

DE IMPACT VAN TWEETALIGHEID OP HET HERSTEL VAN FONOLOGISCH BEGRIP BIJ PERSONEN MET AFASIE

Miet De Letter¹, Elissa-Marie Cocquyt¹, Oona Cromheecke¹, Yana Criel¹, Elien De Cock², Veerle De Herdt², Arnaud Szmalec^{3,4} en Wouter Duyck⁴

¹ Departement Revalidatiewetenschappen, Universiteit Gent, Gent, België

² Departement Neurologie, Universitair Ziekenhuis Gent, Gent, België

³ Psychological Sciences Research Institute, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, België

⁴ Departement Experimentele Psychologie, Universiteit Gent, Gent, België

Binnen de afasierevalidatie staan we aan de vooravond van het introduceren van neuroplasticiteitsgerichte diagnostiek. Neuroplasticiteitsgericht onderzoek is niet alleen sensitiever dan pen-en-papiertaken, het geeft ons ook een betrouwbaar zicht op de manier waarop de hersenen zich reorganiseren tijdens het afasieherstel (plasticiteit). Bovendien doen educatie en globalisering het aantal meertalige afasiepatiënten toenemen, wat het belang van meertaligheid binnen dit onderzoek in de verf zet. Het doel van deze studie is om de impact van tweetaligheid op de cerebrale reorganisatie van fonologisch begrip na een beroerte te meten en een correlatie tussen de elektrofyysiologische en de gedragsmatige resultaten in kaart te brengen. Het auditief fonologisch discriminatievermogen werd gemeten bij 17 personen met afasie (6 mono- en 11 bilingualen, 41-71 jaar) en dit op twee tijdstippen binnen het herstel van afasie. De resultaten van dit onderzoek geven aan dat bilinguale afasiepatiënten meer mogelijkheden hebben om hun verwerkingsnelheid te verbeteren, wat resulteert in een verkorting van de latentietijd van de Mismatch Negativity in de loop van de tijd. Vermoedelijk is dit gerelateerd aan de cognitieve controlemechanismen waarop bilingualen kunnen terugvallen, terwijl monolingualen enkel beroep kunnen doen op restoratieve mechanismen.

Trefwoorden

tweetaligheid, fonologie, afasie, MMN en P300

Inleiding

Het herstel van afasie na een beroerte is afhankelijk van een combinatie van letselgerelateerde factoren zoals de aard, lokalisatie en grootte van het letsel en de aard van de hemodynamische respons en niet-letselgerelateerde factoren zoals de aard, type en de ernst van afasie. Het herstel van afasie is niet afhankelijk van geslacht, leeftijd of handvoorkeur (Kuzmina et al., 2019). In de acute en subacute fase (≤ 6 maanden post stroke) is het herstel van afasie afhankelijk van een combinatie van spontaan herstel en logopedische revalidatie terwijl in de chronische fase (> 6 maanden post stroke) het herstel van afasie meer therapiegerelateerd is (Watila et al., 2015). Het herstel van afasie verloopt niet parallel voor alle modaliteiten. Zo kunnen we tussen 5 en 9 maanden na een beroerte het meest optimale en consistente herstel verwachten bij fonologische begripsproblemen (Robson et al., 2019). Anderzijds betekent dit dat in deze periode een persistentie in centraal akoestische en fonologische problemen een risico voor blijvende taalbegripsproblemen inhoudt (Robson et al., 2019).

Letsel- en niet-letselgerelateerde factoren, de fase van het herstelproces, alsook de aard, frequentie en intensiteit van therapie zijn bepalend voor de manier waarop de

hersenen zich zullen reorganiseren tijdens de revalidatie (= neuroplasticiteit). De reorganisatie van taal en cognitie na een beroerte kan gemeten worden aan de hand van event-related potentials (ERP's). ERP's geven ons een idee over de amplitude (Csépe et al., 2001; Ilvonen et al., 2004; Dejanovic et al., 2015), de latentie (Luck, 2014), en de bron (Luck, 2014) van de activatie die nodig is om bijvoorbeeld een taaltaak uit te voeren. De taaltaken die we gebruiken om de elektrofyysiologische componenten van taal te onderzoeken noemen we paradigma's. Binnen de logopedische discipline beschikken we over paradigma's voor het fonologisch, semantisch en grammaticaal begrips- en productievermogen. In dit artikel zullen we ons verder focussen op het fonologisch begrip. Binnen het fonologisch begrip wordt het fonologisch discriminatievermogen onderzocht aan de hand van pre-attentieve (onbewuste) Mismatch Negativity (MMN)-taken of attentieve (bewuste) P300-taken. Het woord 'preattentief' verwijst naar het onbewust uitvoeren van de taak, bijvoorbeeld het afnemen van de taalparadigma's terwijl de proefpersoon naar een filmpje kijkt. Het woord 'attentief' verwijst naar het bewust uitvoeren van de taaktaak, bijvoorbeeld door op een knop te drukken bij een bepaalde stimulus.

Een MMN is een negatieve golf in een auditief uitgelokte potentiaal die optreedt als antwoord van de hersenen op een afwijkende stimulus in een reeks van repetitieve stimuli. Deze potentiaal is zichtbaar rond 150-200ms. Een P300

treedt, zoals de MMN, op als antwoord van de hersenen op een afwijkende stimulus in een reeks van repetitieve stimuli. Het is een positieve golf in een auditief uitgelokte potentiaal, die optreedt rond 300ms.

Naast de amplitude en latentietijd van een ERP geeft de cerebrale topografie van de uitgelokte potentiaal interessante informatie. Uit de literatuur weten we dat ernstige auditieve begripsproblemen bij personen met een afasie in de chronische fase een versterking van de bidirectionele connecties tussen de linker en rechter STG teweegbrengt, terwijl lichte auditieve begripsproblemen met een unilaterale reorganisatie in de linker superieure temporale gyrus gepaard gaan (Woodhead et al., 2017). Daarnaast zal een reorganisatie in de contralaterale, niet-homotopische regio's aan het letsel, een vertraging van de taalverwerking met zich meebrengen. Bij het meten van neuroplasticiteit tijdens het herstel van afasie is het dus van belang om zowel de amplitude, de latentietijd en bron in kaart te brengen.

