexie: de Geschwind Galaburda hypothese

Zoals uit het bovenstaande naar voren is gekomen, verschilt het dyslectisch brein mogelijk zowel in neuroanatomisch als neurofysiologisch opzicht van de hersenen van niet-dyslectici.

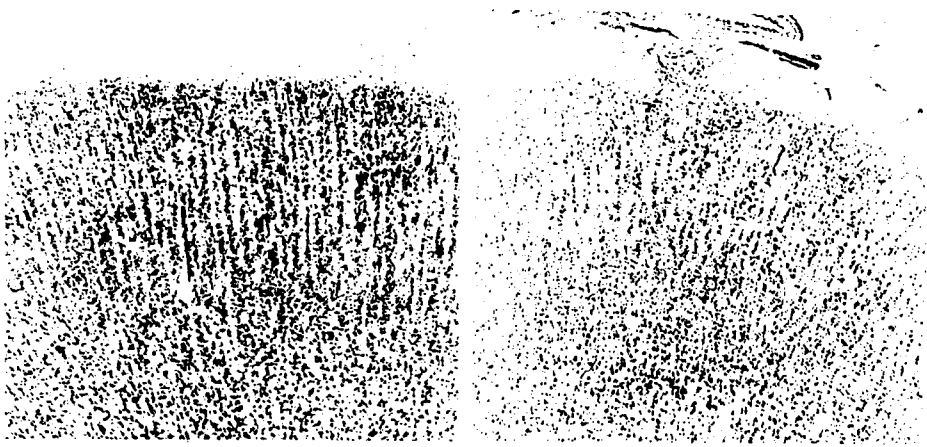
Reeds langer zijn een aantal andere onderscheidende kenmerken van de groep van dyslectici bekend. Zo komt dyslexie vaker voor bij mannen dan bij vrouwen. In bepaalde families komt dyslexie vaker voor dan in andere families.

In een aantal recente publicaties (Geschwind & Galaburda, 1985a, 1985b, 1985c) hebben Geschwind en Galaburda een theorie over de oorzaken van ontwikkelingsstoornissen zoals dyslexie ontwikkeld, waarin deze verschillende gegevens met elkaar in verband worden gebracht. In deze theorie wordt ervan uitgegaan dat genetisch gezien de linker hersenhelft dominant is voor taal en handvoorkeur (rechtshandigheid). Deze dominantie hangt samen met de reeds genoemde anatomische asymmetrieën tussen de linker en de rechter hersenhelft. Volgens Geschwind en Galaburda kunnen bepaalde factoren tijdens de embryonale fase de expressie van deze asymmetrieën afzwakken of modificeren. Gezien het vaker voorkomen van linkshandigheid en dyslexie onder mannen moet gedacht worden aan geslachtsgebonden factoren. Geschwind en Galaburda denken hierbij aan het mannelijk geslachtshormoon testosteron. Het is bekend dat testosteron een remmende invloed heeft op de ontwikkeling van de linker hersenhelft. Deze remmende invloed wordt in het geval van het mannelijke foetus versterkt doordat dit zelf reeds een niet onaanzienlijke hoeveelheid testosteron produceert. Afwijkende dominantiepatronen lijken een gevolg te zijn van een te sterk remmende werking van testosteron. Op zichzelf zijn verschillen in ontwikkelingstempo van verschillende hersengebieden niet rampzalig. Indien echter de vertraging een zekere kritische grens overschreden heeft, kunnen problemen ontstaan. Deze hangen onder andere samen met de reeds beschreven afwijkingen in de structuur van de cortex bij dyslectici, welke het gevolg zijn van een te sterke vertraging.

Bij de embryogenese van het centrale zenuwstelsel verhuizen de cellen van de neurale buis naar de uiteindelijke plaats van bestemming (migratie), alwaar een proces van celdifferentiatie plaatsvindt. Tijdens deze celdifferentiatie ontwikkelen de neuronen hun uitlopers (dendrieten en axonen) en vormen ze synaptische contacten; de plaatsen waar het signaal van het ene neuron op het andere overgedragen wordt.

De hormonale invloeden grijpen, naar wordt aangenomen, aan op deze processen. Belangrijk daarbij is de selectiviteit van het effect. De invloed van een hormoon als testosteron is in de eerste plaats beperkt tot de hersengebieden die over de geëigende receptoren en enzymen beschikken en in de tweede plaats tot een bepaalde kritische periode waarin de receptoren gevoelig zijn voor de werking van het betreffende hormoon. Neuronen zijn bij de aanleg van de cortex in zo'n grote overmaat aanwezig dat er een soort concurrentieslag plaatsvindt om de beschikbare synapsplaatsen. Indien een neuron 'te laat' komt, verliest het de competitie van neuronen uit corresponderende gebieden in de andere hersenhelft en de aangrenzende gebieden in de eigen hersenhelft en heeft bijgevolg een verhoogde kans af te sterven.

