

**HET TESTEN VAN DE
INTERHEMISFERISCHE TRANSFER
DEFICIT THEORIE IN DYSLEXIE AAN
DE HAND VAN EEN SYMMETRIE
DETECTIE TAAK**

Aantal woorden: 15 883

Hanne Vande Wiele

Studentennummer: 01804928

Promotor: Dr. Helena Verhelst

Medepromotoren: Prof. Dr. Guy Vingerhoets

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de klinische psychologie

Academiejaar: 2022 – 2023

Abstract

Er werden reeds verschillende theorieën naar voor geschoven die een verklaring proberen te bieden voor de lees- en spellingsproblemen die mensen met dyslexie ervaren. In deze masterproef wordt de interhemisferische transfer deficit theorie getest. Deze theorie stelt de hypothese voorop dat de lees- en spellingsmoeilijkheden bij mensen met dyslexie deels te wijten zijn aan een verstoring van de transfer van informatie tussen de twee hemisferen via het corpus callosum (Monaghan & Shillcock, 2008). Om deze theorie te testen en dus de interhemisferische transfer in kaart te brengen, wordt in deze masterproef gebruik gemaakt van het visuele half-veld paradigma. Er werden reeds verschillende onderzoeken gedaan naar de interhemisferische transfer deficit theorie, maar tot op heden zijn er nog enkele tekortkomingen in deze voorgaande onderzoeksliteratuur. De focus lag voordien bijna uitsluitend op taal en bovendien werd bijna enkel rekening gehouden met accuraatheid en niet met de reactietijd. Om aan deze tekortkomingen te proberen voldoen, werd in deze masterproef de interhemisferische transfer voor visuospatiële verwerking in kaart gebracht aan de hand van een symmetrie detectie taak.

De totale steekproef in deze studie bestond uit 90 participanten tussen 17 en 37 jaar ($M_{leeftijd} = 22.04$ jaar; $SD_{leeftijd} = 5.09$ jaar; $M_{opleidingsjaren} = 13.60$; $SD_{opleidingsjaren} = 1.94$; 56 vrouwelijke participanten; 34 mannelijke participanten), waarvan 45 participanten met dyslexie. Met behulp van de symmetrie detectie taak en enkele taaltaken konden de vooropgestelde onderzoeksvragen en hypothesen getest worden. De resultaten konden geen evidentie bieden voor de interhemisferische transfer deficit theorie.

Dankwoord

Vooraleer ik overga tot de kern van deze masterproef, wil ik met grote oprechtheid verschillende mensen bedanken. Mensen van wie ik zonder hun hulp deze masterproef niet tot een goed einde zou hebben kunnen brengen.

Als eerste wil ik heel graag mijn promotor Helena Verhelst bedanken. Ik wil haar bedanken voor de tijd, de bereidheid en de sturing doorheen de afgelopen 2 jaar waardoor ik deze masterproef op een succesvolle manier kon finaliseren. Dankzij de constructieve feedback werd ik steeds weer in de goede richting gestuurd en lukte mij het om deze masterproef stap voor stap tot een goed einde te brengen. Daarnaast wil ik ook graag Robin Gerrits, die vanaf februari insprong om Helena te vervangen, bedanken. Ik wil hem bedanken voor de bereidheid om de begeleiding van Helena over te nemen en mij verder op weg te helpen. Het is niet eenvoudig om in het midden van het traject van het schrijven van een thesis, deze rol van iemand over te nemen, maar toch is hij erin geslaagd om continue begeleiding te bieden. Bovendien bedank ik ook graag co-promotor professor Guy Vingerhoets om mij de kans te bieden om dit onderzoek te mogen uitvoeren.

Dit onderzoek zou niet gelukt zijn zonder de inzet van de vele participanten die hebben deelgenomen. Daarom bedank ik ook heel graag al deze verschillende mensen. Zonder jullie zou dit onderzoek en deze masterproef niet hebben kunnen bestaan.

Verder bedank ik ook heel graag enkele van mijn vriendinnen. Samen met deze vriendinnen, die ook medestudenten zijn, hebben we ons geëngageerd om deze laatste, belangrijke stap van de opleiding tot een goed einde te brengen. De afgelopen twee jaar kon ik op de hele grote steun van hen rekenen. Samen hebben we deze uitdagende, maar interessante opdracht getrotseerd.

Tot slot wil ik ook heel graag mijn mama bedanken. Zij was altijd bereid om mijn masterproef na te lezen en van de nodige feedback te voorzien. Maar ik wil haar vooral bedanken voor de onvoorwaardelijke steun van de afgelopen 2 jaar. Steun die, zeker op de moeilijker momenten, ervoor heeft gezorgd dat ik bleef doorzetten om deze masterproef te finaliseren.

Deerlijk, 25 mei 2023

Inhoudsopgave

Abstract.....	II
Dankwoord.....	III
Literatuurstudie	1
Wat is dyslexie?	1
Prevalentie	2
Comorbiditeit.....	3
Gevolgen van dyslexie.....	4
Etiologie van dyslexie	4
Genen	4
Omgeving	5
Genen X omgeving interactie.....	6
Theoretische modellen	7
Dyslexie en de hersenen	8
Wat is lateralisatie?	11
Hoe lateralisatie meten?	13
Lateralisatie bij dyslexie	14
Tekortkomingen vorig onderzoek.....	16
Huidige studie	18
Onderzoeksvraag 1	20
Hypothese 1	20
Hypothese 2.....	20
Hypothese 3.....	20
Hypothese 4.....	20
Hypothese 5.....	20
Hypothese 6.....	20
Onderzoeksvraag 2	20
Hypothese 7.....	20
Hypothese 8.....	20
Methode.....	20

Participanten	20
Procedure	21
Visuele half-veldtaken	21
Taaltaken	24
Data-analyse.....	27
Participanten	27
Preliminare analyse	27
Assumptiecheck	27
Manipulatiecheck	27
Hoofdanalyse	28
Onderzoeksvraag 1	28
Hypothese 1	28
Hypothese 2	28
Hypothese 3	28
Hypothese 4	28
Hypothese 5	28
Hypothese 6	28
Onderzoeksvraag 2	28
Hypothese 7	29
Hypothese 8	29
Resultaten.....	29
Participanten	29
Preliminare analyse.....	30
Descriptieve statistiek.....	30
Manipulatiecheck.....	30
Hoofdanalyse	33
Discussie	35
Onderzoeksbevindingen.....	35
Theoretische implicaties	37
Sterktes, beperkingen en aanbevelingen	39

Sterktes	39
Beperkingen	40
Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek	41
Conclusie.....	41
Referenties.....	43

Literatuurstudie

Wat is dyslexie?

Dyslexie is een specifieke leerstoornis die gesitueerd kan worden onder de overkoepelende term ‘leerstoornissen’. In de diagnostische en statistische handleiding voor geestelijke aandoeningen van de American Psychiatric Association (DSM-5; APA, 2013) staat de classificatie van psychische stoornissen. In deze handleiding zijn ook de criteria te vinden waar men dient aan te voldoen om van de diagnose van een leerstoornis te kunnen spreken.

De vier criteria uit de DSM zijn het *achterstandscriterium*, het *exclusiecriterium*, het *hardnekkigheidscriterium* en het *zichtbaarheidscriterium*. Ten eerste dienen de schoolse vaardigheden substantieel en meetbaar slechter te zijn dan gezien de kalenderleeftijd verwacht wordt en is er een uiting van de *achterstand* in schoolresultaten en werkprestaties, of op alledaagse activiteiten (Petretto & Masala, 2017). Vervolgens kunnen de leerproblemen niet verklaard worden door andere stoornissen of problematieken zoals verstandelijke beperkingen, emotionele moeilijkheden, zintuiglijke beperkingen of ongunstige condities in de omgeving (*exclusiecriterium*) (Ghesquière et al., 2011). Daarnaast dient minimum één van de symptomen opgesomd in de DSM-5 *hardnekkig* aanwezig te zijn en op zijn minst zes maanden aanwezig te blijven, ondanks interventies gericht op de moeilijkheden. De symptomen beschreven in de DSM zijn moeilijkheden met lezen (traag of met veel fouten), begrijpend lezen, spelling, zich grammaticaal uitdrukken, gevoel voor en feiten rond getallen en cijfermatig rekenen. Ten slotte worden de leerproblemen *zichtbaar* tijdens de schooljaren. Echter moeten deze niet al manifest aanwezig zijn. Het kan ook zijn dat ze pas echt zichtbaar worden op het moment dat de schoolse vaardigheden zwaarder belast worden dan het vermogen aankan. Wanneer er aan deze criteria voldaan is, kan men specificeren of er sprake is van dyslexie en/of een andere leerstoornis (Petretto & Masala, 2017).

Tot op vandaag is er nog geen algemeen erkende en internationaal aanvaarde definitie van dyslexie. In de wetenschappelijke literatuur zijn er dan ook uiteenlopende definities terug te vinden. Men kan wel met zekerheid zeggen dat dyslexie een neurologische stoornis is waarbij er moeilijkheden zijn met lezen en/of spellen (Ghesquière et al., 2011). Dyslexie kent verschillende uitingvormen naargelang de fase van het leven en de stoornis kan verschillende domeinen van het leven beïnvloeden (Frith, 2013; Schulte-Körne, 2014; Shaywitz et al., 2008). Er bestaan stoornissen die als categoriaal beschouwd kunnen worden waarbij je de stoornis ofwel hebt, ofwel niet hebt. Bij deze soort stoornissen is er vaak een discrete etiologie te vinden, zoals bijvoorbeeld een mutatie in een bepaald gen. Daarnaast zijn er stoornissen die geen categorieën representeren maar eerder op een continuüm kunnen geplaatst worden. Het continuüm loopt van

ernstige uitkomsten naar optimale uitkomsten waarbij de onderliggende causale mechanismen hetzelfde zijn over de hele distributie. Toegepast op dyslexie wordt dyslexie gezien als het lage uiterste van een normale distributie van woordleesvaardigheid (Peterson & Pennington, 2015).

Prevalentie

De inschatting van de prevalentie van dyslexie is afhankelijk van de definitie die gehanteerd wordt. Aangezien er nog geen eenduidigheid bestaat omtrent een definitie van dyslexie zijn er in de literatuur uiteenlopende cijfers te vinden. Daarnaast hangt de prevalentie af van de gebruikte criteria (ernst, hardnekkigheid, exclusie) alsook van de orthografie van een taal. De orthografie van een taal betreft hoe goed de geschreven letters overeenkomen met de klank (Richlan, 2020). Bij *transparante talen*, ook wel oppervlakkige talen genoemd, is de uitspraak consistent en is de geschatte prevalentie van dyslexie 1% tot 3%. Enkele voorbeelden van transparante talen zijn onder meer Italiaans en Spaans. Daarnaast zijn er meer *opaque talen*, ook wel diepe talen genoemd waarbij de uitspraak sterk varieert. Dit is onder andere heel duidelijk te zien in de Engelse taal en hierbij loopt de geschatte prevalentie op tot 20%. Ten slotte is er ook sprake van '*intermediate*' talen zoals bijvoorbeeld het Nederlands. Bij dit soort talen is de uitspraak niet volledig consistent (zoals bij de transparante talen), maar ook niet heel variërend (zoals bij de opaque talen). Hierbij is de geschatte prevalentie ongeveer 5% (Borleffs et al., 2019; Landerl et al., 1997; Richlan, 2020). Dit onderscheid in orthografie lijkt vooral een impact te hebben op het aantal fouten die gemaakt worden, terwijl de snelheid waarmee er gelezen wordt meer een universeel kenmerk is. Met andere woorden, mensen met dyslexie zullen allemaal trager lezen ongeacht de taal, terwijl er meer fouten zullen gemaakt worden in moeilijkere talen (Richlan, 2020). Over het algemeen schat men de prevalentie van specifieke leesstoornissen tussen 5% en 10% (Maughan & Yule, 1994; Snowling, 2000).

Opnieuw zijn er in de literatuur uiteenlopende cijfers te vinden over het voorkomen van dyslexie bij meisjes in vergelijking met jongens. In vroegere studies werd vastgesteld dat dyslexie een stuk vaker voorkwam bij jongens dan bij meisjes (3 tot 4 jongens op 1 meisje), maar later werden deze cijfers ontkracht (Shaywitz, 1990; Wadsworth et al., 1992). De cijfers uit de vroegere studies zouden een overschatting zijn door een bias in de steekproeftrekking. Jongens komen namelijk sneller in de hulpverlening terecht omwille van de comorbide externaliserende stoornissen die zij hebben zoals bijvoorbeeld aandachtstekort-hyperactiviteitstoornis (ADHD) (Willcutt & Pennington, 2000). Momenteel schat men dat dyslexie ongeveer 1,5 keer vaker voorkomt bij het mannelijk geslacht dan bij het vrouwelijk geslacht (Fletcher et al., 2007).

Comorbiditeit

Zoals hierboven vermeld, is er bij mensen met dyslexie vaak sprake van comorbiditeit met andere aandoeningen. Comorbiditeit betekent het voorkomen van minstens twee stoornissen bij eenzelfde persoon en komt vaker wel dan niet voor (Willcutt et al., 2007). Overlapcijfers tussen dyslexie en andere neuro-ontwikkelingsstoornissen kennen wereldwijd een grote variabiliteit, maar gemiddeld hebben 40% van de kinderen met dyslexie ook een andere stoornis (Moll et al., 2020). De belangrijkste stoornissen die samen voorkomen met dyslexie zijn *Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD)*, *dyscalculie*, *coördinatieontwikkelingsstoornis (Developmental Coördination Disorder (DCD))*, *specifieke taalstoornissen en internaliserende problemen*.

ADHD is de meest bestudeerde stoornis die vaak samen voorkomt met dyslexie. Afhankelijk van de definities die gebruikt worden, variëren de overlapcijfers van 25% tot 50% (Grigorenko et al., 2020). Dit wil zeggen dat ongeveer 25% tot 50% van de mensen met dyslexie ook de diagnose van *ADHD* heeft. Ten tweede zien we dat *dyscalculie* en dyslexie vaak samen voorkomen. Net zoals dyslexie is *dyscalculie* een leerstoornis, maar dan meer specifiek een rekenstoornis (DSM-5; APA, 2013). Maar liefst 30% tot 50% van de kinderen met lees- en spellingsproblemen blijken ook moeilijkheden te hebben met rekenen en omgekeerd (Grigorenko et al., 2020). Daarnaast vindt men in onderzoek dat een *coördinatieontwikkelingsstoornis* ook vaak samen voorkomt met dyslexie. Het is een stoornis waarbij er moeilijkheden ervaren worden met de grove en/of fijne motorische coördinatie. Verder ervaart men problemen met het aanleren van nieuwe motorische vaardigheden (Cousins & Smyth, 2003). De overlapcijfers variëren hierbij tussen de 10% en 50%, afhankelijk van de definitie die er gebruikt wordt voor dyslexie (Di Brina et al., 2018). Verder zien we dat dyslexie ook vaak gepaard gaat met een *specifieke taalstoornis* (Specific Language Impairment (SLI)). Bij deze stoornis zijn er problemen bij de ontwikkeling van twee aspecten van de taal: semantiek en de syntax. In vergelijking met dyslexie, waarbij de diagnose pas gesteld kan worden op lagere schoolleeftijd (wanneer men leert lezen en schrijven), kan de diagnose van een specifieke taalstoornis reeds gesteld worden op een vroege leeftijd. We zien dat het hebben van een specifieke taalstoornis op vroege leeftijd een voorspeller kan zijn voor dyslexie op latere leeftijd. In de onderzoeksliteratuur schat men dat het aantal mensen met zowel een specifieke taalstoornis als dyslexie rond de 55% ligt (Grigorenko et al., 2020). Ten slotte is er een hogere kans op het ontwikkelen van *internaliserende problemen* zoals angststoornissen en/of depressie (Grigorenko et al., 2020).

Gevolgen van dyslexie

Hiervoor zagen we reeds dat mensen met dyslexie moeilijkheden hebben met lezen en/of spellen, maar dyslexie kent nog verschillende andere gevolgen. Door de technische leesproblemen zijn er vaak ook moeilijkheden met het *begrijpend lezen*. Bij mensen met dyslexie is er een gebrek aan automatisme waardoor er voor tekstbegrip dan ook te weinig aandacht en energie overblijft. Hierdoor moet een tekst meerdere malen worden gelezen alvorens deze goed begrepen kan worden. Vooral bij studenten in het hoger onderwijs kan dit extra problemen opleveren. Zij moeten de cursus namelijk meerdere keren doornemen vooraleer zij aan de slag kunnen gaan met het ‘instuderen’ van de inhoud. Met begrijpend luisteren zijn er beduidend minder moeilijkheden. Om studenten met dyslexie dan ook extra te ondersteunen, wordt er gebruik gemaakt van voorleessoftware (Ghesquière et al., 2011). Ook zijn er moeilijkheden met het leren lezen en spellen van vreemde talen (Schneider, 2009). Het taalklanksysteem van de nieuwe taal die geleerd moet worden, verstoort namelijk de lees- en spellingskennis die verworven werd in de moedertaal. Dit is zeker het geval bij de opaque talen, die we hiervoor al zagen. Opnieuw is er bij de gesproken taal vaak een betere prestatie. Daarnaast zijn er ook nog enkele andere gevolgen die een grote impact hebben zoals de moeite met luisteren of lezen in een omgeving met veel lawaai, de moeite met het onthouden van complexe en langere instructies en ten slotte de moeite met noteren tijdens het luisteren (Braams, 1996). Opnieuw is dit laatste vooral bij studenten een belangrijke moeilijkheid waarmee rekening gehouden moet worden. Dit kan door mensen met dyslexie in de les te laten focussen op luisteren naar en begrijpen van de leerstof, terwijl medestudenten hun notities vervolgens delen zodat ze zelf niets hoeven te noteren.

Ten slotte is er een verhoogde kans dat mensen met dyslexie secundaire gedrags- en emotionele problemen ontwikkelen. Deze problemen gaan vaak gepaard met een lager sociaal-emotioneel welbevinden die het gevolg zijn van meerdere faalervaringen. Echter is het sociaal-emotioneel welbevinden sterk afhankelijk van de omgeving zoals leeftijdsgenoten, leerkrachten en ouders. Wanneer het de omgeving lukt om de basale psychologische behoeften, zoals bijvoorbeeld de behoefte aan competentiebeleving, aan sociale ondersteuning en aan autonomie te ondersteunen, is er een verbetering van het sociaal-emotioneel welbevinden. Dit wordt dan ook beschouwd als een protectieve factor voor extra gedrags- en emotionele problemen (Ghesquière et al., 2011).

Etiologie van dyslexie

Genen. Heel vaak stelt men in de praktijk vast dat dyslexie een stoornis is die voorkomt bij verschillende leden binnen eenzelfde familie. Na jaren van erfelijkheidsonderzoek kan men

dan ook concluderen dat dyslexie een hoge overervingsgraad kent. De erfelijkheidscijfers hieromtrent schommelen rond de 50% (Stevenson, 1999). Dit wil zeggen dat bij iemand met dyslexie in 50% van de gevallen te zien is dat één van de ouders ook dyslexie heeft. Om te onderzoeken wat het overervingsmechanisme is onderliggend aan de hoge overervingsgraad gaat men via genetisch onderzoek op zoek naar de genen die meespelen bij de erfelijke overdracht. Ondanks dit genetisch onderzoek zijn er nog geen éénduidige resultaten gevonden. Op chromosoom 6 en chromosoom 15 zijn er enkele genetische factoren te situeren die vooropgesteld worden (Snowling, 2000; Stevenson, 1999). We kunnen met een bepaalde zekerheid stellen dat dyslexie een poligenetische oorzaak kent, maar verder onderzoek naar de genetica van dyslexie is nodig.