De akoestisch-fonologische verwerking bestaat uit een akoestische (pre-fonologische) en een fonologische inputverwerking. De akoestische (pre-fonologische) verwerking is gerelateerd aan een activiteit in het linker mid-posterieure superieure deel van de temporale gyrus (STG) en sulcus (STS). De onderliggende witte stof wordt functioneel geassocieerd met relatief eenvoudige spectrotimpele kenmerken (Hall et al., 2000; Menon et al., 2002; Husain et al., 2004) en met het analyseren van auditief fonologische informatie (Binder et al., 2000; Benson et al., 2001). Aangezien de onderliggende structuren van akoestisch-fonologische processen slechts een beperkte neuroplasticiteit kunnen ondergaan, is de functionele integriteit van deze structuren na een beroerte een belangrijke prognostische indicator voor het herstel van begrip (Robson et al., 2019). De fonologische inputverwerking dekt het fonologische analyse- en discriminatievermogen en het fonologisch korte termijngeheugen (Robson et al., 2011). Los van de individuele verschillen die kunnen optreden, wordt het onderliggend netwerk voor auditieve discriminatie op woordniveau gesitueerd in het posterieure deel van de STG (Boatman et al., 2005) en de linker en rechter supramarginale gyri (Hartwigsen et al., 2010).

Vroeg- of gelijktijdige bilingualen hebben respectievelijk een 'native (L1) en native-like (L2)' taal (Li en Moyer, 2008). Anderzijds kunnen de moedertaal (L1) en tweede taal (L2) consecutief verworven worden, wat het meest voorkomt in de Westeuropese landen.

Afasie komt evenveel voor bij multi- als monolingualen (Alladi et al., 2016). Het bestuderen van het herstel van afasie bij meertalige personen is interessant omdat een hersenletsel niet noodzakelijkerwijs dezelfde invloed heeft op L1 als L2 (Verreyt, De Letter, Hemelsoet, Santens, & Duyck, 2013; Van der Linden et al., 2018a; Van der Linden et al., 2018b). Taalswitching en -controle doen beroep op dezelfde neurale structuren als non-verbale cognitieve controlemechanismen (Abutalebi & Green, 2008). Hierdoor kunnen we veronderstellen dat tweetaligheid gunstige gevolgen kan hebben voor cognitie buiten het linguïstische domein, d.w.z. het zogenaamde tweetalige voordeel (De Bruijn, Treccani, & Della Sala, 2015). Woumans en collega's toonden inderdaad aan dat meertaligheid bescherming kan bieden tegen cognitieve achteruitgang, zoals blijkt in het onderzoek van neurodegeneratieve ziekten zoals de ziekte van Alzheimer (Woumans et al., 2015). Deze bescherming wordt ook wel 'cognitieve reserve' genoemd. Cognitieve reserve wordt ook voor afasiepatiënten als een 'beschermende' factor beschouwd, aangezien meertalige personen met afasie een beter herstel na een beroerte zouden vertonen (Alladi et al., 2016). Bilinguale afasiepatiënten zouden sterkere verbindingen tussen taal en cognitieve controlenetwerken ontwikkelen en dit in het bijzonder voor de taal die een beter herstel vertoont. Men veronderstelt dat dit verband houdt met de aard van de stimulering van het taalcontrolenetwerk tijdens de taalontwikkeling (Abutalebi & Green, 2008). Longitudinaal ERP-onderzoek naar de neuroplasticiteit van taal- en taalcontrolenetwerken van bilingualen tijdens het herstel van afasie na een beroerte is naar onze mening nog onvoldoende gebeurd.

De huidige studie heeft tot doel de impact van tweetaligheid op de cerebrale reorganisatie van fonologisch begrip na een beroerte te meten en een correlatie tussen de elektrofyysiologische en de gedragsmatige resultaten na te gaan. Vanuit de hypothese van cognitieve reserve als beschermende factor voor afasiepatiënten, vermoeden we dat het fonologisch begrip op lange termijn beter bewaard zal zijn bij bilinguale dan bij monolinguale afasiepatiënten. In die lijn veronderstellen we bij bilinguale afasiepatiënten ERP-amplitudes en latentietijden die dicht bij de normatieve waarden zullen liggen.

Methode

Om zicht te verkrijgen op de impact van tweetaligheid op afasieherstel werden een aantal sub-onderzoeksvragen vooropgesteld:

1 Heeft tweetaligheid een invloed op de cerebrale reorganisatie van fonologisch begrip na een beroerte?

1.1 Is er een correlatie tussen de fonologische MMN- en P300-parameters (amplitude en latentie) op T1 en T2 in de volledige groep afasiepatiënten?

1.2 Verschillen de fonologische MMN- en P300-parameters van mono- en bilinguale afasiepatiënten van de normatieve data?

1.3 Is er een significant verschil tussen mono- en bilinguale afasiepatiënten wat betreft de evolutie van de fonologische MMN- en P300-parameters tussen T1 en T2?

1.4 Is er een correlatie tussen factoren zoals leeftijd, opleidingsniveau en de vaardigheid in/het gebruik van de tweede taal enerzijds en de fonologische MMN- en P300-parameters anderzijds?

2 Is er een correlatie tussen de elektrofysiologische en de gedragsmatige resultaten?

Patiënten

Er namen 17 rechtshandige afasiepatiënten (14 mannen en 3 vrouwen) met een gemiddelde leeftijd van 56 jaar (range 41-71 jaar) deel aan deze studie. Alle patiënten hadden een afasie na een primair CVA in de linker hemisfeer en kenden geen neurologische of psychiatrische antecedenten voor het optreden van het CVA. Ze bevonden zich allemaal in de herstelfase van afasie (gemiddeld 38 maanden na CVA, range 5-89). De demografische informatie van de patiënten is terug te vinden in Appendix 1. De personen met afasie hadden een intact functioneel begrip, geen cognitieve problemen naast de taalstoornis en geen uitgesproken gehoorproblemen. Elke patiënt werd, zowel gedragsmatig als elektrofysiologisch, tweemaal getest (T1 en T2) met minimum 5 maanden tussen beide meetmomenten. Tussen de testmomenten in verkregen sommige patiënten logopedische therapie en dit met een frequentie van 1 à 5 logopedische sessies van 30' tot 60' per week.

Deze studie werd goedgekeurd door het Ethisch Comité van het Universitair Ziekenhuis Gent en er werd een informed consent verkregen van alle deelnemende afasiepatiënten.

Procedure

De data van patiënten 1-9 werden prospectief en van patiënten 10-17 retrospectief verzameld. De gegevens omtrent de taalvaardigheid (tweede taal) voor en na het CVA werden bij alle patiënten retrospectief bevestigd (Appendix 2).

Elektrofysiologische registratie, taken en analyse

De EEG-data werden geregistreerd aan de hand van de BrainVision recorder software (Brain Products, Germany) en een EEG-cap (Easycap) met 32 elektroden werd geplaatst volgens het internationale 10-20 systeem. De elektrode-impedanties waren telkens lager dan 10 k Ω . FCz en AFz werden gebruikt als respectievelijk de online referentie-elektrode en de aardingselektrode.