Een te sterke migratie van neuronen leidt derhalve tot een afname in de omvang van het bijbehorende gebied in de hersenen. Waar bijvoorbeeld in het normale geval het planum temporale links groter is dan rechts, zou dankzij een te sterk vertraagde migratie, symmetrie of dominantie van dit gebied in de rechter hersenhelft kunnen ontstaan. Dit kan nadelige consequenties hebben voor de functies waarvoor het verkleinde gebied vereist is.



Figuur 6 Links: normale door duidelijke kolommen gekenmerkte structuur van de cortex in het planum temporale; rechts: disruptie van de normale strakke gelaagdheid en aanwezigheid van cellen in de bovenste marginale laag van de cortex; zoals gevonden bij dyslectici.

Samengevat kan volgens de theorie van Geschwind en Galaburda, de expressie van het genetisch bepaalde dominantiepatroon van de hersenen tijdens de embryonale ontwikkeling verminderen of veranderen onder invloed van het geslachtshormoon testosteron. Dat leidt tot afwijkende patronen van dominantie die verantwoordelijk kunnen zijn voor onder andere het optreden van dyslexie. Tevens kan verandering van het dominantiepatroon leiden tot verandering van handvoorkeur; linkshandigheid of gemengde handigheid. Dit zou kunnen verklaren waarom kinderen met ontwikkelingsstoornissen vaker linkshandig zijn. De mannelijke foetus staat meer bloot aan de inwerking van testosteron door de eigen bijdrage aan de productie ervan. Daarom zouden dyslectici en linkshandigen vaker van het mannelijk dan van het vrouwelijk geslacht zijn.

Hoewel de theorie van Geschwind en Galaburda nader onderzoek vereist om een aantal van hun claims op houdbaarheid te toetsen, worden daarin op een verrassende wijze tot op heden losstaande feiten met betrekking tot dyslexie, met elkaar in verband gebracht.

Psycholinguïstische aspecten van dyslexie

Dyslexie is per definitie een specifieke stoornis van het lezen en spellen. Zoals hierboven is aangegeven, maken neurobiologische studies het zeer aannemelijk dat bij dyslectici structuur en werking van de hersengebieden die betrokken zijn bij taalverwerking, een afwijkend karakter hebben. De vraag is daarom gewettigd of de geconstateerde afwijkingen tot een zo specifiek tot lezen en spellen beperkte stoornis kunnen leiden?

Recent onderzoek naar taalverwerking bij dyslectici wettigt de conclusie dat dit niet het geval is. Hoewel dyslectici op een globaal niveau van analyse een specifiek probleem met lezen en spellen lijken te hebben, blijkt bij fijnmaziger onderzoek dat ook andere as-

pecten van hun taalvaardigheden afwijkingen vertonen. Een hele reeks onderzoeken toont overtuigend aan dat dyslectici problemen hebben bij de verwerking van fonologische informatie zowel waar het geschreven als gesproken taal betreft (Brady, 1986; Katz, 1986; Mann, 1984; Shankweiler & Crain, 1986). Het lijkt erop dat dyslectici problemen hebben met de opbouw van een adequate fonologische representatie, zonder dat er echter sprake is van auditieve discriminatieproblemen of auditief sensorische geheugenproblemen (Vellutino, 1979, 1987). Luria (1966, 1973) toonde reeds aan dat bij beschadiging van het temporale gebied het foutief benoemen van voorwerpen door afasiepatiënten waarschijnlijk veroorzaakt werd door een desintegratie van fonologische representaties. Daarnaast zijn bij dyslectici problemen met de verwerking van syntactische en morfologische informatie geconstateerd (Kean, 1984; Vellutino, 1987). Het lijkt zeer aannemelijk dat de stoornissen van dyslectici zich niet beperken tot het lezen en spellen, maar dat er sprake is van een algemener taalprobleem.

Onderzoek dat verricht werd op het Instituut voor Woordblindheid (IWAL) te Amsterdam toont nog eens duidelijk aan dat dyslectici taalproblemen hebben die zich niet beperken tot lezen en spellen. De psycholinguïstische vaardigheden, visuele vormwaarnemingsvaardigheden, ordeningsvaardigheden alsmede het geheugen van 39 dyslectici in de leeftijd van 10 tot 13 jaar (gemiddeld 11;5) werden onderzocht. De vernoemde vaardigheden werden onderzocht met zowel verbale als niet-verbale taken die echter gelijk zijn in complexiteit en taakoperatie volgens het facetmodel van Guilford (1967).