Omgeving. Zoals hiervoor besproken werd, zien we dat de erfelijkheidsgraad bij dyslexie schommelt rond de 50%. Hierdoor weten we dat andere factoren zoals omgevingsfactoren een invloed hebben op de ontwikkeling van dyslexie. Ondanks het beperkte onderzoek naar deze invloed zijn er toch enkele mogelijke kandidaat-factoren die naar voor geschoven kunnen worden. Taal en ‘pre-literacy’ omgevingen die de ouders voor hun kinderen creëren zijn enkele van deze kandidaat-factoren, maar bij onderzoek rond deze factoren maakte men gebruik van correlatieve studies in plaats van genetisch sensitieve studies. Hierdoor kan het zijn dat ouders, die een genetisch risico hebben voor dyslexie, hun kinderen minder blootstellen aan taal door de gen-omgevingscorrelaties. Bijgevolg is het niet duidelijk dat omgeving een causale factor kan zijn bij hoe kinderen uiteindelijk lezen. Om deze beperking te overbruggen deed men behandelingsstudies waarbij er gebruik wordt gemaakt van willekeurige toewijzing aan de verschillende onderzoeksgroepen. Uit dit soort onderzoek blijkt dat het trainen van ouders in verschillende schrijf- en leesactiviteiten bij hen thuis de woordenschat (Lonigan & Whitehurst, 1998) en vroege leesvaardigheden (Sénéchal, 2014; Sylva et al., 2008) van jonge kinderen bevordert. Dit onderzoek loopt in de lijn met tweelingenstudies die aantonen dat individuele verschillen in woordenschat en enkele andere taalvoorlopers, doorheen de peuter- en kleuterjaren, meer beïnvloed worden door de omgeving dan door genen (Byrne et al., 2009; Hayiou-Thomas et al., 2012). Echter vond men in dit soort onderzoek ook dat er over de tijd een shift is in de etiologische invloed waarbij er op latere schoolleeftijd een grotere invloed is van de genen dan van de omgeving. Verder onderzoek is nodig om na te gaan of effecten van de thuisomgeving blijven bestaan na de eerste fasen van het leren lezen.

De effecten van het type instructies dat gegeven wordt op de ontwikkeling van lezen in alfabetische systemen werden in gerelateerd onderzoek ook reeds onderzocht aan de hand van randomized controlled trials. Er werd hierbij consistent gevonden dat fonologisch gebaseerde

instructies het meest bevorderlijk zijn voor leesvaardigheid op woordniveau in vergelijking met andere soorten instructies die woordherkenning of begrijpend luisteren benadrukken, voornamelijk bij kinderen met een verhoogd risico op leesproblemen. Bij fonologisch gebaseerde instructies wordt de expliciete kennis over letter-klankcorrespondentie benadrukt (Brown & Felton, 1990; Snowling & Hulme, 2011; Vellutino et al., 2006). Aangezien leerplannen voor lezen en schrijven variëren tussen de verschillende landen en soms zelfs ook binnen een land, kan het type instructie een invloed hebben op de kans dat een kind voldoet aan de criteria van dyslexie (Peterson & Pennington, 2015).

Genen X omgeving interactie. Hierboven zagen we dat zowel genen als omgeving een rol spelen in de ontwikkeling van dyslexie. De vraag die hierbij aansluit is hoe deze twee soorten risicofactoren samenwerken in deze ontwikkeling. Friend et al. (2008) vonden bewijs voor een gen-omgeving interactie bij dyslexie. Meer specifiek vond men dat de erfelijkheid van dyslexie toeneemt wanneer de scholingsgraad van de ouders toeneemt. Hierbij kan de suggestie gemaakt worden dat naarmate de scholingsgraad van de ouders toeneemt, de geletterdheidsomgeving van het kind gemiddeld zowel gunstiger als minder variabel is. Hierdoor spelen de genetische risicofactoren een grotere rol bij de dyslexie van een kind. In de andere richting is de geletterdheidsomgeving van het kind gemiddeld minder gunstig en meer variabel naargelang de scholingsgraad van de ouders daalt. Hierdoor spelen omgevingsfactoren een grotere rol bij de dyslexie van het kind.

Daarnaast wordt meer en meer evidentie gevonden voor de rol van transactionele processen bij de ontwikkeling van dyslexie. Bij deze processen beïnvloeden het kind en de omgeving elkaar wederzijds over de tijd. Een voorbeeld van zo'n transactioneel proces is de gen-omgevingcorrelatie. Deze transacties zijn het gevolg van kinderen die verschillende soorten reacties bij hun omgeving uitlokken (Scarr & McCartney, 1983) en tegelijk verschillende soorten omgevingen opzoeken voor zichzelf. De individuele karaktereigenschappen die een invloed hebben op deze reacties en selecties zijn uiteraard genetisch beïnvloed. Reeds voor kinderen leren lezen en schrijven, zien we bij kinderen, die een genetisch risico hebben op dyslexie en later de stoornis zullen ontwikkelen, dat ze vermijden voorgelezen te worden en dat ze minder tijd besteden aan het zelfstandig kijken naar boeken in vergelijking met hun broers of zussen die geen dyslexie ontwikkelen (Scarborough et al., 1991). Schoolgaande kinderen met dyslexie lezen beduidend veel minder woorden per jaar dan kinderen zonder dyslexie (Cunningham & Stanovich, 1998). Dit heeft dan weer een negatieve impact op de mondelinge woordenschat en leesvaardigheid (Stanovich, 1986; Torgesen, 2005).

Theoretische modellen. Zoals hierboven reeds vermeld heeft dyslexie een neurologische basis en kent dyslexie verschillende uitingsvormen. In de onderzoeksliteratuur zijn er dan ook verschillende theorieën te vinden die een verklaring kunnen bieden voor deze verschillende uitingsvormen. Geen enkele van deze theorieën geeft uitsluitend. Ze worden daarom ook best niet los van elkaar gezien, maar als een aanvulling op elkaar. Uiteraard zijn er naast de causale theorieën die hieronder beschreven worden nog verschillende andere terug te vinden in de onderzoeksliteratuur, maar voor deze masterproef zijn de belangrijkste hier geselecteerd.

Ten eerste kan in de heterogene groep van mensen met dyslexie een subgroep onderscheiden worden waarbij er problemen zijn met het verbinden van een letter met klank. De *fonologische deficiëthypothese* kan een verklaring zijn voor deze moeilijkheden en stelt dat er een beperking is in de fonologische component. Er lijkt tot op heden de grootste consensus te zijn over deze theorie. Specifiek zijn er volgens deze hypothese problemen met de toegang tot en de verwerking van de klankstructuur van de spraak (Snowling, 2000). De hypothese bij deze fonologische theorie stelt dat de moeilijkheden bij mensen met dyslexie het gevolg zijn van minder rijpe of ondergespecificeerde fonologische representaties op het sublexicale niveau van de input (o.a. Boada & Pennington, 2006; Elbro et al., 1998; Ramus, 2001; Szenkovits & Ramus, 2005). Spraakperceptie-experimenten bieden ondersteuning aan deze theorie en stellen voorop dat proefpersonen met dyslexie moeilijkheden ervaren met het extraheren van fonologische representaties uit de fonetische kenmerken van de spraak (o.a. Manis et al., 1997; Serniclaes et al., 2001; Vandermosten et al., 2011).

Naast problemen met het verbinden van een letter met een klank lijkt er een subgroep te zijn waarbij er eerder problemen zijn met het herkennen van het visuele woordbeeld. Hiervoor zou de *visuele theorie* een verklaring kunnen bieden. Volgens deze theorie zijn er bij mensen met dyslexie problemen met visueel coderen (Vidyasagar & Pammer, 2010). Meer specifiek lijken de aandachtsmechanismen, die ondersteund worden door de dorsale visuele stroom, onvoldoende te functioneren. Deze aandachtsmechanismen helpen bij het serieel scannen van letters en door dit onvoldoende functioneren ontstaan er leesproblemen.

Zoals in de verschillende theorieën beschreven staat, zien we dat er bij mensen met dyslexie verschillende zaken anders verlopen in de hersenen in vergelijking met mensen zonder dyslexie. In de onderzoeksliteratuur zijn er dan ook enkele bevindingen gedaan rond structurele en functionele verschillen in de hersenen bij mensen met en zonder dyslexie. *Structurele verschillen* gaan over de anatomie van de hersenen en dus over hoe de hersenen er bij mensen met dyslexie anders uit zien. *Functionele verschillen* gaan over het functioneren van de hersenen en hoe de hersenen bij mensen met dyslexie anders werken. In het stuk dat hieronder volgt, wordt

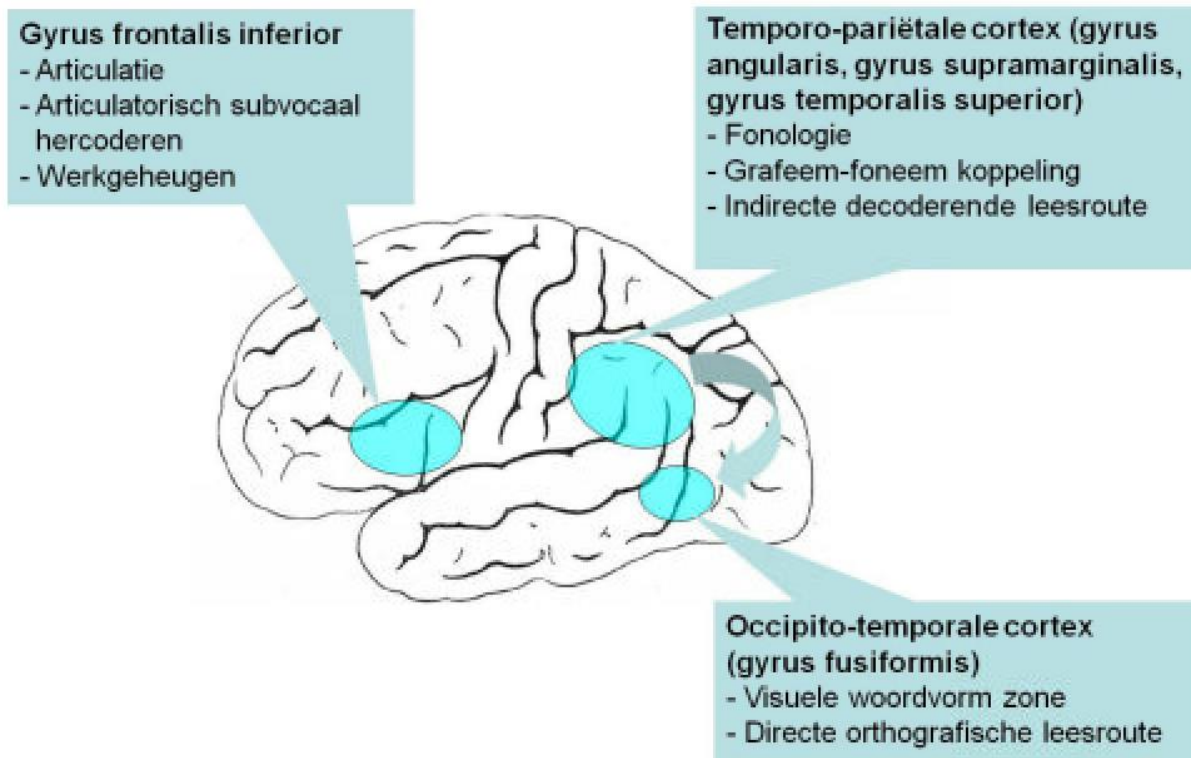
beschreven hoe de hersenen een rol spelen bij lezen en hoe dit anders verloopt tussen mensen met en zonder dyslexie.

Dyslexie en de hersenen

Bij taal en lezen is de integratie van informatieverwerking over verschillende hersenregio's, zowel binnen als tussen de twee hersenhelften of hemisferen, noodzakelijk (Bradshaw et al., 2020). Hersenbeeldvormingsonderzoek toont aan dat er bij lezen gebruik wordt gemaakt van een linkerhemisferisch netwerk, bestaande uit frontale, temporo-pariëtale en occipito-temporale hersenregio's. Deze gebieden staan in voor het in kaart brengen van visuele (orthografische) informatie op auditieve (fonologische) en conceptuele (semantische) representaties, met andere woorden woordherkenning (o.a. Fiez & Petersen, 1998; McCandliss & Noble, 2003; Pugh et al., 2001; Turkeltaub et al., 2002). Er blijken twee verschillende neurale routes een rol te spelen bij lezen: een *dorsaal fonologisch systeem* en een *ventraal orthografisch systeem* (Schlaggar & McCandliss, 2007). Het dorsaal fonologisch systeem bevindt zich in de linker temporo-pariëtale cortex (zie figuur 1 (Ghesquière et al., 2011, p. 51)) en omvat de achterste superieure temporale gyrus, de angulaire gyrus en de supramarginale gyrus. Van deze verbinding werd aangetoond dat hij een rol speelt bij fonologische verwerking en bij het in kaart brengen van rijm en foneem. Ze wordt dan ook geassocieerd met de indirecte route, ook wel de decoderende strategie genoemd, bij het lezen (Jobard et al., 2003; Simos et al., 2002a). Het ventraal orthografisch systeem speelt een belangrijke rol bij woordherkenning en is gelegen in het linker occipito-temporale extrastriate visueel systeem in de buurt van de gyrus fusiformis. Deze zone krijgt in de literatuur ook wel eens de naam 'visuele woordvorm zone' (Cohen et al., 2000; Dehaene et al., 2002; Dehaene et al., 2005) en wordt typisch geassocieerd met het automatisch herkennen van visuele woordvormen en leesvloeiendheid (McCandliss & Noble, 2003). Het gezamenlijk activeren van deze zone met verschillende semantische zones lijkt betrokken te zijn met de rechtstreekse koppeling van woordbeelden aan betekenis. Dit wordt ook wel de directe route, of herkende strategie, genoemd (Jobard et al., 2003). Door middel van diffusion tensor imaging (DTI) vond men daarnaast ook enkele belangrijke hersenbanen die de verschillende betrokken hersengebieden met elkaar verbinden en dus van belang zijn bij lezen. De linker arcuate fasciculus en de superior longitudinale fasciculus verbinden de frontale en temporale taalgebieden. Verder zijn er ook nog de inferieur longitudinale fasciculus en de corona radiata die respectievelijk de occipitale met de temporale kwabben en de cortex met de subcorticale structuren verbinden (Vandermosten et al., 2012).

Figuur 1

Betrokken hersengebieden bij lezen



Noot. Overgenomen uit “Dyslexie: een beknopt wetenschappelijk overzicht”, door Ghesquière et al., 2011, *Jongvolwassenen met dyslexie. Diagnostiek en begeleiding in wetenschap en praktijk*, p. 51

We zien dus dat er bij lezen een wijdverspreid netwerk van verschillende hersenregio's wordt aangesproken, voornamelijk in de linker hemisfeer. Echter wijst onderzoek uit dat er neurobiologische verschillen zijn tussen mensen met en zonder dyslexie. Zoals hierboven vermeld, wordt er een onderscheid gemaakt tussen functionele en structurele verschillen.

Eerst en vooral is het belangrijk om aan te geven dat er niet altijd even veel zekerheid is of de functionele en structurele verschillen die gevonden worden in de verschillende studies de oorzaak of het gevolg zijn van de leesstrategie of leesproblemen van mensen met dyslexie (Dowker, 2006). Aan de hand van interventieonderzoek ziet men dan ook dat een intensieve training bij kinderen met dyslexie zowel leidt tot het bevorderen van het lezen en de fonologie, als tot een hersenprofiel dat meer lijkt op dat bij normale lezers (Simos et al., 2002b; Temple et al., 2003). Hierdoor kunnen we dus zeker suggereren dat het functioneren van de hersenen even goed de oorzaak als het gevolg kan zijn van de leesvaardigheid (Ghesquière et al., 2011).

Uit *functionele beeldvormingsstudies* blijkt dat mensen met dyslexie het typisch activatiepatroon, zoals hierboven beschreven staat, niet hebben. Er werd consequent aangetoond dat er bij mensen met dyslexie abnormale activaties zijn van het linker hemisferisch taalnetwerk (Démonet et al., 2004; Richlan et al., 2009). Het posterieure systeem, bestaande uit de temporo-pariëtale en occipito-temporale gebieden, wordt minder geactiveerd bij fonologische verwerking en lezen (zie de reviews door Brunswick et al., 1999 voor het occipito-pariëtale deficit; zie de reviews door Eden & Zeffiro, 1998; Shaywitz, 1998; Shaywitz et al., 2000 voor het temporo-pariëtale deficit). Zoals we hiervoor reeds zagen, staan de temporo-pariëtale gebieden in voor de grafeem-foneemkoppeling en fonologische verwerking. Afwijkingen in deze gebieden blijken het primaire probleem te zijn bij dyslexie. Secundair zouden deze afwijkingen negatief interfereren met de geleidelijke specialisatie van de visuele woordvorm zone die te situeren is in de occipito-temporale cortex (McCandliss & Noble, 2003; Pugh et al., 2001; Simos et al., 2002a) met als gevolg een beperkte automatisatie van het lezen. Daarnaast schuift men in verschillende reviews naar voor dat er zowel in de linker als in de rechterhemisfeer een overactivatie is ter hoogte van de inferieure frontale gyrus (Brunswick et al., 1999; Pugh et al., 2000). Dit zou als een compensatiemechanisme dienen voor de disfuncties van de linker posterieure gebieden die instaan voor lezen. Echter, in een meta-analyse van Richlan et al. (2009) twijfelde men over dit compensatiemechanisme en vond men geen overactivatie in de posterieure zones, alsook vond men een over- en onderactivatie van de linker frontale zones bij mensen met dyslexie in vergelijking met mensen zonder dyslexie.

Aan de hand van *structurele beeldvormingsstudies* toonde men aan dat het volume van de grijze stof in verschillende hersengebieden bij mensen met dyslexie opvallend kleiner was dan bij mensen zonder dyslexie. In eerder onderzoek vond men dat dit het geval was in de linker occipito-temporale en tempo-pariëtale gebieden (Brambati et al., 2004; Brown et al., 2001; Eckert et al., 2005; Hoeft et al., 2007; Kronbichler et al., 2008; Pernet et al., 2009; Silani et al., 2005), de bilaterale fusiforme (Kronbichler et al., 2008) en linguale gyrus (Eckert et al., 2005) en het cerebellum of de kleine hersenen (Brambati et al., 2004; Brown et al., 2001; Eckert et al., 2005). De grijze stof is dat deel van het centrale zenuwstelsel dat bestaat uit de cellichamen van de zenuwcellen, hun dendrieten en de lokale vertakkingen van axonen en de verwerking van informatie als functie heeft (Zhang & Sejnowski, 2000). Ook is er aan de hand van DTI een verschil in de organisatie van de witte stof gevonden. Deze blijkt zwakker te zijn in linker posterieure hersenregio's bij mensen met dyslexie (Klingberg et al., 2000; Silani et al., 2005; Steinbrink et al., 2008). De witte stof bestaat uit bundels van axonen en zorgt voor de verbinding van de verschillende hersengebieden (Zhang & Sejnowski, 2000). Zoals hierboven gezegd, is

men niet altijd zeker of de neurologische verschillen tussen mensen met dyslexie en zonder dyslexie de oorzaak of het gevolg zijn van de dyslexie. Echter, in de studie van Raschle et al. (2011) vond men bij kinderen die nog niet kunnen lezen en waarbij er dyslexie aanwezig is in de familiegeschiedenis dat deze eerder beschreven verschillen in grijze stof ook al te zien zijn. Verschillen in socio-economische achtergrond of vroege leeservaringen konden hierbij geen verklaring bieden. Hierdoor kan men suggereren dat deze structurele verschillen reeds aanwezig zijn bij de geboorte of een ontwikkeling kennen in de vroege kindertijd.

Naast het activeren van de verschillende hersenregio's bij het lezen, is het ook belangrijk dat er een adequate communicatie of connectiviteit is tussen deze regio's. In dit opzicht stelt men de hypothese dat er een disfunctie is in de corticale connectiviteit bij mensen met dyslexie. Er werd evidentie gevonden voor een disconnectie tussen de linker temporo-pariëtale en occipito-temporale hersenregio's (Ghesquière et al., 2011). Specifiek vond men in verschillende studies dat bij mensen met dyslexie de functionele activatie van de gyrus angularis niet de activatie van het occipito-temporale orthografische systeem tot gevolg had in vergelijking met mensen zonder dyslexie (Horwitz et al., 1998; Pugh et al., 2000; Simos et al., 2000).