Tijdens de EEG-registratie werden twee fonologische oddball-taken (MMN en P300) aangeboden met als standaard stimulus /b/ en als afwijkende stimulus /g/, dewelke afwijkend is qua articulatieplaats. Voor beide taken was de probabiliteit van de standaard stimulus 80% en van de afwijkende stimulus 20%, op een totaal van respectievelijk 750 (MMN) en 150 trials (P300). Alle stimuli hadden een duur van 250 ms en werden binauraal gepresenteerd aan de hand van Apple Inc. earphones. Het interstimulus interval (ISI) was 500 ms voor de preattentieve MMN-taak en 2000 ms voor de attentieve P300-taak. Per taak werden de stimuli ad random aangeboden, doch was er nooit een opeenvolging van twee afwijkende stimuli. Beide foneemdiscriminatietaken werden ontwikkeld en genormeerd binnen de onderzoeksgroep BrainComm (Aerts et al., 2013). Om een MMN uit te lokken, dienden de patiënten geen aandacht te besteden aan de auditief aangeboden stimuli terwijl ze keken naar een tekenfilm. Om een P300 uit te lokken, dienden de patiënten aandachtig te luisteren en op een knop te drukken telkens wanneer ze de afwijkende stimulus /g/ hoorden.

De analyses van de MMN en P300 werden uitgevoerd aan de hand van BrainVision Analyzer 2.1 (Brain Products, Munich, Germany). De data werden eerst gefilterd zodoende ruis met hoge (bijvoorbeeld spierartefacten) en lage frequenties (bijvoorbeeld zweetartefacten) te onderdrukken. Hiervoor werden een high-pass filter van 0.5 Hz, een low-pass-filter van 30 Hz en een notch-filter van 50 Hz gebruikt. Artefacten die veroorzaakt werden door oogknippers en

horizontale oogbewegingen werden geïdentificeerd en verwijderd aan de hand van een ICA (independent component analysis). Voor de verdere analyses werd een nieuwe referentie gekozen, namelijk het gemiddelde van het linker en rechter mastoïd. Voor de MMN-taak waren de epochs (tijdsvensters) 500 ms lang en voor de P300-taak 1100 ms lang. Een baselinecorrectie van 100 ms werd uitgevoerd en de resterende artefacten van $\pm 100\mu\text{V}$ werden semi-automatisch verwijderd. Tot slot werd een gemiddelde gemaakt van de activiteit die werd uitgelokt door de standaard trials ('average standaard') alsook een gemiddelde van de activiteit die gerelateerd was aan de afwijkende trials ('average afwijkend'). Voor de pre-attentieve MMN-taak gebeurden de verdere analyses op de 'difference waves' (het verschil tussen de average standaard en de average afwijkend). Voor de attentieve P300-taak gebeurden de verdere analyses op de 'average afwijkend'. Pieklanties en -amplitudes werden semi-automatisch berekend in specifieke tijdsvensters zijnde 100-300 ms voor de MMN en 300-700 ms voor de P300. De elektrodeposities waren Cz, Fz (MMN) en Pz (P300) om een vergelijking te kunnen maken met de normatieve elektrofyysiologische data (Aerts et al., 2013).

Gedragmatige evaluatie

In de prospectieve groep (patiënten 1-9) werden patiënten geëvalueerd met de Nederlandstalige versie van de Comprehensive Aphasia Test (CAT-NL, Swinburn et al., 2005). In de retrospectieve groep werd daarentegen de Nederlandstalige versie van de Akense Afasie Test gebruikt (AAT; Graetz et al., 1993). De gedragmatige resultaten zijn terug te vinden in Appendix 3 en 4.

Statistische verwerking

De statistische analyses werden uitgevoerd in SPSS 25. De Spearman correlatiecoëfficiënt werd gebruikt om na te gaan of er een significante correlatie bestond tussen de fonologische MMN- en P300-parameters (amplitude en latentie) op T1 en T2 in de volledige groep afasiepatiënten. Een vergelijking van de MMN- en P300-parameters van

mono- en bilinguale afatici met de normatieve data (Aerts et al., 2013) werd uitgevoerd aan de hand van een Fisher's exact test. Vervolgens werd een gepaarde student's t-test of een Mann-Whitney U-test gehanteerd om verschillen in de evolutie van MMN- en P300-parameters te detecteren tussen de mono- en bilinguale afatici. De predictieve waarde van multiple factoren (leeftijd, opleidingsniveau, vaardigheid in/gebruik van de tweede taal en CAT-NL/AAT-scores) voor de outcome (MMN en P300) werd onderzocht aan de hand van multiple lineaire regressie. Tot slot werden ook mogelijke correlaties tussen de CAT-NL/AAT-scores en de MMN-/P300-parameters nagegaan aan de hand van de Spearman correlatiecoëfficiënt (Appendix 5 en 6).

De gedragmatige resultaten werden niet statistisch verwerkt aangezien de pro- en retrospectieve groep geëvalueerd werden aan de hand van verschillende testbatterijen en dit in verschillende settings.