Bij het onderzoek van de psycholinguïstische vaardigheden werden onder andere twee subtests van de Taaltests voor Kinderen (TvK) afgenomen. Uit de resultaten blijkt dat dyslectici normaal presteren op het onderdeel auditieve discriminatie (48,6% van de dyslectici presteert beter dan de gemiddelde leeftijdsgenoot). Gaat het echter om het auditief herkennen van woorden waaruit klanken zijn weggelaten dan presteren de dyslectici op het niveau van 7-jarigen (slechts 44,7% scoort beter dan de gemiddelde norm voor 7-jarigen). Zoals reeds eerder opgemerkt levert niet het discrimineren van klanken, maar het verwerken van informatie op fonologisch niveau problemen op voor de dyslectici. Daarnaast blijken dyslectici zwak te presteren in bepaalde semantische taken. Daarbij gaat het om de betekenis van woorden. In een van deze taken, waarbij meerdere betekenissen van een woord ontdekt moeten worden, scoorden dyslectici significant slechter dan hun niet-dyslectische leeftijdsgenoten (slechts 31,4% boven de norm).

Bij het onderzoek van de visuele vormwaarneming werd gekeken naar de vaardigheid in het evalueren van zowel figuren als symbolen (letters en letterreeksen). Waar het de evaluatie van figuren betreft presteren 77,3% van de dyslectici beter dan de gemiddelde leeftijdsgenoot, zodat uit te sluiten is dat er problemen zijn met de visuele waarneming. Betreft het echter de evaluatie van symbolen dan scoort slechts 3,4% van de dyslectici beter dan de norm.

De resultaten uit het onderzoek van de ordeningsvaardigheden laten zien dat bij een non-verbale ordeningstaak 100% van de dyslectici beter presteert dan het gemiddelde voor de leeftijd van 7 jaar, terwijl bij een verbale ordeningstaak slechts 48,6% beter presteert dan de norm voor 7 jaar.

Uit het onderzoek van het geheugen komt naar voren, dat indien het gaat om het onthouden van figuren dyslectici niet verschillen van leeftijdsgenoten (48,4% van de dyslectici scoort beter dan de norm, terwijl daarentegen dyslectici bij het onthouden van woorden significant slechter presteren dan niet-dyslectici (slechts 17,9% scoort beter dan de norm). Daarnaast werd gevonden dat de groep dyslectici zeer zwak presteerden op een taak waarbij groepjes van woorden onthouden moesten worden, die overeen-

komst hebben in klank; met andere woorden er treedt een zeer sterke interferentie op, die gebaseerd is op de verwerking van de klankstructuur van woorden. Deze voorlopige resultaten van het onderzoek ondersteunen nog eens krachtig de hypothese dat dyslectici taalproblemen hebben die zich duidelijk niet beperken tot lezen en spellen. De problemen komen naar voren bij taken waarbij taalverwerking een centrale rol speelt en niet wanneer het de orderingsvaardigheden, visuele of auditieve waarnemingsvaardigheden of het geheugen als zodanig betreft. Dyslectici ondervinden alleen problemen met deze laatste vaardigheden indien het om verbale taken gaat. Deze resultaten komen overeen met en ondersteunen op onafhankelijke wijze de bevindingen van de onderzoekers van Haskins Laboratories in de Verenigde Staten. Zij deden vergelijkbaar onderzoek en kwamen met vergelijkbare resultaten (Brady, 1986).

Conclusie

Op grond van bevindingen in de neuroanatomie en neurofysiologie is het aannemelijk dat er zowel structureel als functioneel aspecten aan het brein van dyslectici te onderscheiden zijn die verschillen van die van niet-dyslectici.

Structureel anders in de vorm van afwijkingen van de normale asymmetrie van het planum temporale en afwijkingen in de gelaagdheid van de cortex in voornamelijk hetzelfde temporale gebied. Recent is er door Geschwind en Galaburda een theorie met betrekking tot dyslexie geformuleerd, die veronderstelt dat de afwijkingen in de corticale structuur van de onderzochte dyslectische breinen het gevolg zijn van een afwijkend proces van ontwikkeling tijdens de foetale periode. Deze afwijkende ontwikkeling vindt, volgens de theorie, plaats onder invloed van het mannelijk geslachtshormoon testosteron.

Functioneel anders in de vorm van andere hersenactiviteit in dit temporale gebied en daarnaast ook een afwijkende activiteit in het prefrontale motorische gebied, met name in het supplementaire motor gebied. Interessant is nu dat uit de autopsiestudies blijkt dat anatomisch gezien dit supplementaire motor gebied bij dyslectici volkomen normaal genoemd kan worden (Galaburda, mededeling).