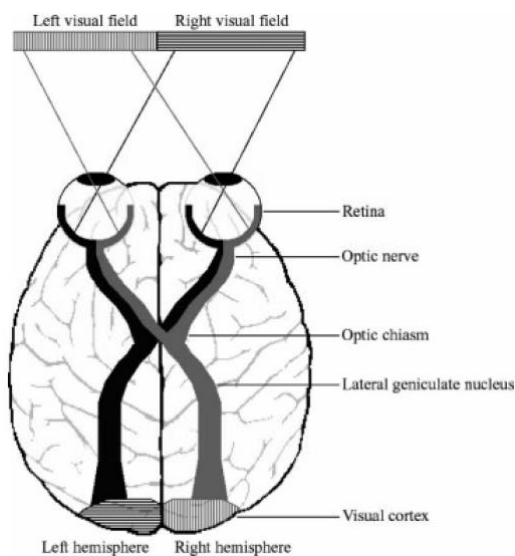
Wat is lateralisatie?

Zoals we hierboven reeds zagen, vindt lezen plaats in verschillende hersendelen, voornamelijk in de linker hemisfeer. Dit is wat we *lateralisatie* noemen: elk van onze twee hemisferen is gespecialiseerd in bepaalde cognitieve en gedragsmatige functies (Gazzaniga, 1995). Op populatieniveau is er dus sprake van hemisferische specialisatie, waarbij taal (en dus niet alleen lezen), praxie en rekenen meer op de linker dan op de rechterhersenhelft berusten. Voor gezichtsherkenning, intonatie van spraak en spatiale aandacht is de rechterhemisfeer voor de meeste mensen dominant (Vingerhoets, 2019). 'Op populatieniveau' verwijst naar het feit dat dit bij de grote meerderheid van de mensen zo is. Dit is ook te zien bij taal: bij 90% van de algemene populatie is taal gelateraliseerd in de linker hemisfeer (Knecht et al., 2000a; Knecht et al., 2000b; Mazoyer, 2014). Aangezien bijna iedereen deze organisatie van de hersenen heeft, kunnen we veronderstellen dat dit waarschijnlijk evolutionair enkele voordelen met zich meedraagt. Ten eerste lijkt het brein beter te zijn in het uitvoeren van meerdere taken tegelijk (Vallortigara et al., 2011). Vervolgens wordt een onnodige duplicatie van functies vermeden en hierdoor is er een verhoogde neurale capaciteit (Denenberg, 1981; Vallortigara et al., 2011). Daarnaast is er minder interhemisferische communicatie nodig (via het corpus callosum) waardoor de verwerking van informatie sneller gebeurt (Ringo et al., 1994). Ten slotte wordt het ontstaan van twee onverenigbare reacties in de twee hersenhelften vermeden (Bisazza et al., 1998; Cantalupo et al., 1995).

Welke consequenties heeft deze lateralisatie van taal in de linkerhemisfeer nu specifiek voor lezen? Wel, tijdens het lezen komt visuele input binnen in het linker en rechter visuele veld. Sensorische input, en dus ook visuele input, wordt daarna contralateraal geprojecteerd in de hersenen. Dit betekent dat orthografische informatie die zich in het linker visuele veld bevindt namelijk initieel wordt geprojecteerd naar de rechterhemisfeer en omgekeerd wordt orthografische informatie uit het rechter visuele veld geprojecteerd naar de linkerhemisfeer (Jeffery, 2001) (zie figuur 2 (Bourne, 2006, p. 374)).

Figuur 2

Contralaterale projectie



Noot. Overgenomen uit “The divided visual field paradigm: Methodological considerations”, door Bourne, 2006, *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 11(4), p. 374

Bijgevolg moet visuele informatie die in de rechterhemisfeer binnenkomt eerst nog doorgestuurd worden naar de linker hemisfeer voor die talig kan verwerkt worden, aangezien deze instaat voor taal. Om dat te kunnen doen, is er een nood aan interhemisferische transfer en dit verloopt via het corpus callosum, ook wel de hersenbalk genoemd. Het *corpus callosum* is een belangrijke structuur die de twee grote hersenhelften met elkaar verbindt (Bradshaw et al., 2020). Deze structuur wordt verondersteld de sleutelcomponent te zijn in de totstandkoming van de interhemisferische transfer (van der Knaap & van der Ham, 2011). Verder in het proces van lezen vindt er een integratie plaats van de orthografische informatie uit de beide visuele velden opdat er woordherkenning zou zijn.

Hoe lateralisatie meten?

Om lateralisatie, en meer specifiek lateralisatie van taal, te meten bestaan er verschillende methodes of technieken die van elkaar verschillen op vlak van toepassing/gebruik en accuraatheid (Bethmann, 2007). Enkele van deze methodes zijn bijvoorbeeld de dichotische luistertaak (Bethmann, 2007), de Wada test (Wada & Rasmussen, 1960) of hersenbeeldvorming. In verschillende studies onderzocht en vond men bijvoorbeeld dat functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) een goede, non-invasieve methode is om lateralisatie te meten. Bij fMRI liggen mensen in de scanner en terwijl ze in de scanner liggen, doen ze een taak. Vervolgens meet men het verschil van activatie tussen de twee hemisferen (Binder et al., 1996; Dym et al., 2011; Sabbah et al., 2003).

Naast deze bovenstaande technieken is de visuele half-veld methode een goede, non-invasieve manier om lateralisatie te meten. Deze methode brengt enkele voordelen met zich mee: het is een relatief eenvoudige techniek en het is bovendien een kostefficiënte manier om lateralisatie te meten (Gerrits et al., 2020). Meer specifiek wil men met de visuele half-veld taken de interhemisferische transfer in kaart brengen. Bij deze taken wordt van de participanten verwacht dat ze woorden rapporteren die kort getoond worden in het linker of rechter visuele half-veld (Bradshaw et al., 2020; Henderson et al., 2007). Typisch, worden woorden die in het rechter visueel veld worden getoond zowel sneller als accurater gerapporteerd in vergelijking met woorden die in het linker visueel veld worden getoond (Hellige, 1993). Dit verschil kunnen we verklaren door hetgeen we hierboven reeds zagen: wanneer een woord gepresenteerd wordt aan het linker visuele veld, wordt het eerst naar de rechterhemisfeer geprojecteerd, maar moet het daarna nog naar de linker hemisfeer worden doorgegeven, via het corpus callosum, opdat het daar verwerkt wordt door de links gelateraliseerde taalgebieden. Door deze overdracht, daalt de efficiëntie van de verwerking (Zaidel et al., 1990). Er zijn reeds veel verschillende studies die dit 'rechter visueel veld voordeel' vonden. In een studie van Willemin et al. (2016) maakten ze gebruik van een gelateraliseerde lexicale beslissingstaak waarvoor er 4-6 letterwoorden geselecteerd werden die gebruikt worden in het Frans, Duits, Italiaans (drie talen van Zwitserland), Engels en Nederlands. Hierbij werd er rekening gehouden met een mogelijke moderende rol van geslacht, links- of rechtshandigheid en meertaligheid. Men vond een rechter visueel veld voordeel bij alle participanten, ongeacht het geslacht, links- of rechtshandigheid en meertaligheid. Deze studie bevestigt met andere woorden de stabiliteit van het rechter visueel veld voordeel bij de grote meerderheid van de mensen. Een andere studie waarin het rechter visueel veld voordeel gevonden werd is de studie van Van der Cruyssen et al. (2020) waarin visuele woordverwerking werd onderzocht aan de hand van een visuele half-veld taak. Ook deze

studie bevestigt dat woorden die in het rechter visueel veld gepresenteerd worden sneller en meer accuraat gerapporteerd worden dan wanneer ze in het linker visueel veld gepresenteerd worden. Men vond zelfs dat er een groter rechter visueel veld voordeel was bij oudere mensen dan bij jongere mensen.

Daarnaast werd nog een ander effect gevonden in visuele half-veld taken waarbij men zag dat het gelijktijdig aanbieden van identieke woorden aan zowel het linker als het rechter visuele half-veld leidt tot een significante verbetering van het verwerken van het woord, in vergelijking met enkel het aanbieden van het woord in het rechter visuele veld (Hellige, 1993). Dit effect is wat we het *redundant bilateraal voordeel* (“redundant bilateral advantage” – RBA) noemen en dit wordt niet gevonden wanneer het over pseudowoorden gaat (Mohr et al., 1996). In de studie van Henderson et al. (2007) bijvoorbeeld vond men dat de proefpersonen zonder dyslexie dit voordeel ondervonden door het aanbieden van twee identieke woorden in het rechter en linker visueel veld. Echter, dit redundant bilateraal voordeel wordt niet in iedere studie teruggevonden, zoals bijvoorbeeld in de studies van Lindell et al. (2003) en Lindell et al. (2005). Er werden verschillende verklaringen gezocht en voorgesteld voor dit effect. Sommigen geven aan dat interhemisferische overdracht niet nodig is om dit effect te verkrijgen (Miller, 1982), terwijl anderen dan weer zeggen dat dit effect toe te schrijven is aan coöperatieve interacties tussen de beide hemisferen (Mohr et al., 2007). In een studie van Mohr et al. (1994) vond men bij een patiënt met gespleten hersenen (waarbij de beide hemisferen niet meer verbonden zijn met elkaar via het corpus callosum en er dus geen interhemisferische communicatie is) dat dit effect niet aanwezig was, wat suggereert dat het redundant bilateraal voordeel afhankelijk is van een intact corpus callosum en van interhemisferische communicatie.

Lateralisatie bij dyslexie

Aan de hand van verschillende studies waarbij diverse technieken gebruikt werden, blijkt dat lateralisatie van taal in de linkerhemisfeer bij mensen met dyslexie minder uitgesproken is dan bij mensen zonder dyslexie. In een studie van Illingworth et al. (2009) onderzocht men cerebrale lateralisatie van taal bij mensen met dyslexie aan de hand van een woordgeneratie taak met functionele transcraniële Doppler ultrasound (fTCD). In deze studie vond men dat de groep van mensen met dyslexie een significant verminderde linker lateralisatie vertoonde op de woordgeneratie taak in vergelijking met de groep zonder dyslexie. Ook in een studie van Xu et al. (2015) stelde men dit atypisch lateralisatie patroon bij kinderen met dyslexie vast. In vergelijking met de kinderen zonder dyslexie was er bij de groep van kinderen met dyslexie geen dominante linker hemisferische activatie tijdens een fonologisch werkgeheugen taak. In een studie van Backes et al. (2002) werd dan weer gebruik gemaakt van fMRI waarbij de kinderen

taken uitvoerden die verschilden op vlak van visuospatiële, orthografische, fonologische en semantische verwerkingseisen. Bij de orthografische verwerking was er bij de kinderen met dyslexie voornamelijk activatie in de rechter prefrontale cortex, die ook actief is bij de visuospatiële taak. De resultaten van deze studie toonden aan dat de kinderen met dyslexie er niet in slagen om de hersengebieden te gebruiken die instaan voor taalprocessen. Deze studie toonde aan dat er eerder gebruik wordt gemaakt van de gebieden die instaan voor visuospatiële verwerking. Daarnaast zijn er ook structurele studies naar verminderde lateralisatie bij mensen met dyslexie. In de studie van Vanderauwera et al. (2016) onderzocht en vond men dat de mensen met een familiegeschiedenis van dyslexie een veranderde asymmetrie van het planum temporale hebben, in vergelijking bij mensen zonder dyslexie waarbij er een grotere asymmetrie naar links van het planum temporale is.

Verschillende verklaringen voor deze verminderde lateralisatie bij mensen met dyslexie worden naar voor geschoven. Een mogelijke verklaring is dat de regio's in de linker hemisfeer zich atypisch ontwikkelen bij mensen met dyslexie en dat vervolgens de homologe gebieden in de rechterhemisfeer worden aangesproken ter compensatie (Xu et al., 2015). Een andere verklaring die naar voor geschoven wordt, is het falen van het onderdrukken van de rechterhemisfeer bij het bewerkstelligen van de juiste dominantie voor lezen (Xu et al., 2015). Deze inhibitie van de tegengestelde hemisfeer blijkt belangrijk te zijn in de ontwikkeling van gelateraliseerde functies (Bloom & Hynd, 2005; Selnes, 2000). Een andere mogelijke verklaring hiervoor en meteen ook de hypothese die in deze masterproef onderzocht wordt, is dat er een tekort is in de interhemisferische transfer, ook wel de *interhemisferische transfer deficit theorie* genoemd (Bradshaw et al., 2020; Henderson et al., 2007). Zoals uit de naam van de theorie en uit hetgeen we hiervoor reeds zagen, is af te leiden, stelt deze theorie de hypothese voorop dat de lees- en spellingsmoeilijkheden bij mensen met dyslexie deels te wijten zijn aan een verstoring van de transfer van informatie tussen de twee hemisferen via het corpus callosum (Monaghan & Shillcock, 2008).

Hierboven zagen we dat er aan de hand van visuele half-veld taken twee effecten gevonden werden. Ten eerste vond men dat woorden die in het rechter visuele veld gepresenteerd worden sneller en accurater gerapporteerd worden in vergelijking met woorden die in het linker visueel veld gepresenteerd worden (Hellige, 1993). Ten tweede vond men het effect van het redundant bilateraal voordeel waarbij het gelijktijdig aanbieden van identieke woorden aan zowel het linker als het rechter visuele half-veld leidt tot een significante verbetering van het verwerken van het woord, in vergelijking met enkel het aanbieden van het woord in het rechter visuele veld (Hellige, 1993). Maar worden deze effecten ook gevonden bij mensen met dyslexie?

Wat betreft het eerste effect vond men in de studie van Henderson et al. (2007) dat zowel mensen zonder dyslexie als mensen met dyslexie een significant betere prestatie leverden wanneer een woord werd gepresenteerd in het rechter visuele veld in vergelijking met de presentatie van een woord in het linker visuele veld. Wat betreft het redundant bilateraal voordeel toonde de studie van Henderson et al. (2007) aan dat mensen met dyslexie dit voordeel niet ondervonden en ze dus niet beter presteerden wanneer twee identieke woorden worden aangeboden in het rechter en linker visuele veld dan wanneer er enkel woorden gepresenteerd werden in het rechter visuele veld. De hypothese die hierbij gemaakt wordt, is dat het identificeren van geschreven woorden vereist dat ze verwerkt worden in de visuele woordvorm zone in de linker mid fusiforme gyrus (Cohen et al., 2000; McCandliss & Noble, 2003). Woorden die in het rechter visuele veld verschijnen worden meteen geprojecteerd naar de linker hemisfeer en komen dus direct in de visuele woordvorm zone. De woorden die in het linker visuele veld verschijnen daarentegen komen eerst terecht in de rechterhemisfeer en moeten vervolgens overgebracht worden naar de visuele woordvorm zone in de linkerhemisfeer. Het aanbieden van het woord in het linker visuele veld zal enkel maar tot een voordeel leiden wanneer het op tijd in de linker hemisfeer terecht komt om het woord dat in het rechter visuele veld gepresenteerd werd te versterken. De hypothese hierbij is dat deze callosale transfer efficiënt verloopt bij de mensen zonder dyslexie en dit dus leidt tot het redundant bilateraal voordeel, in tegenstelling tot bij mensen met dyslexie waarbij de input van het linker visuele veld niet op tijd op de juiste plaats geraakt opdat het redundant bilateraal voordeel optreedt.

Tekortkomingen vorig onderzoek

Er werd reeds veel onderzoek gedaan naar dyslexie en de interhemisferische transfer bij mensen met dyslexie, maar toch zijn er nog enkele tekortkomingen en gaten in deze wetenschappelijke literatuur.

Ten eerste werd er tot nu toe bijna enkel gekeken naar taal in de studies die het visuele half-veld paradigma hanteren, maar als er bij mensen met dyslexie een deficit is in de interhemisferische transfer, dan zijn er mogelijk nog andere gelateraliseerde functies die verstoord zijn als gevolg van een verstoorde interhemisferische transfer, zoals visuospatiële verwerking bijvoorbeeld (Bradshaw et al., 2020). Typisch vindt visuospatiële verwerking plaats in de rechterhemisfeer, met andere woorden is er een lateralisatie in de rechterhersenhelft (Gotts et al., 2013). Verschillende studies bevestigen deze visuospatiële specialisatie van de rechterhemisfeer, waaronder de studie van Verma et al. (2013). Deze studie bestond uit drie onderdelen waarbij er in het eerste onderdeel gekeken werd of de visuospatiële specialisatie ook geldt voor een symmetrie detectie taak bij fixatie. Hierbij namen twintig rechtshandige

participanten deel met een specialisatie van taal in de linker hemisfeer. De studie bestond uit een visueel half-veld experiment waarin de participanten gevraagd werden de symmetrie van tweedimensionale figuren, die gevormd zijn door rechthoeken op een symmetrische of asymmetrische manier samen te voegen, te beoordelen. In dit experiment vond men een linker visueel veld voordeel voor de symmetrische figuren, wat de visuospatiële specialisatie van de rechterhemisfeer bevestigt. Het tweede onderdeel bestond uit een replicatie van de eerste studie, maar met het verschil dat de participanten linkshandig waren met een specialisatie van taal in de linker hemisfeer. Ook in deze studie vond men een linker visueel veld voordeel. In het derde en laatste onderdeel namen participanten deel waarbij er een specialisatie is van taal in de rechterhemisfeer. Hierbij toonden de resultaten aan dat ongeveer de helft van de participanten een omgekeerd patroon vertoonden waarbij er een rechter visueel veld voordeel is voor symmetrische figuren, terwijl er bij de andere helft een linker visueel veld voordeel werd gevonden. Al deze bevindingen tonen aan dat symmetrie detectie, wat een visuospatiële vaardigheid is, bij de meerderheid van de mensen gelateraliseerd is in de rechterhemisfeer.

Er zijn studies die wel al gekeken hebben naar de lateralisatie van visuospatiële verwerking. Een voorbeeld daarvan is de studie van Daini et al. (2018) waarbij er onderzoek gedaan werd naar interhemisferische transfer en hemisferische lateralisatie aan de hand van vier verschillende taakjes bij kinderen met en zonder dyslexie. De eerste taak was de tactiele transfer test waarbij het kind zijn of haar handen op tafel legt, met de handpalm naar boven gericht en met gespreide vingers. Vervolgens gebruikt de onderzoeker een potlood om de vingers één voor één te stimuleren. Na de stimulatie werd aan het kind gevraagd om de gestimuleerde vinger en het gerelateerd gebied met de ipsilaterale (niet-gekruste conditie) of contralaterale (gekruste conditie) hand aan te duiden door het gebied aan te raken met de duim van dezelfde hand. Bij deze test maakten kinderen met dyslexie meer fouten, voornamelijk bij de gekruiste conditie waarbij er een hemisferische transfer is. De tweede taak was het Poffenberger paradigma waarbij de kinderen met hun wijsvinger moesten reageren op eenvoudige visuele stimuli die in het linker visueel veld of het rechter visueel veld werden gepresenteerd. Men vond dat de kinderen met dyslexie trager en minder accuraat reageerden bij deze test. De volgende taak was de oriëntatie beoordelingstaak en daarbij vond men dat de spiegel stimuli bij kinderen met dyslexie met een opvallende moeilijkheid worden verwerkt in de conditie waarin de stimuli in het rechter visueel veld worden gepresenteerd. De laatste taak was de schrijf- en tekentaak waarbij er werd vastgesteld dat kinderen met dyslexie meer vatbaar waren om letters en cijfers in spiegelbeeld te schrijven in vergelijking met de kinderen zonder dyslexie, voornamelijk wanneer ze met hun linkerhand schreven. In deze studie zien we dus een grotere rechter visueel veld kost voor niet-

verbale beeldstimuli bij kinderen met dyslexie waardoor de veronderstelling kan gemaakt worden dat een verstoring in de callosale overdracht niet alleen bij taal geldt, maar ook bij andere domeinen.