Resultaten

1 Heeft tweetaligheid een impact op de cerebrale reorganisatie van de fonologische inputverwerking na een beroerte?

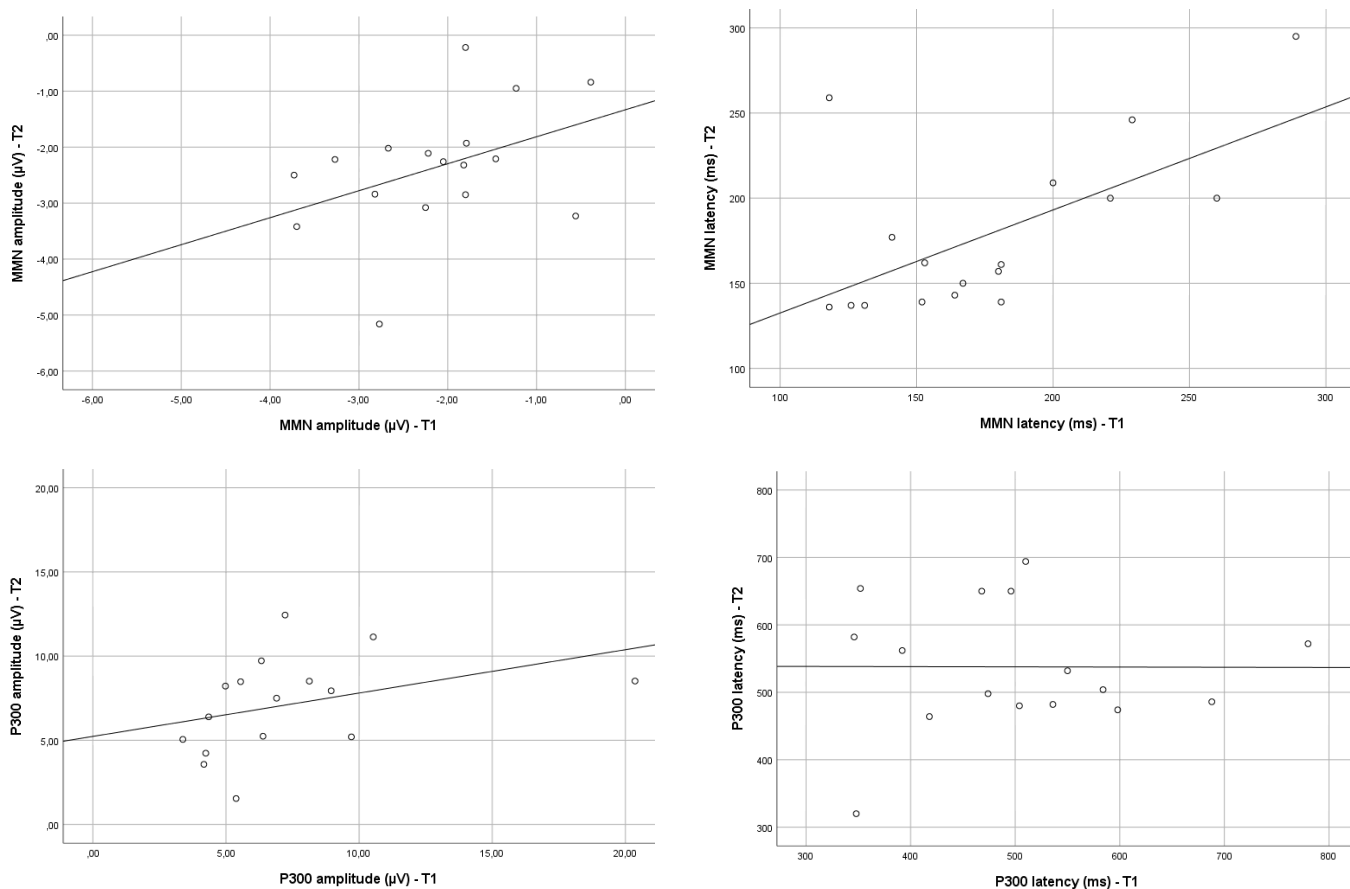
1.1. Is er een correlatie tussen de fonologische MMN- en P300-parameters (amplitude en latentie) op T1 en T2 in de volledige groep afasiepatiënten?

Resultaten:

Tussen T1 en T2 kan een positieve lineaire correlatie worden aangetoond voor MMN_latency-tijd ($r = 0,58$; $p = 0,015$) en P300_amplitude ($r = 0,61$; $p = 0,01$). Er wordt een zwak positieve lineaire correlatie gevonden voor MMN_amplitude tussen T1 en T2 ($r = 0,41$; $p = 0,099$). Er werd geen correlatie gevonden voor de P300_lat-waarden tussen T1 en T2 ($r = -0,04$; $p = 0,988$). De scatterplots worden grafisch weergegeven in figuur 1.

MEERTALIGHEID

Figuur 1. Scatterplots van 'de amplitude/latentie – MMN/P300 op T1' versus 'amplitude/latentie – MMN/P300 op T2'



1.2 Is er een significant verschil tussen mono- (n = 6) en bilinguale (n = 11) afasiepatiënten wat betreft de evolutie van de fonologische MMN- en P300-parameters tussen T1 en T2?

Resultaten:

Er is een significant verschil voor de MMN-latentie tussen monolingualen (med (IQR) = 11,00 (-3,50 - 88,50)) en bilingualen (med (IQR) = -18,50 (-22,50 - 9,00), U = 11,50; p = 0,048). Monolingualen vertonen een toename van de latentietijd bij T2 ten opzichte van T1, terwijl bilingualen een afname van de latentietijd bij T2 vertonen ten opzichte van T1.

1.3 Verschillen de fonologische MMN- en P300-parameters van mono- en bilinguale afasiepatiënten van de normatieve data?

Resultaten:

De waarden van de monolinguale afasiepatiënten liggen op T2 onder de norm voor de parameters MMN-latentietijd, P300-amplitude en latentietijd. De waarden van de bilinguale afasiepatiënten bevinden zich op T2 binnen de normen. (zie tabel 1).

Tabel 1. Aantal mono- en bilingualen waarvan de ERP parameters zich binnen de normatieve waarden bevinden op T1 en T2

Test moment		Monolinguals (n=6)		Bilinguals (n=11)	
		T1	T2	T1	T2
MMN	Amplitude	2	4	10	9
	Latency time	4	3	9	10
P300	Amplitude	2	1	7	9
	Latency time	4	2	7	9

Tabel 2. Significant predictieve factoren voor ERP outcome

Parameters	R	R ²	P	Linear regression lines
MMN_T2_lat				
Language2_proficiency_post	0.693	0.480	0.018	=218.925 – 12.551 x Language2_proficiency_post
MMN_T1_lat				
Language2_proficiency_post	0.707	0.500	0.015	= 238.604 – 14.178 x Language2_proficiency_post

1.4. Is er een correlatie tussen factoren zoals leeftijd, opleidingsniveau en de vaardigheid in/het gebruik van de tweede taal enerzijds en de fonologische MMN- en P300-parameters anderzijds?

Resultaten:

De resultaten van meervoudige lineaire regressie zijn weergegeven in tabel 2. De latentietijd van de MMN op T1 ($p = 0,015$) en T2 ($p = 0,018$) bleek een voorspellende factor te zijn voor de parameter 'vaardigheid L2 op T2' (= proficiency_post) (tabel 2).

2 Is er een verband tussen de elektrofysiologische resultaten en de resultaten bekomen uit de pen-en-papiertaken?

Aangezien de ERP-paradigma's correleren met auditief woord- en zinsbegrip, zijn we vooral geïnteresseerd in de correlaties van de ERP-waarden met deze subtests.

2.1 Is er een verband tussen de elektrofysiologische resultaten en de ernst van afasie?

Resultaten:

Er kan geen significant verschil ($p = 0,359$) tussen de mono- en bilinguale groep op T1 worden aangetoond voor wat betreft de ernst van de afasie (Token Test).

2.2 Is er een verband tussen de elektrofysiologische resultaten en die van de pen- en papiertaken?

Resultaten (pen-en-papiertaken: patiënt 1-9: CAT-NL; patiënt 10-17: AAT):

Bij patiënten 1 tot 9 werd op T1 een positieve correlatie ($r = 0,557$) gevonden tussen de P300-latentietijd en het auditief woordbegrip (CAT-NL). Bij patiënten 10-17 kon op T1 een positieve correlatie worden gedetecteerd tussen de ernst van afasie/het begrip (AAT-token-test) en de MMN-latentie ($r = 0,739$).