Een ander belangrijk aspect voor een theorie over dyslexie is dat uit de neuropsychologie genoegzaam bekend is dat zowel de gebieden in de temporaalkwab van de hersenen als het prefrontale supplementaire motor gebied betrokken zijn bij taalverwerkingsprocessen. Wat precies de functie van dit supplementaire motor gebied is bij de verwerking van taal is nog onduidelijk. Door middel van onderzoek van de hersenactiviteit van dyslectici hopen wij in de nabije toekomst meer inzicht in de functie van dit gebied te krijgen.

Het laatste belangrijke en bij het voorgaande aansluitende aspect met betrekking tot een theorie over dyslexie komt uit psycholinguïstiek onderzoek. Hieruit blijkt overtuigend dat dyslectici niet alleen problemen hebben met lezen en spellen, maar ook met andere aspecten van hun taalvaardigheden.

Op grond van neurobiologische, neuropsychologische en psycholinguïstische gegevens moet geconcludeerd worden dat dyslexie gekarakteriseerd dient te worden als een verstoring in centrale aspecten van taalverwerking. Nader psycholinguïstisch onderzoek is nodig om vast te stellen welke aspecten van taalverwerking bij dyslectici in meer of mindere mate gestoord zijn.

Verantwoording

Figuur 1 is ontleend aan Galaburda et al. (1978), figuur 2 aan Galaburda & Geschwind (1981), figuur 3 aan Hier et al. (1978), figuur 4 aan Duffy et al. (1984), figuur 5 aan Lassen et al. (1978), figuur 6 aan Geschwind (1979).

Literatuur

- Brady, S. (1986). Short term memory, phonological processing and reading ability. *Annals of Dyslexia*, 36, 138-153.
- Duffy, F., McAnulty, G.B., & Schachter, S.C. (1984). Brain electrical activity mapping. In N. Geschwind & A. Galaburda (Eds.), *Cerebral dominance: the biological foundations*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Galaburda, A.M., Sherman, G.F., & Rosen, G.D. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. (1985a). Cerebral lateralisation. Biological mechanisms, associations and pathology: 1. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. (1985b). Cerebral lateralisation. Biological mechanisms, associations and pathology: 2. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. (1985c). Cerebral lateralisation. Biological mechanisms, associations and pathology: 3. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in the temporal speech region. *Science*, 161, 186-187.
- Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Haslam, R.H.A., Dalby, J.T., Johns, R.D., & Rademaker, A.W. (1981). Cerebral asymmetry in developmental dyslexia. *Archives of Neurology*, 38, 679-682.
- Hier, D.B., LeMay, M., Rosenberger, P.B., & Perlo, V.P. (1978). Developmental dyslexia: Evidence for a subgroup with a reversal of cerebral asymmetry. *Archives of Neurology*, 35, 90-92.
- Katz, R.B. (1986). Phonological deficiencies in children with reading disability: Evidence from an object-naming task. *Cognition*, 22, 225-257.
- Kean, M.L. (1984). The question of linguistic anomaly in developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 34, 137-151.
- Lassen, N., Ingvar, D., & Skinhoj, E. (1978). Brain function and blood flow. *Scientific American*, 239, 4, 50-59.
- Lassen, N. (1985). Measurement of regional cerebral blood flow in humans with single-photon-emitting radioisotopes. In L. Sokoloff, (Ed.), *Brain imaging and brain function*. New York: Raven Press.
- Luria, A.R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- Luria, A.R. (1973). *The working brain*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Mann, V.A. (1984). Review, reading skill and language skill. *Developmental Review*, 4, 1-15.
- Metter, E.J. (1987). Review *neuroanatomy and fysiology of aphasia: Evidence from positron emission tomography*. *Aphasiology*, 1, 3-33.
- Penfield, W., & Roberts, L. (1959). *Speech and brain mechanisms*. Princeton: Princeton University Press.
- Rosenberger, P.B., & Hier, D.B. (1980). Cerebral asymmetry and verbal intellectual deficits. *Annals of Neurology*, 8, 300-304.
- Rumsey, J.M., Dorwart, R., & Vermess, M. (1986). Magnetic resonance imaging of brain anatomy in severe developmental dyslexia. *Archives of Neurology*, 43, 1045-1046.
- Shankweiler, D., & Crain, S. (1986). Language mechanisms and reading disorder: A modular approach. *Cognition*, 24, 139-168.
- Vellutino, F.R. (1979). *Dyslexia: Theory and Research*. Cambridge: MIT-Press.
- Vellutino, F.R. (1987). Dyslexia. *Scientific American*, 256, 3, 20-27.
- Wada, J.A., Clarke, R., & Hamm, A. (1975). Cerebral hemispheric asymmetry in humans: Cortical speech zones in 100 adult and 100 infant brains. *Archives of Neurology*, 32, 239-246.