Als tweede tekortkoming zien we dat er in de in de literatuur vaak enkel gekeken wordt naar accuraatheid en niet naar reactiesnelheid. Het in kaart brengen van reactiesnelheid heeft nochtans een grote meerwaarde in dit soort onderzoek aangezien men de suggestie zou kunnen maken dat effecten van een deficit in callosale overdracht het duidelijkst zichtbaar worden in een tragere reactiesnelheid (Bradshaw et al., 2020).

Huidige studie

Zoals hierboven reeds vermeld wordt er in deze masterproef onderzoek gedaan naar de hypothese dat er bij mensen met dyslexie een tekort is in de interhemisferische transfer, ook wel de interhemisferische transfer deficit theorie genoemd. De hypothese die hierbij gemaakt wordt, is dat de lees- en spellingsmoeilijkheden bij mensen met dyslexie deels te wijten zijn aan een verstoring van de transfer van informatie tussen de twee hemisferen via het corpus callosum (Monaghan & Shillcock, 2008). Om deze hypothese te testen, wordt er in deze studie gebruik gemaakt van het visuele half-veld paradigma, meer specifiek een symmetrie detectie taak, waarbij de interhemisferische transfer bij visuospatiële verwerking in kaart wordt gebracht. De symmetrie detectie taak die in deze masterproef wordt gebruikt, is gebaseerd op een studie van Verma et al. (2013) en is in staat om het linker visueel veld voordeel dat we hierboven al zagen, aan te tonen. Aangezien men weet dat visuele informatie wordt verwerkt door de hemisfeer contralateraal aan het visuele half-veld, kunnen we de hypothese maken dat de prestaties op visuospatiële taken beter zullen zijn wanneer de stimuli gepresenteerd worden in het linker visueel veld. Hier zouden we dus kunnen spreken over een linker visueel veld voordeel dat de extra kosten weerspiegelt om informatie over te brengen naar de rechterhemisfeer wanneer de stimuli gepresenteerd worden in het rechter visueel veld. We zagen hiervoor ook al dat er een redundant bilateraal voordeel is wanneer woordstimuli in beide visuele half-velden worden gepresenteerd in vergelijking met enkel het aanbieden van het woord in het rechter visueel veld. Een mogelijke verklaring hiervoor was dat informatie uit het linker visueel veld de linker hemisfeer bereikt terwijl de informatie uit het rechter visueel veld nog verwerkt wordt waardoor er een bevordering is van de taakprestatie. Analoog aan dit redundant bilateraal voordeel bij woordstimuli, kunnen we verwachten dat er ook een redundant bilateraal voordeel is wanneer visuospatiële stimuli gepresenteerd worden in beide visuele half-velden. Op basis van deze premissen worden er in deze masterproef twee zaken getest. Ten eerste wordt er getest of er bij volwassenen met dyslexie een groter verschil is tussen het linker en rechter visueel veld in

vergelijking met controle proefpersonen. Ten tweede wordt er getest of er bij volwassenen met dyslexie een verminderd verschil is in nauwkeurigheid tussen stimuli die in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en stimuli die simultaan in beide visuele helften worden gepresenteerd. Uit onderzoek werd duidelijk dat er best wat individuele variabiliteit bestaat in de lateralisatie van hersenfuncties, inclusief in die van de visuospatiële processen (Vingerhoets, 2019). In deze masterproef wordt er dan ook voor gekozen om voor elke participant na te gaan wat het beste visueel veld is in plaats van uit te gaan van de veronderstelling dat bij iedereen het linker visueel veld het beste veld is. Met andere woorden, er wordt een vergelijking gemaakt tussen het bilateraal aanbieden van de stimuli en het aanbieden in het beste visueel veld. Als tegemoetkoming aan het hiaat dat er in voorgaande literatuur bijna enkel naar accuraatheid wordt gekeken, wordt er in deze studie voor gekozen om zowel accuraatheid als reactiesnelheid in kaart te brengen, waarbij accuraatheid wordt uitgedrukt in error rate.

Naast de symmetrie detectie taak worden in deze studie verschillende taaltaken afgenomen. Deze taken worden omwille van twee redenen afgenomen. Ten eerste vormen de taaltaken een bevestiging dat de participanten uit de dyslexiegroep effectief dyslexie hebben. Uit onderzoek van Tops et al. (2012) blijkt dan ook dat het volstaat om slechts drie taaltaken af te nemen die drie cognitieve domeinen in kaart brengen om dyslexie te kunnen diagnosticeren. Deze drie cognitieve domeinen zijn woordlezen, woordspelling en fonologisch bewustzijn. Op basis van dit onderzoek werd er in deze masterproef gekozen om woordlezen in kaart te brengen aan de hand van de Leestest 1-minuut studenten (LEMs) (Tops et al., 2019) en de Klepel (van den Bos et al., 1999) voor pseudowoordlezen. Daarnaast werd er gekozen om woordspelling in kaart te brengen aan de hand van de subtest 'Woordspelling' uit de Test voor Gevorderd Lezen en Schrijven (GL&SCHR) (De Pessemier & Andries, 2009). Ten slotte werd gekozen om fonologisch bewustzijn in kaart te brengen aan de hand van de subtest 'Fonologische herkenning en verwerking' uit de Test voor Gevorderd Lezen en Schrijven (GL&SCHR) (De Pessemier & Andries, 2009). Deze subtest wordt zelf verder nog eens onderverdeeld in de subtests 'Spoonerisms' en 'Omkeren'. Deze verschillende taaltaken worden verder in deze masterproef verder in detail uitgelegd. De tweede reden om de taaltaken af te nemen is om te zien of het hebben van dyslexie ook effectief een impact heeft op het gedrag en dus klinisch geuit wordt. Wanneer er bij mensen met dyslexie een probleem is met de interhemisferische transfer, dan is dit maar relevant wanneer dit geuit wordt in het gedrag. Hierbij dienen de taaltaken dus als een gedragsindex.

Op basis van de interhemisferische transfer deficit theorie worden in deze masterproef twee onderzoeksvragen met bijhorende hypothesen getoetst.

Onderzoeksvraag 1: Hebben volwassenen met dyslexie een groter verschil tussen linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen?

Hypothese 1. Volwassenen met dyslexie hebben een even goede error rate wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 2. Volwassenen met dyslexie hebben een hogere error rate wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 3. Volwassenen met dyslexie hebben een groter verschil in error rate tussen het linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 4. Volwassenen met dyslexie hebben een gelijke reactietijd wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 5. Volwassenen met dyslexie hebben een tragere reactietijd wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 6. Volwassenen met dyslexie hebben een groter verschil in reactietijd tussen het linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen.

Onderzoeksvraag 2: Is er bij volwassenen met dyslexie een verminderd verschil in nauwkeurigheid tussen stimuli die in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en stimuli die simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen?

Hypothese 7. Bij volwassenen met dyslexie is het verschil in error rate tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd kleiner dan bij controle proefpersonen.

Hypothese 8. Bij volwassenen met dyslexie is het verschil in reactietijd tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd kleiner dan bij controle proefpersonen.

Methode

Participanten

Participanten voor deze studie waren ofwel betaalde vrijwilligers ofwel studenten die deelnamen voor creditpunten. De betaalde vrijwilligers werden gerekruteerd door middel van een Facebook-bericht en het aanspreken van eigen familie, vrienden en kennissen. Voor deze

studie includeerden we rechtshandige participanten met en zonder dyslexie tussen 18 en 40 jaar. Allereerst werd aan de participanten gevraagd om het informed consent door te nemen en te ondertekenen. Verder kregen de gerekruteerde participanten vooraf aan de start van de visuele half-veldtaken en de taaltaken een zelfgemaakte vragenlijst waarin de demografische gegevens werden bevraagd. In deze vragenlijst werden volgende gegevens in kaart gebracht: de geboortedatum, het geslacht, de handvoorkeur, de huidige opleiding/het hoogst behaalde diploma en de studierichting in het middelbaar. Daarnaast werd aan de hand van de vragenlijst bevraagd of er sprake was van één van de volgende leerstoornissen: dyslexie, dyscalculie en/of dysorthografie. Ook werd er gepeild naar eventuele ontwikkelingsstoornissen, waaronder AD(H)D, autismspectrumstoornis en/of Developmental Coördination Disorder (DCD). Wanneer iemand de leerstoornis dyslexie heeft, moest hij/zij aangeven wat de leeftijd is waarop de diagnose werd vastgesteld. Indien de participant een student was, moest die aangeven of er een bijzonder statuut was aangevraagd. Zo niet, werd er gevraagd naar een bewijs van diagnose.

Om de handvoorkeur beter in kaart te brengen werd de Nederlandse versie van de Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) afgenomen. Deze vragenlijst bestaat uit een lijst waarin twaalf activiteiten worden opgesomd en waarbij de participanten moesten aankruisen of ze de activiteit met hun rechter- of linkerhand/rechter- of linkervoet uitvoeren.

Procedure

Na het afnemen van de vragenlijst in verband met de demografische gegevens en de Nederlandse versie van de Edinburgh Handedness Inventory kon van start gegaan worden met de verschillende taken. Het geheel aan taken bestaat uit twee luiken: ten eerste de computertaken, bestaande uit een visuele half-veld taak met woorden en een visuele half-veld taak met figuren, en ten tweede de taaltaken.

Visuele half-veldtaken

Bij het begin van de computertaken was er eerst een introductie met uitleg over wat van de participanten verwacht werd. Dit gebeurde aan de hand van een PowerPointpresentatie. Er werd zowel uitleg gegeven over de visuele half-veld taak met woorden als de visuele half-veld taak met figuren. Na deze introductie kon achtereenvolgens van start gegaan worden met beide visuele half-veld taken. Bij de computertaken zitten de participanten op een afstand van 60 cm voor een 15 inch scherm. Voor beide taken waren er altijd eerst 20 oefentrials (20 trials van de 480 die random geselecteerd werden) om zeker te zijn dat de participanten het opzet van de taak begrepen. Daarna kregen ze feedback met een score op 20. Vervolgens kon de werkelijke taak van start gaan. Iedere participant startte met de visuele half-veld taak met woorden, maar deze taak valt buiten deze masterproef en wordt dan ook niet verder besproken. Daarna werd er

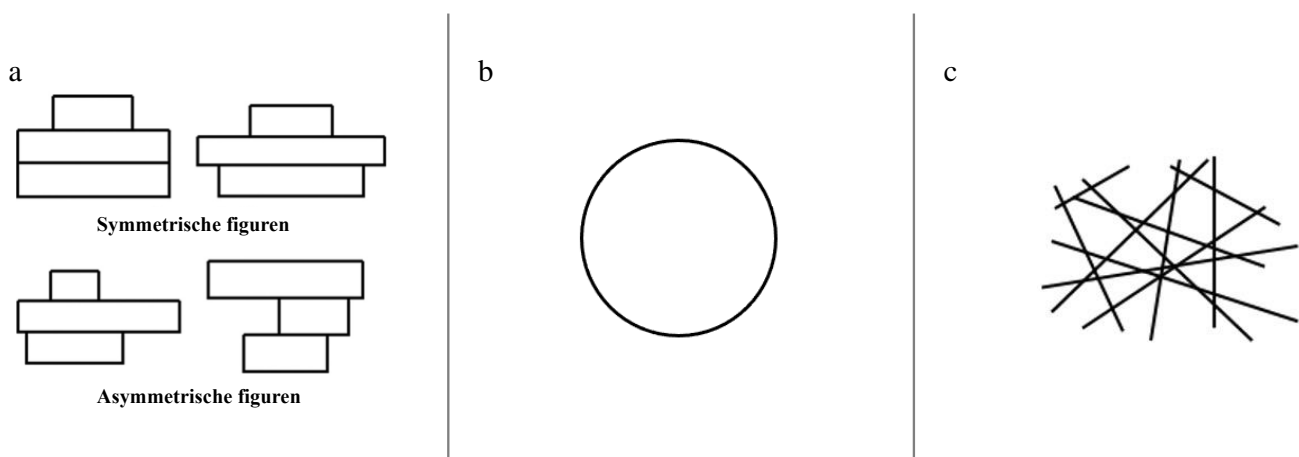
overgegaan naar de visuele half-veld taak met figuren, ook wel de symmetrie detectie taak genoemd. Bij deze taak zijn er in totaal 80 symmetrische figuren en 80 asymmetrische figuren die in het linker visueel veld, rechter visueel veld en bilateraal getoond worden waardoor er in totaal 480 trials zijn. De trials werden random gepresenteerd aan de participanten. Voor de symmetrie detectie taak werden 60 symmetrische en 60 asymmetrische figuren gebruikt waardoor sommige figuren herhaald gepresenteerd werden om zo tot 80 trials per conditie (linker visuele veld, rechter visuele veld en bilateraal) te komen. De 480 trials werden onderverdeeld in 4 blokken van elk 120 trials, waarbij de volgende trial start nadat het antwoord op de vorige is gegeven. Daarnaast konden de participanten zelf aangeven wanneer ze naar het volgende blok wilden gaan door op de spatiebalk te drukken. Aangezien het ritme zelfgestuurd is, verschilt de duur van het experiment, alsook de responstijd voor elke participant.

Bij de start van een trial verscheen er gedurende 500 ms een wit scherm met in het midden een fixatiekruis. Bij de introductie werd het belang van het fixeren op dit kruis doorheen de hele taak benadrukt. Wanneer participanten niet fixeren op het kruis, maar voorafgaand aan de stimuluspresentatie oogbewegingen maken, kan dit ertoe leiden dat de targetstimulus niet meer in het gewenste visuele half veld gepresenteerd wordt (Bourne, 2006). Daarna verscheen er na 500 ms een stimulus die unilateraal op 1,5 cm links of op 1,5 cm rechts van het fixatiekruis bleef staan. Er kon ook een bilaterale presentatie van de stimulus zijn op 1,5 cm links én rechts van het fixatiekruis. Er zijn dus drie visuele half-veld condities: aanbieding van de stimuli in het linker visueel veld, in het rechter visueel veld en bilateraal. Zowel bij de unilaterale als de bilaterale presentatie bleef de stimulus gedurende 200 ms staan. De presentatie werd beperkt tot 200 ms om oogbewegingen te voorkomen. Een oogbeweging zou ervoor kunnen zorgen dat de stimulus niet meer in het bedoelde half-veld gepresenteerd wordt (Bourne, 2006). Deze stimuli zijn 2-3 cm breed en 1,5-2 cm hoog en werden gevormd door het op elkaar plaatsen van 3 horizontale rechthoeken, die konden verschillen in lengte, zodat deze ofwel een symmetrische ofwel asymmetrische figuur vormen (zie figuur 3a). Wanneer er een unilaterale presentatie van de stimulus was, werd er tegelijk aan de andere zijde van het fixatiekruis een placeholder gepresenteerd. Deze placeholder was cirkelvormig met een afmeting van 2 cm hoogte en 2 cm breedte (zie figuur 3b). Het gebruik van een placeholder is belangrijk omdat visuele half-veld verschillen groter en stabiel zijn wanneer er twee verschillende stimuli gelijktijdig in het linker- en rechter visueel veld getoond worden dan wanneer slechts één stimulus in het linker- of rechter visueel veld wordt getoond. Hier zijn verschillende redenen voor. Een eerste reden kan zijn dat een unilaterale stimuluspresentatie sterk de aandacht kan trekken, wat leidt tot grote saccades met de ogen. Dit zijn heel snelle reflexieve oogbewegingen. Ten tweede zorgt de bilaterale

presentatie, die gecreëerd wordt door het gebruik van een placeholder, dat stimuli langer (tot 200 ms) gepresenteerd kunnen worden (Hunter & Brysbaert, 2008). Nadat de stimulus van het scherm verdween, verscheen er een mask, bestaande uit een figuurtje met random lijntjes van 2,5 cm breed en 2 cm hoog, die 200 ms bleef staan (zie figuur 3c). De presentatie van een mask is van groot belang omdat men op die manier de presentatieduur van de stimulus kan beperken tot 200ms. Dit zorgt er daarnaast ook voor dat een herinnering aan de targetstimulus voorkomen wordt en dat nagloei-effecten op het scherm worden tegengegaan (Hunter & Brysbaert, 2008). Ten slotte verscheen er na de presentatie van de mask opnieuw een wit scherm met in het midden een fixatiekruis tot de participanten aangaven of de stimulus die ze zagen symmetrisch of asymmetrisch was. Wanneer de stimulus symmetrisch was moesten ze simultaan met de linker- en rechterwijsvinger op een losstaand toetsenbord op de toetsen F/J drukken. Wanneer de stimulus asymmetrisch was moesten ze simultaan met de linker- en rechter middelvinger op een losstaand toetsenbord op de toetsen I/E drukken. De participanten moesten beide handen gebruiken om het stimulus-response compatibility effect te vermijden. Dit is effect waarbij de antwoorden met de rechterhand sneller zijn bij stimuli die in het rechter visueel veld getoond worden terwijl de antwoorden met de linkerhand sneller zijn wanneer stimuli in het linker visueel veld veel getoond worden (Verma et al., 2013). Het verloop van de symmetrie detectie taak wordt in figuur 4 gevisualiseerd.

Figuur 3

Stimuli en figuren uit het experiment



^a Voorbeelden van symmetrische en asymmetrische stimuli. ^b De placeholder. ^c De mask.

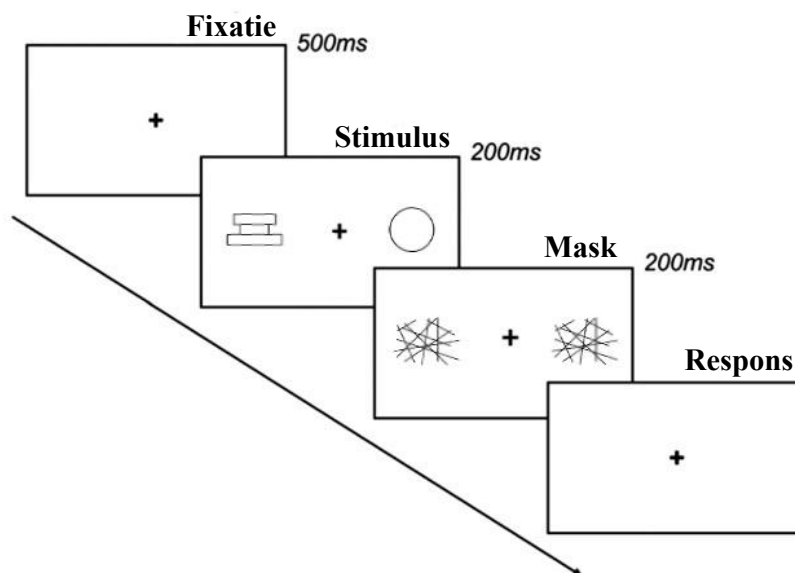
Noot. Aangepast overgenomen uit “Symmetry detection in typically and atypically speech lateralized individuals: A visual half-field study,” door Verma, A., Van der Haegen, L., &

Brybaert, M., 2013, *Neuropsychologia*, 51(13), 2611–2619.