Discussie

Het onderzoek had tot doel om de impact van tweetaligheid op de cerebrale reorganisatie van fonologisch begrip na een beroerte in kaart te brengen en een verband tussen de elektrofysiologische en de gedragsmatige resultaten te onderzoeken. Hiervoor werden 17 personen (11 bi- en 6 monolingualen) in de herstelfase van afasie geïncludeerd.

De resultaten uit dit onderzoek tonen aan dat de latentietijd van de MMN kan beschouwd worden als de meest betrouwbare en voorspellende ERP-parameter voor afasieherstel. De latentietijd van de MMN correleert met de ernst van afasie (hoe korter de latentietijd, hoe milder de afasie) en fungeert als de beste prognostische indicator voor afasie-outcome en L2-vaardigheid (hoe korter de latentietijd, hoe beter de uitkomst). In tegenstelling tot monolingualen hebben bilinguale afasiepatiënten een grotere kans om hun verwerkingssnelheid tijdens revalidatie te verbeteren, wat resulteert in een verkorting van de latentietijd van de MMN, die over de tijd heen naar de normatieve waarden evolueert. Hiermee wordt onze hypothese van latentietijden die dicht bij de normatieve waarden liggen bij bilingualen bevestigd. De hypothese van een premorbide voorspellende rol van L2 tijdens het afasieherstel (Kuzmina et al., 2019) kunnen we niet hard maken omdat de patiënten tot 7 jaar moesten terug gaan om hun premorbide L2 vaardigheid te beoordelen. Een retrospectieve beoordeling over dergelijke lange termijn lijkt ons dan ook niet betrouwbaar.

Bij de groep van 17 afasiepatiënten kon op T1 en T2 een positieve correlatie aangetoond worden tussen de latentietijd van de MMN en de amplitude van de P300. Daarbij toonden de monolinguale afasiepatiënten een toename in de latentietijd van de MMN op T2 terwijl de bilingualen een afname vertoonden. Dit suggereert dat de monolinguale afasiepatiënten meer tijd nodig hadden om de fonologische taak uit te voeren op T2 dan op T1, terwijl de bilinguale groep minder tijd nodig had dan op T1. De positieve impact

van tweetaligheid op de fonologische verwerkingsnelheid na een beroerte kan worden verklaard door het feit dat cognitief-linguïstische verbindingen overlappende ondersteuning geven aan meerdere talen (Alladi et al., 2016, Paplikar et al., 2018). Terwijl bilinguale afasiepatiënten voor het herstellen van hun linguïstische netwerken kunnen terugvallen op een cognitief modaliteitoverschrijdend controlesysteem, kunnen monolinguale personen met afasie enkel restoratieve mechanismen aanspreken (= de intacte delen van het premorbid aanwezige linguïstische netwerk). Het feit dat bilingualen beroep kunnen doen op cognitieve controlesystemen om hun aangetaste taalnetwerken te rehabiliteren, doet vermoeden dat ze ook de taaltaken sneller zullen kunnen verwerken dan monolingualen. Het behoud van dit cognitieve controlesysteem lijkt dus een gunstige invloed te hebben op de L2-vaardigheid na een beroerte (Hillis & Tippet, 2014; Wтила & Balarabe, 2015).

De aanwezigheid van auditieve discriminatieproblemen kan gerelateerd worden aan het feit dat de linker temporale cortex in het letsel van al deze patiënten betrokken is. Wanneer we de gedragsresultaten vergelijken met de elektrofyysiologische resultaten bij patiënt 1 tot en met 9, wordt op T1 een positieve correlatie ($r = 0,557$) gevonden tussen latentietijd van de P300 en de positieve score op het auditieve woordbegrip (CAT-NL) op T1. Dit bevestigt onze klinische bevinding dat afasiepatiënten met auditieve begripsproblemen beter scoren wanneer ze meer tijd hebben om het auditief aangereikte woord te verwerken. De vraag blijft of deze begripsproblemen ook een verband hebben met de aard en de ernst van afasie. Bij patiënten 1-9 presenteren 5 van de 9 patiënten zich echter zonder fonologische begripsproblemen (afasie van Broca en Anomische afasie) terwijl 4/9 patiënten wel fonologische begripsproblemen vertoonden (afasie van Wernicke en Globale afasie). De vertraagde verwerkingsnelheid bij het auditief discrimineren bij zowel afasiepatiënten met als zonder begripsproblemen suggereert dus dat niet het begripsprobleem zelf, maar de onderliggende cognitieve controleproblemen aan de basis kunnen liggen van het auditief fonologisch begripsprobleem. Bij patiënten 10-17 kon een positieve correlatie worden gedetecteerd tussen de ernst van afasie (AAT-token-test) en de latentietijd van de MMN op T1 ($r = 0,739$), wat de hypothese bevestigt dat de patiënten met hoge ernst van afasie een verstoring hebben van onderliggende taalcontrole-netwerken (Marinelli et al., 2017). Hoe hoger de ernst van afasie, hoe meer tijd nodig was om auditief te discrimineren.

Naar onze mening is dit de eerste keer dat de relatie tussen elektrofyysiologische parameters en een L2-vaardig-

heid na een beroerte werd vastgesteld. Het voordeel van L2-vaardigheid voor herstel van afasie na een beroerte opent deuren voor vervolgonderzoek naar cognitieve training van gezonde ouderen. Verder onderzoek naar de relatie tussen taalvaardigheden en beïnvloedende variabelen zoals sociaal-economische status, algemene intelligentie, alfabetiseringsniveau, culturele invloeden, leeftijd en geslacht blijft zich opdringen in grotere en meer evenwichtige groepen.

Conclusie

Deze studie had als doel om de impact van tweetaligheid op de cerebrale reorganisatie van fonologisch begrip na een beroerte in kaart te brengen en een verband tussen de elektrofyysiologische en de gedragsmatige resultaten na te gaan. De resultaten suggereren een latentijd van de MMN als onafhankelijke voorspeller van L2-vaardigheid in de herstelfase van afasie. De hypothese van meer ontwikkelde cognitieve controlesystemen als beschermende factor in het herstel van afasie bij bilinguale personen met afasie wordt bevestigd.