(<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.005>)

Figuur 4

Verloop van de symmetrie detectie taak



Noot. Aangepast overgenomen uit “Evaluating the performance of the visual half field paradigm as a screening tool to detect right hemispheric language dominance,” door Gerrits, R., De Clercq, P., Verhelst, H., & Vingerhoets, G., 2020, *Laterality*, 25(6), 722–739. (<https://doi.org/10.1080/1357650x.2020.1854279>)

Taaltaken

Na de visuele half-veld taken op de laptop werd er overgegaan naar de verschillende taalkjes. Bij ieder taalkje werden de instructies vooraf uitgelegd. Ten eerste werden twee subtests uit de Test voor Gevorderd Lezen en Schrijven (GL&SCHR) afgenomen: een subtest om woordspelling in kaart te brengen en een subtest om fonologische herkenning en verwerking in kaart te brengen. De betrouwbaarheid en validiteit werd voor beide subtests onderzocht. De subtest ‘Woordspelling’ is één van de drie hoofdtests van de GL&SCHR en voor deze subtest worden betrouwbaarheidsindices tussen de 0.69 en 0.80 gevonden. Voor de subtest ‘Fonologische herkenning en verwerking’, die een deelttest is van de GL&SCHR, worden betrouwbaarheidsindices tussen de 0.78 en 0.90 gevonden. De Cotan hanteert beoordelingscriteria waarbij een betrouwbaarheid van $>.70$ voldoende en $>.80$ goed is. Zowel voor de hoofdtests als voor de deelttests kon de criterium en de constructvaliditeit onderzocht worden. Voor de hoofdtests werden voor de criterium validiteit grote effectgroottes gevonden

voor alle subscores ($0.85 < d < 1.70$). Wat betreft de constructvaliditeit werd er een juiste classificatie van 84.2% van de cases vastgesteld wanneer gebruik werd gemaakt van een factoranalyse. Wat betreft de criterium validiteit van de deeltests konden, met uitzondering van een paar deeltests die geen deel uitmaken van deze masterproef, significante correlaties gevonden worden tussen de deelvaardigheden en de lees- en spellingstests. Wat betreft de constructvaliditeit van de deeltests kon 76.7% van de gehele populatie juist geclassificeerd worden (De Pessemier & Andries, 2009).

De subtest 'Woordspelling' heeft als doel om spellingsvaardigheid op woordniveau na te gaan. Hierbij werden aan de hand van een geluidsopname 30 woorden gedicteerd en werd er verwacht dat de participanten deze met een blauwe balpen opschreven volgens de correcte Nederlandstalige spelling. Hierna mochten de participanten de hoofdtelefoon afzetten en werd gevraagd er om de blauwe balpen terug te geven. In de plaats daarvan kregen de participanten een groene balpen en kregen ze de kans om de verschillende woorden te overlopen. Wanneer gemerkt werd dat een woord niet ingevuld was, moesten de participanten het nummertje van de rij waar het woord ontbrak, opnoemen zodat het ontbrekende woord nog eens opnieuw gedicteerd kon worden en in het groen aangevuld kon worden. Wanneer de participanten een fout opmerkten, mochten zij deze ook nog in het groen verbeteren. Ten slotte werd er gevraagd om aan te duiden hoe zeker de participanten waren van de juiste spelling van elk woord, na de eventuele verbetering (onzeker (ik gok) - bijna zeker (ik denk het) - heel zeker (ik weet het zeker)). Voor deze subtest wordt er in deze masterproef gekeken naar de gewogen score. Deze gewogen score wordt berekend door de correctheid en de zekerheid over de spelling op te tellen.

Vervolgens werd de subtest 'fonologische herkenning en verwerking' afgenomen die verder onderverdeeld wordt in de subtesten 'Spoonerisms' en 'Omkeren'. Bij de subtest 'Spoonerisms' kregen de participanten via een geluidsopname steeds twee woorden te horen en was het de bedoeling dat ze het eerste foneem van het ene woord omwisselden met het eerste foneem van het andere woord (bijvoorbeeld 'gele kast' wordt 'kele gast'). Om zeker te zijn dat de participanten goed begrepen hebben wat van hen verwacht werd, werden eerst enkele oefenitems overlopen. Hierna kon de echte taak van start gaan en moest er in zo weinig mogelijke tijd zoveel mogelijk juiste antwoorden gegeven worden. In totaal waren er twintig opgaven en werd er, ongeacht of het antwoord juist of fout was, een nieuwe opgave gegeven wanneer er een antwoord gegeven werd op de vorige opgave. Per opgave duidde de testleider aan of het antwoord juist (V) of fout (X) was. De tijd in seconden werd gemeten en genoteerd. Voor deze subtest wordt er in deze masterproef gekeken naar de samengestelde score. Deze samengestelde score wordt berekend door de tijd die participanten nodig hebben om de test te doorlopen in

seconden te delen door het aantal correcte spoonerisms en dit vervolgens te vermenigvuldigen met 10.

Daarna kon van start gegaan worden met de subtest 'Omkeren'. Bij deze subtest werden steeds twee nonsenswoorden geven waarbij het tweede woord in de omgekeerde klankvolgorde werd uitgesproken als het eerste woord (bijvoorbeeld 'gak' - 'kag'). Soms werd de klankvolgorde van het tweede woord niet op een juiste manier omgedraaid en was het de bedoeling dat de participant 'nee' of 'fout' zei. Als de klankvolgorde wel juist werd omgekeerd moesten de participanten 'ja' of 'juist' zeggen. Ook hier werd nagegaan of de participanten goed begrepen wat van hen werd verwacht door eerst enkele oefenitems te overlopen. Daarna ging de echte taak van start en moest er in zo weinig mogelijke tijd zoveel mogelijk juiste antwoorden gegeven worden. Ook bij deze subtest waren er in totaal twintig opgaven en werd er, ongeacht of het antwoord juist of fout was, een nieuwe opgave gegeven wanneer er een antwoord gegeven werd op de vorige opgave. Net zoals bij de subtest 'Spooners' duidde de testleider per opgave aan of het antwoord juist (V) of fout (X) was. De tijd in seconden werd gemeten en genoteerd. Voor deze subtest wordt er in deze masterproef gekeken naar de samengestelde score. Deze samengestelde score wordt berekend door de tijd die participanten nodig hebben om de test te doorlopen in seconden te delen door het aantal correcte omgekeerde items en dit vervolgens te vermenigvuldigen met 10.

Ten derde werd de Leestest 1-minuut studenten (LEMs) (Tops et al., 2019) voor woordlezen afgenomen. Deze test bestaat uit 132 woorden die verdeeld zijn over drie kolommen en geordend van meer gemakkelijke naar meer moeilijke woorden. Hierbij was het de bedoeling dat de participanten luidop zo veel mogelijk woorden in één minuut lezen met zo weinig mogelijk fouten. Het aantal woorden die correct gelezen werden, is de ruwe score. In een onderzoek van Tops et al. (2019) werd de LEMs gevalideerd op basis van de resultaten van 200 Nederlandse eerstejaars bachelorstudenten. Uit de resultaten van dit onderzoek kunnen we concluderen dat deze test voldoende valide en betrouwbaar is. De specificiteit en sensitiviteit van het instrument zijn beide hoog (> 80%).

Ten slotte werd ook de Klepel (van den Bos et al., 1999) voor pseudowoordlezen afgenomen. Deze test bestaat uit 116 pseudowoorden verdeeld over drie kolommen en geordend van meer makkelijke naar meer moeilijke woorden. Pseudowoorden zijn woorden die geen betekenis hebben. Bij deze test kregen de participanten twee minuten de tijd om zoveel mogelijk pseudowoorden te lezen met zo weinig mogelijk fouten. Het aantal pseudowoorden die correct gelezen werden, is de ruwe score. Enkele psychometrische kenmerken zoals de betrouwbaarheid en de validiteit van deze test werd onderzocht. De betrouwbaarheid werd onderzocht aan de hand

van de paralleltestmethode. Betrouwbaarheidscoëfficiënten werden in verschillende leeftijdsgroepen berekend, waarbij men vond dat de laagste waarde .89 is. Dit wordt volgens de COTAN beoordeeld als ‘voldoende’. Ook bracht men de validiteit van de Klepel in kaart, meer specifiek de begripsvaliditeit. Hierbij werden correlaties gevonden tussen de .66 en .91 met een dalende trend in de coëfficiënten naarmate de hogere leeftijd. Ook dit beoordeelt de COTAN als ‘voldoende’.

Data-analyse

Alle statistische analyses werden uitgevoerd in R (R Core Team, 2019).

Participanten

Nadat alle gerekruteerde participanten deelnamen aan de studie en de data verzameld werd, kon uit de volledige groep participanten een steekproef genomen worden. Om de participanten uit de dyslexiegroep en de controlegroep te vergelijken, werd telkens een participant uit de ene groep gematcht met een participant uit de andere groep. Matching gebeurde op basis van geslacht, leeftijd en het aantal opleidingsjaren.

Preliminare analyse

Assumptiecheck. Voor het toetsen van de acht hypothesen wordt er in deze masterproef gebruik gemaakt van de Welch t-toets. Er werd gekozen voor deze toets omdat de verwachtingen in de controlegroep en de dyslexiegroep vergeleken dienen te worden. De steekproeven die na matching zijn geïnccludeerd zijn onafhankelijk. Bij onafhankelijke steekproeven is er geen directe link tussen een meting uit de ene groep en een meting uit de andere groep. Om de Welch t-toets te kunnen uitvoeren moet voldaan worden aan twee assumpties. Ten eerste moeten de variabelen tenminste van intervalniveau zijn. Dit is in deze masterproef het geval. Ten tweede moeten ofwel de variabelen normaal verdeeld zijn in elke populatie (controlegroep en dyslexiegroep) ofwel moet elke steekproef groot genoeg zijn. De vuistregel hierbij is $n \geq 30$. Beide steekproeven bestaan uit 45 participanten, waardoor aan de assumptie dat elke steekproef groot genoeg moet zijn, wordt voldaan. Gezien de gematchte groepen bestaan uit elk 45 participanten wordt normaliteit verondersteld.

Manipulatiecheck. Om uit te sluiten dat de potentiële afwezigheid van de voorspelde effecten te wijten zijn aan een gefaalde experimentele manipulatie, werd aan de hand van de Welch t-toets getest of er een significant linker visueel veld voordeel te vinden is. Daarnaast werd aan de hand van de Welch t-toets onderzocht of er in deze studie sprake is van een redundant bilateraal voordeel bij de controlegroep en de dyslexiegroep.

Hoofdanalyse

Op basis van bovenstaande literatuurstudie worden in deze masterproef twee onderzoeksvragen vooropgesteld. Beide onderzoeksvragen worden onderzocht aan de hand van verschillende hypothesen. In een onderzoek van Verma et al. (2013) werd gevonden dat het linker visueel veld voordeel, dat bij het onderdeel ‘Huidige studie’ reeds besproken werd, sterker is voor symmetrische stimuli dan voor asymmetrische stimuli. Omwille van deze bevinding werd er in deze masterproef voor gekozen om enkel te kijken naar de symmetrische stimuli.

Onderzoeksvraag 1: Hebben volwassenen met dyslexie een groter verschil tussen linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen?

Hypothese 1. De eerste hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een even goede error rate hebben wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 2. De tweede hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een hogere error rate hebben wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 3. De derde hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een groter verschil in error rate hebben tussen het linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen. Om deze hypothese te testen, werd voor iedere participant het verschil berekend tussen deze twee condities (rechter visueel veld – linker visueel veld). Vervolgens werd een vergelijking gemaakt tussen de dyslexiegroep en de controlegroep voor deze verschillscore.

Hypothese 4. De vierde hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een gelijke reactietijd hebben wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 5. De vijfde hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een tragere reactietijd hebben wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen.

Hypothese 6. De zesde hypothese voorspelt dat volwassenen met dyslexie een groter verschil in reactietijd hebben tussen het linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen. Ook om deze hypothese te testen, werd voor iedere participant het verschil berekend tussen deze twee condities (rechter visueel veld – linker visueel veld). Vervolgens werd een vergelijking gemaakt tussen de dyslexiegroep en de controlegroep voor deze verschillscore.

Onderzoeksvraag 2: Is er bij volwassenen met dyslexie een verminderd verschil in nauwkeurigheid tussen stimuli die in het beste visueel veld van de participant worden

gepresenteerd en stimuli die simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen?

Hypothese 7. De zevende hypothese voorspelt dat bij volwassenen met dyslexie het verschil in error rate tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd kleiner is dan bij controle proefpersonen. Om deze hypothese te testen, werd voor iedere participant het verschil berekend tussen deze twee condities (score bij het bilateraal aanbieden – score bij het aanbieden in het beste visueel veld). Vervolgens werd een vergelijking gemaakt tussen de dyslexiegroep en de controlegroep voor deze verschillscore.

Hypothese 8. De achtste hypothese voorspelt dat bij volwassenen met dyslexie het verschil in reactietijd tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd kleiner is dan bij controle proefpersonen. Ook om deze hypothese te testen, werd voor iedere participant het verschil berekend tussen deze twee condities (score bij het bilateraal aanbieden – score bij het aanbieden in het beste visueel veld). Vervolgens werd een vergelijking gemaakt tussen de dyslexiegroep en de controlegroep voor deze verschillscore.

Alle acht de hypothesen werden getoetst aan de hand van een Welch t-toets waarbij een significantieniveau van $\alpha = .05$ wordt vooropgesteld.

Resultaten

Participanten

De totale steekproef bestond uit 90 participanten tussen 17 en 37 jaar ($M_{\text{leeftijd}} = 22.04$ jaar; $SD_{\text{leeftijd}} = 5.09$ jaar; $M_{\text{opleidingsjaren}} = 13.60$; $SD_{\text{opleidingsjaren}} = 1.94$; 56 vrouwelijke participanten; 34 mannelijke participanten). Zoals hierboven vermeld, werden participanten uit de controlegroep gematcht met participanten uit de dyslexiegroep op basis van geslacht, leeftijd en het aantal opleidingsjaren. Op die manier ontstonden twee gematchte groepen van elk 45 participanten: een controlegroep ($M_{\text{leeftijd}} = 21.78$ jaar; $SD_{\text{leeftijd}} = 5.09$ jaar; bereik: 17-37 jaar; $M_{\text{opleidingsjaren}} = 13.71$; $SD_{\text{opleidingsjaren}} = 1.98$; 28 vrouwelijke participanten; 17 mannelijke participanten) en een dyslexiegroep ($M_{\text{leeftijd}} = 22.31$ jaar; $SD_{\text{leeftijd}} = 5.13$ jaar; bereik: 18-37 jaar; $M_{\text{opleidingsjaren}} = 13.47$; $SD_{\text{opleidingsjaren}} = 1.90$; 28 vrouwelijke participanten; 17 mannelijke participanten).

De gemiddelde leeftijd, opleidingsjaren en taalprestatie van elke groep zijn te zien in Tabel 1.

Tabel 1*Gemiddelde leeftijd, opleidingsjaren en taalprestatie van elke groep*

Meting	Controle		Dyslexie	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
leeftijd (jaren)	21.78	5.09	22.31	5.13
opleidingsjaren	13.71	1.98	13.47	1.90
woordspelling ^a	121.62	12.12	97.04	12.80
spoonerisms ^b	57.37	21.57	99.34	47.90
omkeren ^c	44.55	16.73	59.77	19.60
EMT	105.36	16.82	74.40	14.76
Klepel	101.13	13.10	67.29	15.18

^a Dit is de gewogen score voor het meten van woordspelling.

^b Dit is de samengestelde score voor het meten van de subtest 'Spoonersisms'.

^c Dit is de samengestelde score voor het meten van de subtest 'Omkeren'.

Preliminair analyse

Descriptieve statistiek

Bij Tabel 2 en Tabel 3 kunnen voor elke visuele half-veld conditie de gemiddeldes en de standaarddeviaties teruggevonden worden voor elke groep. Alsook hun gemiddelde redundant bilateraal voordeel (RBA) en RVV-LVV verschil scores worden in Tabel 2 voor error rate en Tabel 3 voor reactietijd gerapporteerd.

Manipulatiecheck

Bij het nagaan of de symmetrie detectie taak in zijn opzet geslaagd is en een gefaalde experimentele manipulatie geen reden kan vormen voor het mogelijks ontbreken van de voorspelde effecten werd een bijna significant linker visueel veld voordeel gevonden voor error rate bij de controlegroep ($t(44) = -1.68, p = 0.050$). Alhoewel dit niet significant is, is wel duidelijk welke trend met deze waarden uitgegaan wordt. Voor de dyslexiegroep werd wel een duidelijk significant linker visueel veld voordeel gevonden voor error rate ($t(44) = -3.06, p = 0.002$). Ook voor de reactietijd werd bij de controlegroep een significant linker visueel veld voordeel gevonden ($t(44) = -3.82, p < 0.001$). Ten slotte werd ook bij de dyslexiegroep een significant linker visueel veld voordeel gevonden voor de reactietijd ($t(44) = -2.52, p = 0.008$).

Verder werd ook nagegaan of er een significant redundant bilateraal voordeel te vinden was. Voor de controlegroep werd een significant redundant bilateraal voordeel gevonden voor error rate ($t(44) = -6.75, p < 0.001$). Maar ook in de dyslexiegroep werd een significant redundant

bilateraal voordeel gevonden voor error rate ($t(44) = -5.84, p < 0.001$). Daarnaast werd ook voor de reactietijd een significant redundant bilateraal voordeel gevonden in de controlegroep ($t(44) = -4.13, p < 0.001$). Tot slot werd bij de dyslexiegroep een significant redundant bilateraal voordeel gevonden voor de reactietijd ($t(44) = -3.19, p = 0.001$).

Tabel 2

Gemiddelde error rate (en SDs) in % op de verschillende VHV condities voor de controlegroep en de dyslexiegroep

Groep	LVV	RVV	BVV	RVV-LVV verschil	Redundant bilateraal voordeel
Controle	20.78 (SD = 11.90)	23.58 (SD = 11.29)	10.08 (SD = 7.34)	2.81 (SD = 11.21)	-7.86 (SD = 7.82)
Dyslexie	18.33 (SD = 8.48)	22.89 (SD = 10.97)	10.69 (SD = 4.92)	4.56 (SD = 10.00)	-5.61 (SD = 6.44)

VHV: visueel half-veld; LVV: linker visueel veld; RVV: rechter visueel veld; BVV: bilateraal visueel veld.

Tabel 3

Gemiddelde reactietijd en (SDs) in ms op de verschillende VHV condities voor de controlegroep en de dyslexiegroep

Groep	LVV	RVV	BVV	RVV-LVV verschil	Redundant bilateraal voordeel
Controle	800 (SD = 165)	823 (SD = 169)	773 (SD = 152)	23 (SD = 40)	-20 (SD = 32)
Dyslexie	855 (SD = 163)	877 (SD = 156)	821 (SD = 151)	22 (SD = 58)	-22 (SD = 46)

VHV: visueel half-veld; LVV: linker visueel veld; RVV: rechter visueel veld; BVV: bilateraal visueel veld.

Hoofdanalyse

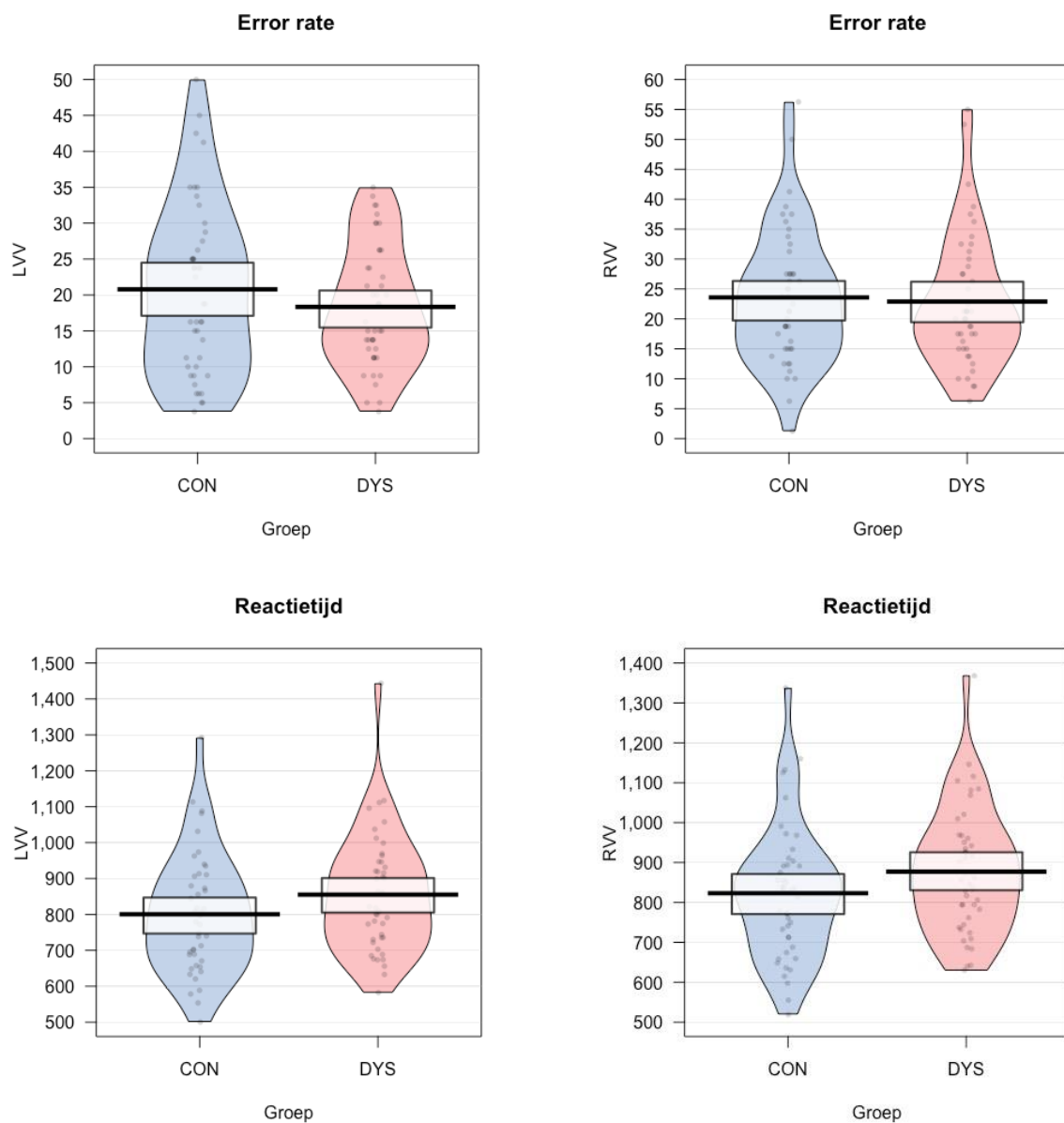
Aangezien aan de assumpties om een Welch t-toets uit te voeren wordt voldaan, kon er van start gegaan worden met de toetsende statistieken. Voor de eerste hypothese werd gevonden dat volwassenen met dyslexie geen even goede error rate hebben wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen ($t(79,54) = -1.12$, $p = 0.265$). Meer specifiek hebben volwassenen met dyslexie een lagere error rate ($M_{\text{error rate}} = 18.33$; $SD_{\text{error rate}} = 8.48$) dan controle proefpersonen ($M_{\text{error rate}} = 20.78$; $SD_{\text{error rate}} = 11.90$). Voor de tweede hypothese werd geen significant hogere error rate gevonden bij mensen met dyslexie wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen ($t(87.93) = -0.30$, $p = 0.616$). Meer zelfs, volwassenen met dyslexie hadden een lagere error rate ($M_{\text{error rate}} = 22.89$; $SD_{\text{error rate}} = 10.97$) dan controle proefpersonen ($M_{\text{error rate}} = 23.58$; $SD_{\text{error rate}} = 11.29$). Voor de derde hypothese werd bij volwassenen met dyslexie geen significant groter verschil in error rate tussen het linker en rechter visueel veld gevonden ($M_{\text{error rate}} = 4.56$; $SD_{\text{error rate}} = 10.00$) in vergelijking met controle proefpersonen ($M_{\text{error rate}} = 2.81$; $SD_{\text{error rate}} = 11.21$) ($t(86.87) = 0.78$, $p = 0.218$). Voor de vierde hypothese werd gevonden dat volwassenen met dyslexie geen gelijke reactietijd hebben wanneer de figuren in het linker visueel veld worden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen ($t(87.99) = 1.58$, $p = 0.118$). Meer specifiek hebben volwassenen met dyslexie een grotere reactietijd ($M_{\text{reactietijd}} = 855$; $SD_{\text{reactietijd}} = 163$) dan controle proefpersonen ($M_{\text{reactietijd}} = 800$; $SD_{\text{reactietijd}} = 165$). Voor de vijfde hypothese werd gevonden dat volwassenen met dyslexie geen significant tragere reactietijd hebben wanneer de figuren in het rechter visueel veld worden gepresenteerd ($M_{\text{reactietijd}} = 877$; $SD_{\text{reactietijd}} = 156$) in vergelijking met controle proefpersonen ($M_{\text{reactietijd}} = 823$; $SD_{\text{reactietijd}} = 169$) ($t(87.46) = 1.58$, $p = 0.059$). Voor de zesde hypothese werd gevonden dat volwassenen met dyslexie geen groter verschil in reactietijd tussen het linker en rechter visueel hebben in vergelijking met controle proefpersonen ($t(77.70) = -0.07$, $p = 0.527$). Meer zelfs, volwassenen met dyslexie hadden een kleiner verschil in reactietijd tussen het linker en rechter visueel veld ($M_{\text{reactietijd}} = 22$; $SD_{\text{reactietijd}} = 58$) dan controle proefpersonen ($M_{\text{reactietijd}} = 23$; $SD_{\text{reactietijd}} = 40$). Bij de zevende hypothese werd gevonden dat bij volwassenen met dyslexie het verschil in error rate tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd niet kleiner is dan bij controle proefpersonen ($t(84.90) = 1.49$, $p = 0.930$). Meer zelfs, volwassenen met dyslexie hadden een groter verschil in error rate ($M_{\text{error rate}} = -5.61$; $SD_{\text{error rate}} = 6.44$) dan controle proefpersonen ($M_{\text{error rate}} = -7.86$; $SD_{\text{error rate}} = 7.82$). Ten slotte werd er voor de achtste hypothese gevonden dat bij volwassenen met dyslexie het

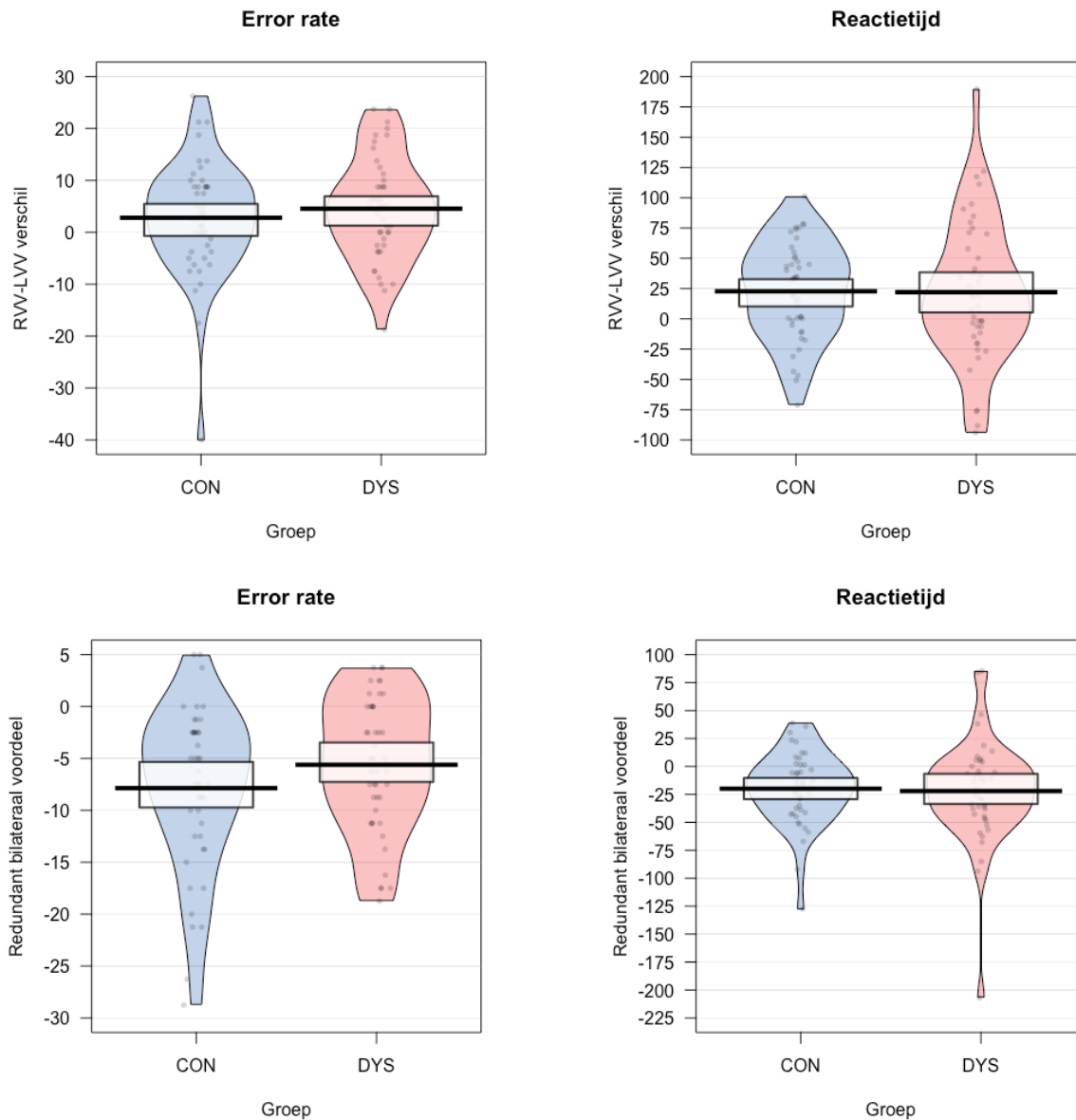
verschil in reactietijd tussen de prestatie wanneer de figuren in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en de prestatie wanneer de figuren simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd ($M_{\text{reactietijd}} = -22$; $SD_{\text{reactietijd}} = 46$) niet significant kleiner is dan bij controle proefpersonen ($M_{\text{reactietijd}} = -20$; $SD_{\text{reactietijd}} = 32$) ($t(78.68) = -0.25$, $p = 0.402$).

Voor elk van de acht hypothesen wordt in figuur 5 een visuele weergave gegeven aan de hand van ‘pirate plots’.

Figuur 5

‘Pirate plots’ van de 2 visuele half-veld condities, het RVV-LVV verschil en het redundant bilateraal voordeel voor error rate en reactietijd per groep





Noot. De pirate plots tonen gemiddelde en individuele datapunten voor de twee groepen. De boxplots geven een 95% betrouwbaarheidsinterval weer. CON: controle groep; DYS: dyslexie groep.

Discussie

Onderzoeksbevindingen

Deze masterproef heeft als doel om onderzoek te doen naar de theorie dat er bij mensen met dyslexie een tekort is in de interhemisferische transfer. Deze theorie wordt ook wel de interhemisferische transfer deficit theorie genoemd en wordt in deze studie getest met behulp van de symmetrie detectie taak. Er werden twee onderzoeksvragen geformuleerd die elk van beide verder opgedeeld werden in verschillende hypothesen. In de eerste onderzoeksvraag werd er gekeken of volwassenen met dyslexie een groter verschil in prestatie hadden tussen wanneer

stimuli in het linker visueel veld en wanneer stimuli in het rechter visueel veld werden gepresenteerd in vergelijking met controle proefpersonen. In de tweede onderzoeksvraag werd er gekeken of er bij volwassenen met dyslexie een verminderd verschil in nauwkeurigheid is tussen stimuli die in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en stimuli die simultaan in beide visuele half-velden worden gepresenteerd. Bij beide onderzoeksvragen werd er zowel gekeken naar accuraatheid als naar reactiesnelheid.

Uit de resultaten van de hoofdanalyse werd gevonden dat geen enkele van de acht vooropgestelde hypotheses bevestigd kon worden. Met andere woorden betekent dit dat de hypotheses en bijgevolg ook de onderzoeksvragen geen evidentie kunnen bieden voor de interhemisferische transfer deficit theorie. Dit in tegenstelling tot verschillende studies die aan de hand van verschillende methodieken wel bewijs vinden voor deze theorie. Een eerste studie is een onderzoek van Daini et al. (2018) waarbij net zoals deze huidige studie ook visuospatiële verwerking in kaart werd gebracht. In deze studie werd aan de hand van vier verschillende taakjes bij kinderen met ($N = 13$) en zonder dyslexie ($N = 13$) evidentie gevonden voor een verstoorde interhemisferische transfer bij kinderen met dyslexie. Ook de studie van Markee et al. (1996) vond een sterk bewijs voor de aanwezigheid van een tekort in de interhemisferische transfer. In dit onderzoek werd de callosale overdracht aan de hand van een letter-matching taak onderzocht door de interhemisferische overdrachtstijd af te leiden van visueel uitgelokte potentialen. De controlegroep ($N = 21$) had een snellere overdrachtstijd dan de dyslexiegroep ($N = 21$) wat wijst op een minder efficiënte overdracht bij mensen met dyslexie. Daarnaast zijn er ook studies die net zoals deze huidige studie geen evidentie vinden voor de interhemisferische transfer deficit theorie. In een studie van Velay et al. (2002) bijvoorbeeld werd onderzoek gedaan naar verschillende deficiten die een verklaring zouden kunnen bieden voor dyslexie. Zowel een abnormaal patroon van hemisferische asymmetrie, abnormale hemisferische communicatie en abnormale motor controle werden onderzocht. Dit gebeurde met behulp van een visuo-manuele aanwijstaak waarbij van de proefpersonen verwacht werd met hun rechter- of linkerhand te wijzen naar doelstimuli die links of rechts van het fixatiepunt verschenen. Om een abnormale hemisferische communicatie in kaart te brengen, werd gekeken naar de tijd die nodig was voor een interhemisferische overdracht onder gekruiste omstandigheden. Hierbij bevonden de hand van de participant en de doelstimulus zich elk aan een andere kant. Uit de resultaten bleek dat er op vlak van de interhemisferische transfer geen verschil was tussen de controlegroep ($N = 14$) en de dyslexiegroep ($N = 14$). Deze studie vond met andere woorden geen bewijs voor de theorie. In de onderzoeksliteratuur zijn er dus verschillende contradictorische bevindingen terug te vinden. De aangehaalde studies hebben allemaal onderzoek gedaan aan de hand van kleine

steekproeven, wat een verklaring zou kunnen bieden voor waarom de literatuur elkaar zo lijkt tegen te spreken.

Deze huidige studie is gebaseerd op de studie van Bradshaw et al. (2020) die op zijn beurt de studie van Henderson et al. (2007) probeerde te repliceren. In tegenstelling met de studie van Bradshaw et al. (2020) kon in deze masterproef de bevinding van een groter verschil tussen linker en rechter visueel veld in vergelijking met controle proefpersonen niet gerepliceerd worden. Dit was zowel het geval bij error rate als bij reactietijd. Daarenboven, en in lijn met de studie van Bradshaw et al. (2020), kon ook de bevinding van een verminderd verschil tussen stimuli die in het beste visueel veld van de participant worden gepresenteerd en stimuli die simultaan in beide visuele half-velde worden gepresenteerd niet gerepliceerd worden. Opnieuw was dit het geval voor error rate als voor reactietijd.

Theoretische implicaties

Voorgaand aan de hoofdanalyse werd eerst een manipulatiecheck uitgevoerd. Uit de manipulatiecheck van deze studie blijkt dat er zowel voor de controlegroep als voor de dyslexiegroep een significant linker visueel veld voordeel aanwezig is. Dit werd zowel gevonden bij het meten van de error rate als van de reactiesnelheid. Met andere woorden, voor de volledige steekproef werd gevonden dat ze zowel minder fouten maken als sneller reageren wanneer de figuren in het linker visueel veld gepresenteerd worden. Deze bevinding is in lijn met de studie van Verma et al. (2013) die aan de hand van twee verschillende experimenten een linker visueel veld voordeel vond bij rechts en linkshandige vrijwilligers zonder dyslexie. Daarnaast werd in deze masterproef nagegaan of er bij zowel de controlegroep als de dyslexiegroep een redundant bilateraal voordeel te vinden was. Opnieuw gebeurde dit zowel voor de error rate als voor de reactiesnelheid. Uit de manipulatiecheck blijkt dat er bij beide groepen sprake is van dit redundant bilateraal voordeel, zowel bij het in kaart brengen van de error rate als van de reactietijd. Deze resultaten zijn compatibel met wat in de studie van Bradshaw et al. (2020) gevonden werd. In de studie van Bradshaw et al. (2020) werd ook zowel voor de controlegroep als voor de dyslexiegroep een redundant bilateraal voordeel gevonden. Dit in tegenstelling tot de studie van Henderson et al. (2007) waarin ze bij het eerste experiment dat ze uitvoerden geen redundant bilateraal voordeel vonden bij de dyslexiegroep. Aan de hand van deze manipulatiecheck kan met zekerheid uitgesloten worden dat de afwezigheid van de voorspelde effecten te wijten zijn aan een gefaalde experimentele manipulatie.

Ondanks het vinden van onverwachte, en soms zelfs tegengestelde effecten, brengen de bevindingen van deze studie verschillende theoretische implicaties met zich mee. Eerst en vooral kunnen we aan de hand van de manipulatiecheck concluderen dat het visuele half-velde paradigma

een goede methodiek is om interhemisferische transfer in kaart te brengen. Met oog op toekomstig onderzoek naar de interhemisferische transfer bij dyslexie kan dit paradigma dus zeker aangeraden worden als betrouwbare methodiek. Daarnaast vormt de bevinding dat er zowel voor de controlegroep als voor de dyslexiegroep een significant linker visueel veld voordeel gevonden werd een bevestiging voor het feit dat visuospatiële verwerking in de rechterhemisfeer gelateraliseerd is. Dit is in lijn met voorgaand onderzoek die de rechterhemisfeer dominantie voor visuospatiële verwerking reeds had vastgesteld (Gotts et al., 2013; Verma et al., 2013).

Ondanks dat het linker visueel veld voordeel en bilateraal redundantie effect gerepliceerd werden, konden de vooropgestelde onderzoeksvragen en bijhorende hypotheses niet bevestigd worden. Andere studies konden dan wel een bewijs vinden voor de interhemisferische transfer deficit theorie, maar in deze masterproef kon deze theorie toegepast op visuospatiële verwerking niet onderbouwd worden. Dit doet de vraag rijzen of de theorie in zijn totaliteit niet opgaat of dat de theorie wel klopt bij de gelateraliseerde functie taal, maar niet gegeneraliseerd kan worden naar visuospatiële verwerking. Om hier meer zicht op te krijgen is replicatie-onderzoek, die zich dus ook richt op visuospatiële verwerking, noodzakelijk. Daarnaast zou het in kaart brengen van de interhemisferische transfer bij visuospatiële verwerking aan de hand van andere methodieken, zoals bijvoorbeeld beeldvormingsonderzoek, meer duidelijkheid kunnen scheppen. Daarenboven zou in onderzoek naar andere gelateraliseerde functies dan taal en visuospatiële verwerking nagegaan kunnen worden of de interhemisferische transfer deficit theorie gegeneraliseerd kan worden.

Tot slot werd in deze masterproef een bevinding gedaan over het al dan niet aanwezig zijn van een atypische hersenhelftdominantie bij mensen met dyslexie. In voorgaande onderzoeksliteratuur werd dyslexie geassocieerd met een hogere kans op een atypische lateralisatie van taal (Backes et al., 2002; Illingworth et al., 2009; Vanderauwera et al., 2016; Xu et al., 2015). Echter, in deze studie werd geen bewijs gevonden voor een verschillende hemisfeerspecialisatie van visuospatiële processen bij mensen met dyslexie in vergelijking met mensen zonder dyslexie. Zowel bij de dyslexiegroep als bij de controlegroep werd een linker visueel veld voordeel gevonden, wat erop wijst dat er een rechter hersenhelftdominantie is voor ruimtelijke processen. Één van de verklaringen voor een atypische hersenhelftdominantie is een tekort in de interhemisferische transfer (cf. supra). Net zoals het niet kunnen bevestigen van de vooropgestelde onderzoeksvragen en hypotheses in deze masterproef, kan de bevinding dat er geen verschil is in hemisfeerspecialisatie van visuospatiële processen bij mensen met dyslexie geen bewijs leveren voor de interhemisferische transfer deficit theorie.