Referenties

- Abutalebi, J., & Green, D.W. (2008). Control mechanisms in bilingual language production: Neural evidence from language switching studies. *Language and Cognitive Processes*, 23(4), 557-582. doi:10.1080/01690960801920602
- Aerts, A., van Mierlo, P., Hartsuiker, R., Hallez, H., Santens, P., & Letter, M. (2013). Neurophysiological investigation of phonological input: Aging effects and development of normative data. *Brain and Language*, 125,253-263. doi:10.1016/j.bandl.2013.02.010
- Alladi, S., Bak, T., Mekala, S., Rajan, A., Chaudhuri, J., Mioshi, E., ... Kaul, S. (2016). Impact of Bilingualism on Cognitive Outcome After Stroke. *Stroke*, 47,258-261. doi:10.1161/STROKEAHA.115.010418
- Benson, Whalen, Richardson, Swainson, Clark, Lai, & Liberman. (2001). Parametrically dissociating speech and nonspeech perception in the brain using fMRI. *Brain and Language*, 78,364-96. doi:10.1006/brln.2001.2484
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S. F., Springer, J. A., Kaufman, J. N., & Possing, E. T. (2000). Human Temporal Lobe Activation by Speech and Nonspeech Sounds. *Cerebral Cortex*, 10,512-528. doi:10.1093/cercor/10.5.512
- Boatman, D., & Miglioretti, D. (2005). Cortical sites critical for speech discrimination in normal and impaired listeners. *The Journal of Neuroscience*, 25,5475-80. doi:10.1523/JNEUROSCI.0936-05.2005
- Csépe, V., Osman-Sági, J., Molnár, M., & Gósy, M. (2001). Impaired speech perception in aphasic patients: event-related potential and neuropsychological assessment. *Neuropsychologia*, 39,1194-1208. doi:10.1016/S0028-3932(01)00052-5

- de Bruin, A., Treccani, B., and Della Sala, S. (2015). Cognitive advantage in bilingualism: an example of publication bias? *Psychological Science*, 26, 99–107. doi: 10.1177/0956797614557866
- Dejanović, M, Ivetić, V, Nestorović, V, Erić, M, Stanojević, Z, & Leštarević, S. (2015) The role of P300 event-related potentials in the cognitive recovery after the stroke. *Acta Neurologica Belgica*, 115(4),589-95. doi: 10.1007/s13760-015-0428-x.
- Graetz, P., De Bleser, R., & Willmes, K. (1993). *Akense Afasie Test (AAT)*. Uitgever Hogrefe Uitgevers
- Hall, D., Haggard, M., Akeroyd, M., Summerfield, Q., Palmer, A., Elliott, M., & Bowtell, R. (2000). Modulation and task effects in auditory processing measured using fMRI. *Human Brain Mapping*, 10, 107–119. doi:10.1002/1097-0193(200007)10:3<107::AID-HBM20>3.0.CO;2-8
- Hartwigsen, G., Baumgaertner, A., Price, C., Koehnke, M., Ulmer, S., & Siebner, H. (2010). Phonological decisions require both the left and right supramarginal gyri. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107,16494–9. doi:10.1073/pnas.1008121107
- Hillis, A., & Tippett, D. (2014). Stroke Recovery: Surprising Influences and Residual Consequences. *Advances in Medicine*, 1–10. doi:10.1155/2014/378263
- Husain, F. T., Tagamets, M.-A., Fromm, S. J., Braun, A. R., & Horwitz. (2004). Relating neuronal dynamics for auditory object processing to neuroimaging activity: a computational modeling and an fMRI study. *NeuroImage*, 21,1701–1720. doi:10.1016/j.neuroimage.2003.11.012
- Ilvonen, T., Kujala, T., Kozou, H., Kiesiläinen, A., Salonen, O., Alku, P., & Näätänen, R. (2004). The processing of speech and non-speech sounds in aphasic patients as reflected by the mismatch negativity (MMN). *Neuroscience Letters*, 366,235–240. doi:10.1016/j.neulet.2004.05.024
- Kuzmina, E., Goral, M., Norvik, M., & Weekes, B. (2019). What Influences Language Impairment in Bilingual Aphasia? A Meta-Analytic Review. *Frontiers in psychology*, 445.
- Li, W., & Moyer, M.G. (2008). *The Blackwell Guide to Research Methods in Bilingualism and Multilingualism*. Oxford: Blackwell, 424. DOI:10.1002/9781444301120.
- Luck, S (2014) *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*, Second Edition. Cambridge, Ma, USA: MIT Press
- Marinelli, C., Spaccavento, S., Craca, A., Marangolo, P., & Angelelli, P. (2017). Different Cognitive Profiles of Patients with Severe Aphasia. *Behavioural Neurology*, 2017,1–15. doi:10.1155/2017/3875954
- Menon, Levitin, D. J., Smith, B. K., Lembke, Krasnow, B. D., Glazer, ... McAdams. (2002). Neural Correlates of Timbre Change in Harmonic Sounds. *NeuroImage*, 17,1742–1754. doi:10.1006/nimg.2002.1295
- Paplikar, A., Mekala, S., Bak, T., Dharamkar, S., Alladi, S., & Kaul, S. (2018). Bilingualism and the severity of poststroke aphasia. *Aphasiology*, 1–15. doi:10.1080/02687038.2017.1423272
- Robson, H., Keidel, J., Ralph, M., & Sage, K. (2011). Revealing and quantifying the impaired phonological analysis underpinning impaired comprehension in Wernicke's aphasia. *Neuropsychologia*, 50,276–88. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.11.022
- Robson, H., Griffiths, T., Grube, M., & Woollams, A. (2019). Auditory, Phonological, and Semantic Factors in the Recovery From Wernicke's Aphasia Poststroke: Predictive Value and Implications for Rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 800–812. doi:10.1177/1545968319868709
- Swinburn, K., Porter, G., & Howard D. (2005). *Comprehensive aphasia test*.
- Van der Linden, L., Verreyt, N., Letter, M., Hemelsoet, D., Mariën, P., Santens, P., ... Duyck, W. (2018a). Cognate effects and cognitive control in patients with parallel and differential bilingual aphasia. *International journal of language & communication disorders*, 53,515–525. doi:10.1111/1460-6984.12365
- Van der Linden, L., Dricot, L., Letter, M., Duyck, W., de Partz, M.-P., Ivanoiu, A., & Szmalec, A. (2018b). A case study about the interplay between language control and cognitive abilities in bilingual differential aphasia: Behavioral and brain correlates. *Journal of Neurolinguistics*, 46,37–68. doi:10.1016/j.jneuroling.2017.12.011
- Verreyt, N., De Letter, M., Hemelsoet, D., Santens, P., & Duyck, W. (2013). Cognate-effects and executive control in a patient with differential bilingual aphasia. *Applied Neuropsychology*, 3, 221-230, 20(3), 221-230
- Watila, M.M., & Bilarbe, S.A. (2015). Factors predicting post-stroke aphasia recovery. *Journal of the Neurological Sciences*, 352, 12–18. doi:10.1016/j.jns.2015.03.020
- Woodhead, Z., Crinion, J., Teki, S., Penny, W., Price, C., & Leff, A. (2017). Auditory training changes temporal lobe connectivity in "Wernicke's aphasia": a randomised trial. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 88,586–594. doi:10.1136/jnnp-2016-314621
- Woumans, E., Santens, P., Sieben, A., Versijpt, J., Stevens, M., & Duyck, W. (2015). Bilingualism delays clinical manifestation of Alzheimer's disease. *Bilingualism: Language and Cognition*, 18,568–574. doi:10.1017/S136672891400087X

Correspondentieadres

Miet De Letter, PhD
Universiteit Gent
Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen
Departement Revalidatiewetenschappen
Corneel Heymanslaan 10
B-9000 Ghent
België
Tel : 32-9-332.44.49
E-mail: miet.deletter@ugent.be

APPENDICES

Appendix 1. Achtergrondinformatie van de patiënten

Tabel 1. Achtergrondinformatie en resultaten van de evaluatie voor de patiënten.