Sterktes, beperkingen en aanbevelingen

Sterktes

Zoals hierboven reeds aangehaald, is de hoeveelheid aan onderzoek naar andere gelateraliseerde functies dan taal, zoals bijvoorbeeld visuospatiële verwerking, tot op heden nog steeds heel beperkt. Maar als er vanuit gegaan wordt dat er bij mensen met dyslexie een deficit is in de interhemisferische transfer, dan kan er verondersteld worden dat ook andere gelateraliseerde functies verstoord zijn als gevolg van een verstoorde interhemisferische transfer. Daarom ligt een eerste sterkte van deze studie in het feit dat de interhemisferische transfer bij visuospatiële verwerking aan de hand van de symmetrie detectie taak in kaart wordt gebracht.

Één van de opvallende sterktes aan dit onderzoek is dat een grote steekproef ($N = 90$) gerekruteerd kon worden waarbij zowel de controlegroep als de dyslexiegroep uit 45 participanten bestaat. Dit is in tegenstelling met veel van de voorgaande literatuur waarbij vaak slechts kleine steekproeven verzameld konden worden ($N \leq 21$ per subgroep). Te kleine steekproeven geven aanleiding tot een lagere statistische power (Button et al., 2013). Wanneer de power van een studie te laag is kan dit ervoor zorgen dat bepaalde verbanden niet gevonden worden en hierdoor de betrouwbaarheid en validiteit van de resultaten belemmerd worden. Daarnaast zorgt een te kleine steekproef er ook voor dat bevindingen niet gegeneraliseerd kunnen worden naar andere andere populatiegroepen. Al deze nadelen kunnen al deels uitgesloten worden door de grote omvang van de steekproef in deze studie.

Een andere tekortkoming in voorgaande literatuur is dat er bijna enkel wordt gekeken naar accuraatheid en niet naar reactiesnelheid. Dit terwijl het in kaart brengen van de reactiesnelheid nochtans een grote meerwaarde heeft in dit soort onderzoek aangezien de suggestie gemaakt kan worden dat effecten van een tekort in callosale overdracht het meest duidelijk zichtbaar worden in een tragere reactiesnelheid (Bradshaw et al., 2020). Net daarin ligt een tweede sterkte van deze studie. In deze masterproef werd niet alleen de accuraatheid in kaart gebracht, maar ook de reactiesnelheid.

Aangezien uit onderzoek blijkt dat visuospatiële verwerking gelateraliseerd is in de rechter hemisfeer (cf. supra) en dit een veronderstelling is bij het redundant bilateraal voordeel, wordt er vanuit gegaan dat prestaties op visuele half-veldtaken het beste zijn wanneer stimuli in het linker visueel veld worden aangeboden. Maar aangezien visuospatiële verwerking niet bij iedereen rechts gelateraliseerd is (Vingerhoets, 2019), wordt hier in deze masterproef rekening mee gehouden. Bij de tweede onderzoeksvraag werd voor elk van de twee hypothesen een vergelijking gemaakt tussen het aanbieden van de figuren in het beste visueel veld van de

participant en het aanbieden van de figuren simultaan in beide visuele half-velden, in plaats van er zomaar vanuit te gaan dat het linker visueel veld voor iedereen het best is.

Beperkingen

Een eerste beperking van deze studie is een kritiek op de methodologie die in deze masterproef werd gehanteerd. Tijdens de symmetrie detectie taak werd aan de participanten gevraagd om zich doorheen de taak zoveel mogelijk te focussen op het fixatiekruis. Door enkel gebruik te maken van deze instructie is er een gebrek aan directe controle over waar de participanten hun ogen doorheen de taak fixeren. Er worden zich dan ook vragen gesteld over de mate waarin het de participanten lukt om effectief te blijven fixeren op het kruis. Uit een onderzoek waarin oogbewegingen aan de hand van eye-tracking worden gevolgd, blijkt dan ook dat participanten er vaak niet in slagen om hun ogen te blijven fixeren op het kruis (Jordan et al., 1998; Van Der Haegen et al., 2011). Dit vormt een obstakel voor het paradigma waarin er fundamenteel van centrale fixatie uitgegaan wordt en waarbij er dus een geïsoleerde presentatie is van de figuren aan elk van de hemisferen. Uit ander onderzoek blijkt dan weer dat het afwijken met de ogen van de fixatiekruis geen impact heeft op het meten van belangrijke effecten. Het in rekening brengen van oogpositie-contingente stimuluspresentatie blijkt geen effect te hebben op het redundant bilateraal voordeel (Jordan et al., 1998). Daarnaast zorgt het er niet voor dat de overeenkomst met het meten van lateraliteit aan de hand van fMRI verbetert (Van Der Haegen et al., 2011).

Een tweede mogelijke beperking betreft het aanbieden van een placeholder, in deze studie een cirkelvormige figuur (zie figuur 3b), aan het visuele half-veld contralateraal van de doelstimulus bij de unilaterale conditie. Deze placeholder wordt aangeboden zodat er een visueel evenwicht is in de stimulusreeks en zodanig dat er geen spontane oogbewegingen worden gemaakt naar de doelstimulus (Hunter & Brysbaert, 2008). Uit ander onderzoek blijkt dan weer dat dergelijke placeholders mogelijks kunnen interfereren met het verwerken van de doelstimulus en op die manier dan ook schadelijk kunnen zijn voor de herkenningprestatie (Chu & Meltzer, 2019; Fernandino et al., 2007). In het licht van deze mogelijke interferentie kan het bij de unilaterale conditie dus meer moeite vragen om selectief naar de doelstimulus te kijken. Wanneer op deze manier geredeneerd wordt, zou het vooropgestelde redundant bilateraal voordeel dus eigenlijk een weerspiegeling kunnen zijn van een unilateraal nadeel.

Ten slotte kan er in deze masterproef een bedenking gemaakt worden over het opleidingsniveau van de gerekruteerde steekproef. Door de manier van rekrutering, waarbij er gewerkt werd met onder andere universitaire creditstudenten, namen er in de dyslexiegroep voornamelijk hoogopgeleide participanten deel. Hierbij is er een vermoeden dat zij beter zijn in

het compenseren voor lees- en spellingsmoeilijkheden in vergelijking met laagopgeleide dyslectici (Gelbar et al., 2018). Daarom is het belangrijk om voorzichtig om te gaan met het generaliseren van de resultaten naar volwassenen met dyslexie die lager opgeleid zijn.

Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

In deze masterproef wordt er onderzoek gedaan naar de interhemisferische transfer die via het corpus callosum verloopt. Deze studie richt zich op het corpus callosum in zijn algemeenheid, maar eigenlijk is het een heterogene structuur die onderverdeeld kan worden in diverse subregio's. Elk van deze subregio's is betrokken bij de callosale overdracht van diverse soorten info op de verschillende niveaus van verwerking (Bradshaw et al., 2020). Voor het verder ontwikkelen en uitbreiden van deze theorie is het van groot belang om de tot nu toe vergaarde kennis over de topografie van het corpus callosum in rekening te brengen. Het is mogelijk dat er bij dyslexie sprake is van een tekort in specifieke callosale subregio's, wat op zijn beurt dan weer kan leiden tot een verstoorde overdracht van specifieke soorten info. Wanneer dit in rekening zou gebracht worden, zou dit het mogelijk maken om de verschillende hypothesen van de theorie beter te testen, waardoor andere soorten informatie naast de visuele informatie onderzocht zouden kunnen worden bij mensen met dyslexie (Bradshaw et al., 2020).

Verder kan de bedenking gemaakt worden dat mogelijke theoretische verschilpunten in de interhemisferische overdracht eerder een gevolg van een slechte verwerving van leesvaardigheid is, in plaats van de oorzaak van dyslexie. Een onderzoek met volwassen analfabeten lijkt hier enige evidentie voor te bieden. In deze studie werd gevonden dat het leren lezen op volwassen leeftijd er lijkt voor te zorgen dat de witte stof binnen het splenium van het corpus callosum toeneemt (Carreiras et al., 2009). Hierbij kan de suggestie gemaakt worden dat het ontwikkelen van een efficiëntere interhemisferische overdracht gestimuleerd kan worden door het verwerven van leesvaardigheid. Ondanks dat er in deze masterproef onderzoek werd gedaan naar een verband tussen dyslexie en een tekort in een hemisferische overdracht, wordt de richting van de causaliteit in de relatie niet in rekening gebracht. Toekomstig longitudinaal onderzoek naar de interhemisferische transfer deficit theorie zal hier verder een antwoord op moeten bieden. In dit toekomstig onderzoek zou de interhemisferische transfer en leesvaardigheid bij kinderen at risk voor dyslexie, bijvoorbeeld doordat één of beide ouders dyslexie heeft/hebben, onderzocht kunnen worden voor en na het krijgen van leesonderwijs.

Conclusie

In deze masterproef werd onderzoek gedaan naar de interhemisferische transfer deficit theorie aan de hand van het visuele half-veld paradigma. Deze studie is gebaseerd op het onderzoek van Bradshaw et al. (2020) en probeerde aan de tekortkomingen in voorgaand

onderzoek tegemoet te komen. Een hiaat in voorgaande literatuur is dat vooral de gelateraliseerde functie 'taal' werd onderzocht in onderzoek naar dyslexie en de interhemisferische transfer. Om hier op in te spelen, werd er in deze studie dan ook voor gekozen om een andere gelateraliseerde functie, namelijk visuospatiële verwerking, in kaart te brengen met behulp van de symmetrie detectie taak. Daarnaast werd in de reeds bestaande literatuur rond de interhemisferische transfer bij dyslexie bijna uitsluitend accuraatheid in kaart gebracht zonder rekening te houden met de reactiesnelheid. Om ook deze tekortkoming te proberen invullen, werden in deze studie zowel de accuraatheid als de reactiesnelheid in kaart gebracht.

Uit de resultaten van deze studie kan geconcludeerd worden dat geen enkele van de vooropgestelde onderzoeksvragen en hypothesen bevestigd kon worden. Met andere woorden, deze studie kan geen evidentie bieden voor de interhemisferische transfer deficit theorie. Toch konden twee bevindingen in deze studie enkele resultaten uit voorgaand onderzoek repliceren. De bevinding dat het visuele half-veld paradigma een goede methode is om de interhemisferische transfer in kaart te brengen, kon in deze studie bevestigd worden. Daarnaast kon, in lijn met voorgaand onderzoek, de bevinding dat er een rechter hersenhelftdominantie is voor symmetriedetectie en dus meer algemeen visuospatiële verwerking, opnieuw terug gevonden worden aan de hand van de manipulatiecheck.

Op basis van dit onderzoek kan alvast geïmpliceerd worden dat er onduidelijkheid bestaat over de vraag of de theorie in zijn geheel niet opgaat, of dat de theorie wel opgaat bij de functie taal maar niet bij de functie visuospatiële verwerking. Om hier een antwoord op te kunnen bieden is replicatie-onderzoek, dat zich focust op taal, noodzakelijk.

Referenties

- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)* (5th edition). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Backes, W., Vuurman, E., Wennekes, R., Spronk, P., Wuisman, M., Van Engelshoven, J., & Jolles, J. (2002). Atypical Brain Activation of Reading Processes in Children With Developmental Dyslexia. *Journal of Child Neurology*, *17*(12), 867–871. <https://doi.org/10.1177/08830738020170121601>
- Bethmann, A., Tempelmann, C., De Bleser, R., Scheich, H., & Brechmann, A. (2007). Determining language laterality by fMRI and dichotic listening. *Brain Research*, *1133*, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.11.057>
- Binder, J. R., Swanson, S. J., Hammeke, T. A., Morris, G. L., Mueller, W. M., Fischer, M., Benbadis, S., Frost, J. A., Rao, S. M., & Haughton, V. M. (1996). Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. *Neurology*, *46*(4), 978–984. <https://doi.org/10.1212/wnl.46.4.978>
- Bisazza, A., Rogers, L.J., & Vallortigara, G. (1998). The Origins of Cerebral Asymmetry: A Review of Evidence of Behavioural and Brain Lateralization in Fishes, Reptiles and Amphibians. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *22*(3), 411–426. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(97\)00050-x](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(97)00050-x)
- Bloom, J. S., & Hynd, G. W. (2005). The Role of the Corpus Callosum in Interhemispheric Transfer of Information: Excitation or Inhibition? *Neuropsychology Review*, *15*(2), 59–71. <https://doi.org/10.1007/s11065-005-6252-y>
- Boada, R., & Pennington, B. F. (2006). Deficient implicit phonological representations in children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, *95*(3), 153–193. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.04.003>
- Borleffs, E., Maassen, B. A. M., Lyytinen, H., & Zwarts, F. (2019). Cracking the Code: The Impact of Orthographic Transparency and Morphological-Syllabic Complexity on Reading and Developmental Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02534>
- Bourne, V. J. (2006). The divided visual field paradigm: Methodological considerations. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, *11*(4), 373–393. <https://doi.org/10.1080/13576500600633982>
- Braams, T. (1996). *Dyslexie: een complex taalprobleem*. Boom Koninklijke Uitgevers.
- Bradshaw, A. R., Bishop, D. V. M., & Woodhead, Z. (2020). Testing the interhemispheric deficit theory of dyslexia using the visual half-field technique. *Quarterly Journal of*

- Experimental Psychology*, 73(7), 1004–1016.
<https://doi.org/10.1177/1747021819895472>
- Brambati, S. M., Termine, C., Ruffino, M., Stella, G., Fazio, F., Cappa, S. F., & Perani, D. (2004). Regional reductions of gray matter volume in familial dyslexia. *Neurology*, 63(4), 742–745. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000134673.95020.ee>
- Brown, I. S., & Felton, R. H. (1990). Effects of instruction on beginning reading skills in children at risk for reading disability. *Reading and Writing*, 2(3), 223–241. <https://doi.org/10.1007/bf00257973>
- Brown, W. E., Eliez, S., Menon, V., Rumsey, J. M., White, C. D., & Reiss, A. L. (2001). Preliminary evidence of widespread morphological variations of the brain in dyslexia. *Neurology*, 56(6), 781–783. <https://doi.org/10.1212/wnl.56.6.781>
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics. *Brain*, 122(10), 1901–1917. <https://doi.org/10.1093/brain/122.10.1901>
- Button, K. S., Ioannidis, J. P. A., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S. J., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(5), 365–376. <https://doi.org/10.1038/nrn3475>
- Byrne, B., Coventry, W. L., Olson, R. K., Samuelsson, S., Corley, R., Willcutt, E. G., Wadsworth, S., & DeFries, J. C. (2009). Genetic and environmental influences on aspects of literacy and language in early childhood: Continuity and change from preschool to Grade 2. *Journal of Neurolinguistics*, 22(3), 219–236. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2008.09.003>
- Cantalupo, C., Bisazza, A., & Vallortigara, G. (1995). Lateralization of predator-evasion response in a teleost fish (*Girardinus falcatus*). *Neuropsychologia*, 33(12), 1637–1646. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00043-7](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00043-7)
- Carreiras, M., Seghier, M. L., Baquero, S., Estévez, A., Lozano, A. B., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2009). An anatomical signature for literacy. *Nature*, 461(7266), 983–986. <https://doi.org/10.1038/nature08461>
- Chu, R. K., & Meltzer, J. A. (2019). Interhemispheric connectivity during lateralized lexical decision. *Human Brain Mapping*, 40(3), 818–832. <https://doi.org/10.1002/hbm.24414>
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area. *Brain*, 123(2), 291–307. <https://doi.org/10.1093/brain/123.2.291>

- Cousins, M., & Smyth, M. M. (2003). Developmental coordination impairments in adulthood. *Human Movement Science*, 22(4–5), 433–459. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.003>
- Cunningham, A. E., & Stanovich, K. E. (1998). The impact of print exposure on word recognition. In J.L. Metsala, L.C. Ehri (Eds.), *Word Recognition in Beginning Literacy* (pp. 235–62). Lawrence Erlbaum Associates.
- Daini, R., De Fabritiis, P., Ginocchio, C., Lenti, C., Lentini, C. M., Marzorati, D., & Lorusso, M. L. (2018). Revisiting Strophosymbolie: The Connection between Interhemispheric Transfer and Developmental Dyslexia. *Brain Sciences*, 8(4), 67. <https://doi.org/10.3390/brainsci8040067>
- De Pessemier, P., & Andries, C. (2009). *Gletschr Test voor Gevorderd Lezen & SCHrijven*. Garant.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.004>
- Dehaene, S., Le Clec'H, G., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport*, 13(3), 321–325. <https://doi.org/10.1097/00001756-200203040-00015>
- Démonet, J. F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 363(9419), 1451–1460. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(04\)16106-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(04)16106-0)
- Denenberg, V. H. (1981). Hemispheric laterality in animals and the effects of early experience. *Behavioral and Brain Sciences*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.1017/s0140525x00007330>
- Di Brina, C., Averna, R., Rampoldi, P., Rossetti, S., & Penge, R. (2018). Reading and Writing Skills in Children With Specific Learning Disabilities With and Without Developmental Coordination Disorder. *Motor Control*, 22(4), 391–405. <https://doi.org/10.1123/mc.2016-0006>
- Dowker, A. (2006). What can functional brain imaging studies tell us about typical and atypical cognitive development in children? *Journal of Physiology-Paris*, 99(4–6), 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.010>
- Dym, R. J., Burns, J., Freeman, K., & Lipton, M. L. (2011). Is Functional MR Imaging Assessment of Hemispheric Language Dominance as Good as the Wada Test?: A Meta-Analysis. *Radiology*, 261(2), 446–455. <https://doi.org/10.1148/radiol.11101344>
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Wilke, M., Eckert, M., Richards, T., Richards, A., & Berninger, V. (2005). Anatomical Signatures of Dyslexia in Children: Unique Information from

- Manual and Voxel Based Morphometry Brain Measures. *Cortex*, 41(3), 304–315. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70268-5](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70268-5)
- Eden, G. F., & Zeffiro, T. A. (1998). Neural Systems Affected in Developmental Dyslexia Revealed by Functional Neuroimaging. *Neuron*, 21(2), 279–282. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80537-1](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80537-1)
- Elbro, C., Borstrøm, I., & Petersen, D. K. (1998). Predicting Dyslexia From Kindergarten: The Importance of Distinctness of Phonological Representations of Lexical Items. *Reading Research Quarterly*, 33(1), 36–60. <https://doi.org/10.1598/rrq.33.1.3>
- Fernandino, L., Iacoboni, M., & Zaidel, E. (2007). The effects of bilateral presentations on lateralized lexical decision. *Brain and Cognition*, 64(1), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.11.004>
- Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 914–921. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.914>
- Fletcher, J. M., Lyon, G. R., Fuchs, L. S. & Barnes, M. A. (2007). *Learning disabilities: From identification to intervention*. Guilford Press.
- Friend, A., DeFries, J. C., & Olson, R. K. (2008). Parental Education Moderates Genetic Influences on Reading Disability. *Psychological Science*, 19(11), 1124–1130. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02213.x>
- Frith, U. (2013). Autism and Dyslexia. *Perspectives on Psychological Science*, 8(6), 670–672. <https://doi.org/10.1177/1745691613507457>
- Gazzaniga, M. S. (1995). Principles of human brain organization derived from split-brain studies. *Neuron*, 14(2), 217–228. [https://doi.org/10.1016/0896-6273\(95\)90280-5](https://doi.org/10.1016/0896-6273(95)90280-5)
- Gelbar, N. W., Bray, M., Kehle, T. J., Madaus, J. W., & Makel, C. (2018). Exploring the Nature of Compensation Strategies in Individuals With Dyslexia. *Canadian Journal of School Psychology*. <https://doi.org/10.1177/0829573516677187>
- Gerrits, R., De Clercq, P., Verhelst, H., & Vingerhoets, G. (2020). Evaluating the performance of the visual half field paradigm as a screening tool to detect right hemispheric language dominance. *Laterality*, 25(6), 722–739. <https://doi.org/10.1080/1357650x.2020.1854279>
- Ghesquière, P., Boets, B., Gadeyne, E., & Vandewalle, E. (2011). Dyslexie: een beknopt wetenschappelijk overzicht. In A. Geudens, D. Baeyens, K. Schraeyen, K. Maetens, J. De Brauwier, & M. Loncke (Eds.), *Jongvolwassenen met dyslexie. Diagnostiek en begeleiding in wetenschap en praktijk* (pp. 41-54). Acco.

- Gotts, S. J., Jo, H. J., Wallace, G. L., Saad, Z. S., Cox, R. W., & Martin, A. (2013). Two distinct forms of functional lateralization in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(36). <https://doi.org/10.1073/pnas.1302581110>
- Grigorenko, E. L., Compton, D. L., Fuchs, L. S., Wagner, R. K., Willcutt, E. G., & Fletcher, J. M. (2020). Understanding, educating, and supporting children with specific learning disabilities: 50 years of science and practice. *American Psychologist*, *75*(1), 37–51. <https://doi.org/10.1037/amp0000452>
- Hayiou-Thomas, M. E., Dale, P. S., & Plomin, R. (2012). The etiology of variation in language skills changes with development: a longitudinal twin study of language from 2 to 12 years. *Developmental Science*, *15*(2), 233–249. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01119.x>
- Hellige, J. B. (1993). *Hemispheric Asymmetry: What's Right and What's Left* (Vol. 6). Harvard University Press.
- Henderson, L., Barca, L., & Ellis, A. W. (2007). Interhemispheric cooperation and non-cooperation during word recognition: Evidence for callosal transfer dysfunction in dyslexic adults. *Brain and Language*, *103*(3), 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.04.009>
- Hoefl, F., Meyler, A., Hernandez, A., Juel, C., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., McMillon, G., Kolchugina, G., Black, J. M., Faizi, A., Deutsch, G. K., Siok, W. T., Reiss, A. L., Whitfield-Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. E. (2007). Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading ability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(10), 4234–4239. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609399104>
- Horwitz, B., Rumsey, J. M., & Donohue, B. C. (1998). Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *95*(15), 8939–8944. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.15.8939>
- Hunter, Z. R., & Brysbaert, M. (2008). Visual half-field experiments are a good measure of cerebral language dominance if used properly: Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, *46*(1), 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.07.007>
- Illingworth, S., & Bishop, D. V. M. (2009). Atypical cerebral lateralisation in adults with compensated developmental dyslexia demonstrated using functional transcranial Doppler ultrasound. *Brain and Language*, *111*(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.05.002>

- Jeffery, G. (2001). Architecture of the Optic Chiasm and the Mechanisms That Sculpt Its Development. *Physiological Reviews*, 81(4), 1393–1414. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1393>
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies. *NeuroImage*, 20(2), 693–712. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00343-4](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00343-4)
- Jordan, T. R., Patching, G. R., & Milner, A. D. (1998). Central Fixations are Inadequately Controlled by Instructions Alone: Implications for Studying Cerebral Asymmetry. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51(2), 371–391. <https://doi.org/10.1080/713755764>
- Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D. E., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of Temporo-Parietal White Matter as a Basis for Reading Ability. *Neuron*, 25(2), 493–500. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80911-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80911-3)
- Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Flöel, A., Ringelstein, E. B., & Henningsen, H. (2000a). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123(12), 2512–2518. <https://doi.org/10.1093/brain/123.12.2512>
- Knecht, S., Deppe, M., Dräger, B., Bobe, L., Lohmann, H., Ringelstein, E. B., & Henningsen, H. (2000b). Language lateralization in healthy right-handers. *Brain*, 123(1), 74–81. <https://doi.org/10.1093/brain/123.1.74>
- Kronbichler, M., Wimmer, H., Staffen, W., Hutzler, F., Mair, A., & Ladurner, G. (2008). Developmental dyslexia: Gray matter abnormalities in the occipitotemporal cortex. *Human Brain Mapping*, 29(5), 613–625. <https://doi.org/10.1002/hbm.20425>
- Landerl, K., Wimmer, H., & Frith, U. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition*, 63(3), 315–334. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(97\)00005-x](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(97)00005-x)
- Lindell, A. K., Nicholls, M. E. R., & Castles, A. E. (2003). The Effect of Orthographic Uniqueness and Deviation Points on Lexical Decisions: Evidence from Unilateral and Bilateral-Redundant Presentations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 56(2), 287–307. <https://doi.org/10.1080/02724980244000341>
- Lindell, A. K., Nicholls, M. E. R., Kwanten, P. J., & Castles, A. (2005). Sequential processing in hemispheric word recognition: The impact of initial letter discriminability on the OUP naming effect. *Brain and Language*, 93(2), 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2004.09.006>

- Lonigan, C. J., & Whitehurst, G. J. (1998). Relative efficacy of parent and teacher involvement in a shared-reading intervention for preschool children from low-income backgrounds. *Early Childhood Research Quarterly*, *13*(2), 263–290. [https://doi.org/10.1016/s0885-2006\(99\)80038-6](https://doi.org/10.1016/s0885-2006(99)80038-6)
- Manis, F. R., McBride-Chang, C., Seidenberg, M. S., Keating, P., Doi, L. M., Munson, B., & Petersen, A. (1997). Are Speech Perception Deficits Associated with Developmental Dyslexia? *Journal of Experimental Child Psychology*, *66*(2), 211–235. <https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2383>
- Markee, T., Brown, W. R., Moore, L. H., & Theberge, D. C. (1996). Callosal function in dyslexia: Evoked potential interhemispheric transfer time and bilateral field advantage. *Developmental Neuropsychology*, *12*(4), 409–428. <https://doi.org/10.1080/87565649609540661>
- Maughan, B. & Yule, W. (1994). Reading and Other Learning Disabilities. In M. Rutter, E. Taylor & L. Hersov (Eds.), *Child and Adolescent Psychiatry: Modern Approaches* (3rd edition) (pp. 647-665). Blackwell Scientific Publications.
- Mazoyer, B., Zago, L., Jobard, G., Crivello, F., Joliot, M., Perchey, G., Mellet, E., Petit, L., & Tzourio-Mazoyer, N. (2014). Gaussian Mixture Modeling of Hemispheric Lateralization for Language in a Large Sample of Healthy Individuals Balanced for Handedness. *PLOS ONE*, *9*(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101165>
- McCandliss, B. D., & Noble, K. G. (2003). The development of reading impairment: A cognitive neuroscience model. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, *9*(3), 196–204. <https://doi.org/10.1002/mrdd.10080>
- Miller, J. (1982). Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology*, *14*(2), 247–279. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(82\)90010-x](https://doi.org/10.1016/0010-0285(82)90010-x)
- Mohr, B., Endrass, T., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2007). ERP correlates of the bilateral redundancy gain for words. *Neuropsychologia*, *45*(9), 2114–2124. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.015>
- Mohr, B., Pulvermüller, F., Mittelstädt, K., & Rayman, J. (1996). Multiple simultaneous stimulus presentation facilitates lexical processing. *Neuropsychologia*, *34*(10), 1003–1013. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(96\)00006-1](https://doi.org/10.1016/0028-3932(96)00006-1)
- Mohr, B., Pulvermüller, F., Rayman, J., & Zaidel, E. (1994). Interhemispheric cooperation during lexical processing is mediated by the corpus callosum: Evidence from the split-brain. *Neuroscience Letters*, *181*(1–2), 17–21. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(94\)90550-9](https://doi.org/10.1016/0304-3940(94)90550-9)

- Moll, K., Snowling, M. J., & Hulme, C. (2020). Introduction to the Special Issue “Comorbidities between Reading Disorders and Other Developmental Disorders”. *Scientific Studies of Reading*, 24(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1702045>
- Monaghan, P., & Shillcock, R. (2008). Hemispheric dissociation and dyslexia in a computational model of reading☆. *Brain and Language*, 107(3), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.12.005>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Pernet, C., Andersson, J., Paulesu, E., & Démonet, J. F. (2009). When all hypotheses are right: A multifocal account of dyslexia. *Human Brain Mapping*, 30(7), 2278–2292. <https://doi.org/10.1002/hbm.20670>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2015). Developmental Dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 11(1), 283–307. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112842>
- Petretto, D. R., & Masala, C. (2017). Dyslexia and Specific Learning Disorders: New International Diagnostic Criteria. *Journal of Childhood & Developmental Disorders*, 03(04). <https://doi.org/10.4172/2472-1786.100057>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Skudlarski, P., Marchione, K. E., Jenner, A. R., Fletcher, J. M., Liberman, A. M., Shankweiler, D. P., Katz, L., Lacadie, C., & Gore, J. C. (2000). The Angular Gyrus in Developmental Dyslexia: Task-Specific Differences in Functional Connectivity Within Posterior Cortex. *Psychological Science*, 11(1), 51–56. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00214>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders*, 34(6), 479–492. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(01\)00060-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(01)00060-0)
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Ramus, F. (2001). Talk of two theories. *Nature*, 412(6845), 393–395. <https://doi.org/10.1038/35086683>
- Raschle, N. M., Chang, M., & Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *NeuroImage*, 57(3), 742–749. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.055>

- Richlan, F. (2020). The Functional Neuroanatomy of Developmental Dyslexia Across Languages and Writing Systems. *Frontiers in Psychology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00155>
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2009). Functional abnormalities in the dyslexic brain: A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, *30*(10), 3299–3308. <https://doi.org/10.1002/hbm.20752>
- Ringo, J. L., Doty, R. W., Demeter, S., & Simard, P. Y. (1994). Time Is of the Essence: A Conjecture that Hemispheric Specialization Arises from Interhemispheric Conduction Delay. *Cerebral Cortex*, *4*(4), 331–343. <https://doi.org/10.1093/cercor/4.4.331>
- Sabbah, P., Chassoux, F., Leveque, C., Landre, E., Baudoin-Chial, S., Devaux, B., Mann, M., Godon-Hardy, S., Nioche, C., Aït-Ameur, A., Sarrazin, J. L., Chodkiewicz, J. P., & Cordoliani, Y. S. (2003). Functional MR imaging in assessment of language dominance in epileptic patients. *NeuroImage*, *18*(2), 460–467. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00025-9](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00025-9)
- Scarborough, H. S., Dobrich, W., & Hager, M. (1991). Preschool Literacy Experience and Later Reading Achievement. *Journal of Learning Disabilities*, *24*(8), 508–511. <https://doi.org/10.1177/002221949102400811>
- Scarr, S., & McCartney, K. (1983). How People Make Their Own Environments: A Theory of Genotype-Environment Effects. *Child Development*, *54*(2), 424–435. <https://doi.org/10.2307/1129703>
- Schlaggar, B. L., & McCandliss, B. D. (2007). Development of Neural Systems for Reading. *Annual Review of Neuroscience*, *30*(1), 475–503. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.28.061604.135645>
- Schneider, E. (2009). Dyslexie and foreign language learning. In G. Reid (Red.), *The Routledge Companion to Dyslexia* (pp. 297-310). Routledge
- Schulte-Körne, G. (2014). Specific learning disabilities – from DSM-IV to DSM-5. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, *42*(5), 369–372. <https://doi.org/10.1024/1422-4917/a000312>
- Selnes, O. A. (2000). The Ontogeny of Cerebral Language Dominance. *Brain and Language*, *71*(1), 217–220. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2253>
- Sénéchal, M. (2014). Young children’s home literacy experiences. In A. Pollatsek, R. Treiman (Reds.), *The Oxford Handbook of Reading* (pp. 397-414), Oxford University Press.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R., & Démonet, J. F. (2001). Perceptual Discrimination of Speech Sounds in Developmental Dyslexia. *Journal of Speech*,

- Language, and Hearing Research*, 44(2), 384–399. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/032\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/032))
- Shaywitz, B. A. (1998). 210. Functional organization of the brain for reading and dyslexia. *Biological Psychiatry*, 43(8), S62. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)90658-8](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)90658-8)
- Shaywitz, B., Shaywitz, S., Pugh, K., Mencl, E., Fulbright, R., Constable, T., Skudlarski, P., Jenner, A., Fletcher, J., Marchione, K., Shankweiler, D., Katz, L., Lacadie, C., & Gore, J. (2000). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *NeuroImage*, 11(5), S115. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(00\)91048-6](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(00)91048-6)
- Shaywitz, S. E. (1990). Prevalence of reading disability in boys and girls. Results of the Connecticut Longitudinal Study. *JAMA*, 264(8), 998–1002. <https://doi.org/10.1001/jama.264.8.998>
- Shaywitz, S. E., Morris, R., & Shaywitz, B. A. (2008). The Education of Dyslexic Children from Childhood to Young Adulthood. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 451–475. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093633>
- Silani, G., Frith, U., Démonet, J. F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study. *Brain*, 128(10), 2453–2461. <https://doi.org/10.1093/brain/awh579>
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000). Cerebral Mechanisms Involved in Word Reading in Dyslexic Children: a Magnetic Source Imaging Approach. *Cerebral Cortex*, 10(8), 809–816. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.8.809>
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Castillo, E. M., & Papanicolaou, A. C. (2002a). Brain Mechanisms for Reading Words and Pseudowords: an Integrated Approach. *Cerebral Cortex*, 12(3), 297–305. <https://doi.org/10.1093/cercor/12.3.297>
- Simos, P. G., Fletcher, J. M., Bergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., Davis, R. N., Fitzgerald, M., & Papanicolaou, A. C. (2002b). Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology*, 58(8), 1203–1213. <https://doi.org/10.1212/wnl.58.8.1203>
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2de editie). Wiley-Blackwell.
- Snowling, M. J., & Hulme, C. (2011). Evidence-based interventions for reading and language difficulties: Creating a virtuous circle. *British Journal of Educational Psychology*, 81(1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2010.02014.x>

- Stanovich, K. E. (1986). Matthew Effects in Reading: Some Consequences of Individual Differences in the Acquisition of Literacy. *Reading Research Quarterly*, 21(4), 360–407. <https://doi.org/10.1598/rrq.21.4.1>
- Steinbrink, C., Vogt, K., Kastrup, A., Müller, H. P., Juengling, F. D., Kassubek, J., & Riecker, A. (2008). The contribution of white and gray matter differences to developmental dyslexia: Insights from DTI and VBM at 3.0T. *Neuropsychologia*, 46(13), 3170–3178. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.015>
- Stevenson, J. (1999). The genetics of specific learning disorders. In K. Whitmore, H. Hart & G. Willems (Eds.), *A neurodevelopmental approach to specific learning disorders* (pp. 157-165), Mac Keith Press.
- Sylva, K., Scott, S., Totsika, V., Ereky-Stevens, K., & Crook, C. (2008). Training parents to help their children read: A randomized control trial. *British Journal of Educational Psychology*, 78(3), 435–455. <https://doi.org/10.1348/000709907x255718>
- Szenkovits, G., & Ramus, F. (2005). Exploring dyslexics' phonological deficit I: lexical vs sub-lexical and input vs output processes. *Dyslexia*, 11(4), 253–268. <https://doi.org/10.1002/dys.308>
- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), 2860–2865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0030098100>
- Tops, W., Callens, M., Lammertyn, J., Van Hees, V., & Brysbaert, M. (2012). Identifying students with dyslexia in higher education. *Annals of Dyslexia*, 62(3), 186–203. <https://doi.org/10.1007/s11881-012-0072-6>
- Tops, W., Nouwels, A., & Brysbaert, M. (2019). Een nieuw screeningsinstrument voor leesonderzoek bij Nederlandse studenten: de Leestest 1-minuut studenten (LEMs). *Stem-, Spraak- En Taalpathologie*, 24, 1–22. <https://doi.org/10.21827/5cac4867b72fe>
- Torgesen, J. K. (2005). Recent discoveries on remedial interventions for children with dyslexia. In M.J. Snowling, C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A Handbook* (pp. 521–37). Wiley-Blackwell.
- Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., Jones, K. M., & Zeffiro, T. A. (2002). Meta-Analysis of the Functional Neuroanatomy of Single-Word Reading: Method and Validation. *NeuroImage*, 16(3), 765–780. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1131>

- Vallortigara, G., Chiandetti, C., & Sovrano, V. A. (2011). Brain asymmetry (animal). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2(2), 146–157. <https://doi.org/10.1002/wcs.100>
- van den Bos, K.P., Spelberg, H.C., Scheepers, A.J.M., & de Vries, J.R. (1999). *De klepel vorm A en B, een test voor leesvaardigheid van pseudowoorden. Verantwoording, handleiding, diagnostiek en behandeling*. Swets & Zeitlinger.
- Van Der Cruyssen, I., Gerrits, R., & Vingerhoets, G. (2020). The right visual field advantage for word processing is stronger in older adults. *Brain and Language*, 205, 104786. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104786>
- Van Der Haegen, L., Cai, Q., Seurinck, R., & Brysbaert, M. (2011). Further fMRI validation of the visual half field technique as an indicator of language laterality: A large-group analysis. *Neuropsychologia*, 49(10), 2879–2888. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.014>
- Van der Knaap, L. J., & Van der Ham, I. J. M. (2011). How does the corpus callosum mediate interhemispheric transfer? A review. *Behavioural Brain Research*, 223(1), 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.04.018>
- Vanderauwera, J., Altarelli, I., Vandermosten, M., De Vos, A., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2016). Atypical Structural Asymmetry of the Planum Temporale is Related to Family History of Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 28(1), 63–72. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw348>
- Vandermosten, M., Boets, B., Luts, H., Poelmans, H., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2011). Impairments in speech and nonspeech sound categorization in children with dyslexia are driven by temporal processing difficulties. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.12.015>
- Vandermosten, M., Boets, B., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2012). A qualitative and quantitative review of diffusion tensor imaging studies in reading and dyslexia. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(6), 1532–1552. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.04.002>
- Velay, J., Daffaure, V., Giraud, K., & Habib, M. (2002). Interhemispheric sensorimotor integration in pointing movements: a study on dyslexic adults. *Neuropsychologia*, 40(7), 827–834. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(01\)00177-4](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(01)00177-4)
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., Small, S., & Fanuele, D. P. (2006). Response to Intervention as a Vehicle for Distinguishing Between Children With and Without Reading

- Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 39(2), 157–169. <https://doi.org/10.1177/00222194060390020401>
- Verma, A., Van der Haegen, L., & Brysbaert, M. (2013). Symmetry detection in typically and atypically speech lateralized individuals: A visual half-field study. *Neuropsychologia*, 51(13), 2611–2619. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.005>
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- Vingerhoets, G. (2019). Phenotypes in hemispheric functional segregation? Perspectives and challenges. *Physics of Life Reviews*, 30, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.06.002>
- Wada, J., & Rasmussen, T. (1960). Intracarotid Injection of Sodium Amytal for the Lateralization of Cerebral Speech Dominance. *Journal of Neurosurgery*, 17(2), 266–282. <https://doi.org/10.3171/jns.1960.17.2.0266>
- Wadsworth, S. J., DeFries, J. C., Stevenson, J., Gilger, J. W., & Pennington, B. F. (1992). Gender Ratios Among Reading-Disabled Children and Their Siblings as a Function of Parental Impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33(7), 1229–1239. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1992.tb00941.x>
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Psychiatric Comorbidity in Children and Adolescents with Reading Disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41(8), 1039–1048. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00691>
- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson, R. K., & DeFries, J. C. (2007). Understanding comorbidity: A twin study of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Medical Genetics - Neuropsychiatric Genetics*, 144B(6), 709–714. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.30310>
- Willemin, J., Hausmann, M., Brysbaert, M., Dael, N., Chmetz, F., Fioravera, A., Gieruc, K., & Mohr, C. (2016). Stability of right visual field advantage in an international lateralized lexical decision task irrespective of participants' sex, handedness or bilingualism. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 21(4–6), 502–524. <https://doi.org/10.1080/1357650x.2015.1130716>
- Xu, M., Yang, J., Siok, W. T., & Tan, L. H. (2015). Atypical lateralization of phonological working memory in developmental dyslexia. *Journal of Neurolinguistics*, 33, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2014.07.004>

- Zaidel, E., Clarke, J.M., & Suyenobu, B. (1990). Hemispheric independence: A paradigm case for cognitive neuroscience. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive functions* (pp. 297-355). Guilford Press.
- Zhang, K., & Sejnowski, T. J. (2000). A universal scaling law between gray matter and white matter of cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(10), 5621–5626. <https://doi.org/10.1073/pnas.090504197>