Patiënt	Leeftijd T1	Geslacht	Handvoorkuur	afasietype op T1	T1 post stroke onset (maanden)	Lesie localisatie	Stroke type	Educatie	L1	L2
1	43	man	Rechts	Wernicke	8	links FP + I	ischemie	H0	Nederlands	Engels
2	41	man	Rechts	Wernicke	11	links T + I	ischemie	S0	Nederlands	Engels
3	49	man	Rechts	Amnestisch	53	links lentic-stri	Hemorraghie	H0	Nederlands	Frans
4	67	man	Rechts	Broca	85	links FP	Hemorraghie	S0	Nederlands	Engels
5	60	man	Rechts	Broca	74	links FTP	Ischemie	H0	Nederlands	Frans
6	51	man	Rechts	Globaal	89	links PT + I + TO	Ischemie	S0	Nederlands	-
7	52	man	Rechts	Broca	65	links MCA	hemorraghia	S0	Nederlands	Engels
8	67	man	Rechts	Globaal	79	links FT	Ischemie	H0	Nederlands	Spaans
9	61	vrouw	Rechts	Globaal	5	links FP + I	Ischemie	S0	Nederlands	-
10	62	man	Rechts	Amnestisch	41	links PT	Ischemie	H0	Nederlands	Frans
11	71	man	Rechts	Wernicke	20	links T	Hemorraghie	H0	Nederlands	Engels
12	46	man	Rechts	Wernicke	33	links P + I + lentic-stri	Ischemie	H0	Nederlands	Engels
13	55	man	Rechts	Wernicke	30	links T	Hemorraghie	H0	Duits	Frans
14	63	man	Rechts	Wernicke	5	links PT	ischemie	S0	Nederlands	-
15	46	vrouw	Rechts	Wernicke	18	links MCA + lentic-stri	Ischemie	H0	Nederlands	-
16	71	vrouw	Rechts	Globaal	6	links MCA + lentic-stri + I	Hemorraghie	H0	Nederlands	-
17	51	vrouw	Rechts	Globaal	18	links MCA + lentic-stri	Ischemie	S0	Nederlands	-

FP=frontoparietaal; I=Insulair; T=temporaal; Lentic-stri= lenticulo-striataal; FTP=frontotemporoparietaal; PT=frontotemporoparietaal; TO=temporo-occipitaal; MCA=middle cerebral arteri; FT=frontotemporaal; HO=hoger onderwijs; SO=secundair onderwijs; T1= test moment 1

MEERTALIGHEID

Appendix 2. Retrospectieve zelfbeoordeling van de L2 vaardigheid voor en na (T2) de beroerte

Patiënt	L2 vaardigheid voor de beroerte (/10)				L2 vaardigheid op T2 (/10)			
	Speech	Reading	Writing	Compre-hension	Speech	Reading	Writing	Compre-hension
1	10	6	8	2	8	1	8	8
2	8	4	8	3	8	0	8	8
3	7	1	8	1	8	3	8	5
4	7	7	7	7	7	7	7	7
5	8	2	8	2	8	0	8	5
6	/	/	/	/	/	/	/	/
7	7	2	6	0	4	0	6	5
8	10	0	10	0	10	0	10	0
9	10	6	8	2	8	1	8	8
10	7	4	8	7	7	5	7	5
11	6	2	6	3	6	3	7	6
12	9	5	9	7	9	4	9	7
13	10	4	10	5	10	1	10	6
14	/	/	/	/	/	/	/	/
15	8	3	8	3	7	1	7	2
16	/	/	/	/	/	/	/	/
17	/	/	/	/	/	/	/	/

Legende: Schaal van 0 tot 10, met 0= geen taalvaardigheid en 10= maximale vaardigheid; L2= tweede taal; T2 = test moment 2 (5 maanden tussen T1 and T2)

Appendix 3. Resultaten van de gedragsevaluatie op test moment 1 (T1) and 2 (T2) met de CAT-NL (patiënten 1-9)

Pt	CAT-nl resultaten op T1					CAT-nl resultaten op T2				
	Token Test /50 (pc)	Herhaling (totaal) /61	Schrijf-taal (totaal) /82	Benoe-men (totaal) /58	Benoe-men (totaal) /66	Token Test /50 (pc)	Herhaling (totaal) /61	Schrijf-taal (totaal) /82	Benoe-men (totaal) /58	Benoe-men (totaal) /66
1	41 (32)	25	54	42	56	37 (41)	26	57	48	59
2	47 (16)	46	56	35	33	42 (30)	36	47	33	43
3	11 (84)	57	58	48	64	15 (77)	60	60	51	61
4	5 (93)	53	62	54	65	7 (90)	55	60	54	63
5	12 (83)	50	59	52	62	7 (90)	54	62	52	61
6	44 (24)	15	54	3	51	44 (24)	21	53	11	62
7	6 (91)	40	59	50	66	10 (85)	49	59	53	62
8	40 (35)	29	49	8	48	28 (59)	32	58	6	49
9	33 (50)	43	56	45	59	25 (63)	40	57	48	61

MEERTALIGHEID

Appendix 4. Resultaten van de gedragsevaluatie op test moment 1 (T1) and 2 (T2) met Akense Afasietest (patiënten 10-17)

Pt	CAT-nl resultaten op T1					CAT-nl resultaten op T2				
	Token Test /50 (pc)	Herhaling /150 (pc)	Lezen en schrijven /90 (pc)	Benoe-men /120 (pc)	Begrip 120 (pc)	Token Test /50 (pc)	Herhaling /150 (pc)	Lezen en schrijven /90 (pc)	Benoe-men /120 (pc)	Begrip 120 (pc)
10	23 (65)	75 (25)	64 (63)	82 (55)	91 (64)	14 (79)	134 (80)	88 (97)	108 (92)	114 (98)
11	41 (32)	52 (15)	58 (57)	93 (70)	87 (55)	7 (90)	136 (83)	87 (95)	119 (100)	119 (100)
12	43 (27)	75 (25)	64 (63)	82 (55)	91 (64)	22 (67)	139 (85)	90 (100)	112 (98)	115 (99)
13	48 (2)	30 (10)	35 (36)	0 (4)	33 (3)	41 (32)	87 (34)	49 (49)	39 (4)	59 (17)
14	46 (18)	115 (58)	71 (70)	92 (69)	83 (48)	5 (88)	148 (98)	90 (100)	114 (99)	116 (99)
15	36 (43)	127 (73)	39 (41)	99 (80)	98 (77)	36 (43)	130 (75)	43 (72)	110 (96)	102 (83)
16	34 (48)	75 (25)	48 (48)	28 (22)	76 (37)	26 (61)	83 (30)	60 (59)	73 (46)	92 (66)
17	32 (51)	0 (1)	0 (3)	0 (4)	81 (45)	26 (61)	65 (19)	33 (34)	43 (28)	86 (52)

Legende: pt = patiënt; T1 = test moment 1, T2 = test moment 2 (5 maanden tussen T1 en T2)

Appendix 5: Correlatiecoëfficiënten van de ERP waarden met de gedragscores op de CAT-NL. Enkel resultaten > (-)0.5 zijn ingesloten in de tabel.

Subtest CAT	MMN amp T1	MMN lat T1	P300 amp T1	P300 lat T1	MMN amp T2	MMN lat_T2	P300 amp T2	P300 lat_T2
lines								
wordfl				0.567				
recogn	-0.518			0.621				
ideat_prax				0.655				
math					0.559		0.577	
comp_aud_word				0.557				
comp_aud_sent		-0.500				-0.570		
comp_writ_word								
comp_writ_sent								
rep_word		-0.527		0.500				
rep_cword	-0.504	-0.648		0.547	-0.564			
rep_nword		-0.590						
rep_numb				0.542				
rep_sent								
name_zn		-0.748						
name_wkw				0.536				-0.807
read_word		-0.597		0.703				
read_cword				0.684			0.606	-0.546
read_fword			0.498	0.558			0.619	-0.619
read_nword				0.579			0.626	
writ_copy			0.525	0.707			0.546	-0.764
writ_naming				0.761				-0.546
writ_dict				0.544				

MEERTALIGHEID

Appendix 5: Correlatiecoëfficiënten van de ERP waarden met de gedragsscores op de AAT. Enkel resultaten > (-)0.5 zijn ingesloten in de tabel.

Correlaties (r)	MMN_T1 _amp	MMN_T1 _lat	P300_T1 _ampl	P300_T1 _lat	MMN_T2 _amp	MMN_T2 _lat	P300_T2 _ampl	P300_T2 _lat
AAT_TT_T1		0.739						
AAT_repetition_T1		- 0.449						
AAT_reading/writing_T1								
AAT_naming_T1			0.505	0.577				
AAT_comprehension_T1			0.649					
AAT_TokenTest_T2								
AAT_repetition_T2								- 0.487
AAT_reading/writing_T2					0.523		0.523	- 0.709
AAT_naming_T2								
AAT_comprehension_T2								

MEERTALIGHEID

Subtest	R	R ²	p	Single regression lines
MMN_T1_ampl				
CAT_rep_cword	0.517	0.267	0.154	= -1.358 - 0.293 x CAT_rep_cword
MMN_T1_lat				
taal2_proficiency_post	0.612	0.375	0.034	227.805 - 12.416 x taal2_proficiency_post
meertalig	0.586	0.343	0.013	113.600 + 61.650 x meertalig
AAT_TT_T1_perc	0.631	0.399	0.128	101.459 + 0.943 x AAT_TT_T1_perc
CAT_rep_word	0.723	0.522	0.028	329.744 - 5.277 x CAT_rep_word
CAT_rep_cword	0.738	0.545	0.023	264.511 - 18.342 x CAT_rep_cword
CAT_rep_nword	0.628	0.394	0.070	261.177 - 10.561 x CAT_rep_nword
CAT_rep_num	0.567	0.322	0.111	243.000 - 14.423 x CAT_rep_num
CAT_name_substantive	0.682	0.465	0.043	259.158 - 1.892 x CAT_name_zn
CAT_read_word	0.778	0.605	0.014	238.081 - 2.477 x CAT_read_word
P300_T1_ampl				
AAT_T1_naming_perc	0.614	0.378	0.142	4.215 + 0.050 x AAT_T1_benoemen_perc
higher_education	0.663	0.401	0.067	5.074 + 6.184 x hogere_opleiding
Language_2_proficiency_post	0.528	0.279	0.078	12.305 - 1.245 x taal2_proficiency_post
CAP_comp_aud_sent	0.858	0.735	0.003	105 - 3.336 x CAP_comp_aud_sent
CAP_comp_writ_sent	0.488	0.238	0.183	31.793 - 0.888 x CAP_comp_writ_sent
CAP_ideat_prax	0.540	0.292	0.133	17.675 - 1.031 x CAP_ideat_prax
CAP_rep_sent	0.484	0.234	0.187	11.555 - 1.084 x CAP_rep_sent
CAP_name_zn	0.550	0.303	0.125	12.794 - 0.163 x CAP_name_zn
P300_T1_lat				
higher_education	0.578	0.334	0.103	450.440 + 163 x hogere_opleiding
CAT_wordfl	0.479	0.230	0.192	398.275 + 8.577 x CAT_wordfl
CAT_recogn	0.585	0.343	0.098	-1414.286 + 198.143 x CAT_recogn
CAT_comp_aud_word	0.496	0.246	0.174	-161.226 + 25.242 x CAT_comp_aud_word
CAT_rep_word	0.515	0.265	0.156	540.520 + 11.613 x CAT_rep_word
CAT_rep_cword	0.647	0.419	0.060	351.978 + 49.684 x CAT_rep_cword
CAT_rep_num	0.551	0.303	0.125	398.200 + 43.238 x CAT_rep_num
CAT_name_wkw	0.699	0.489	0.036	322.575 + 29.110 x CAT_name_wkw
CAT_read_word	0.607	0.369	0.083	325.935 + 5.975 x CAT_read_word
CAT_read_cword	0.716	0.512	0.030	379.565 + 46.140 x CAT_read_cword
CAT_read_fword	0.644	0.415	0.061	245.611 + 55.500 x CAT_read_fword
CAT_read_nword	0.580	0.336	0.102	431.875 + 20.528 x CAT_read_nword
CAT_writ_naming	0.674	0.454	0.047	374.484 + 10.134 x CAT_writ_naming

MEERTALIGHEID

Appendix 6. Enkelvoudige regressieve analyse ERP parameters_behavioral tasks

Subtest	R	R ²	p	Regressierechte
MMN_T2_ampl				
age	0.607	0.368	0.010	1.513 – 0.069 x leeftijd
Language2_proficiency_pre	0.496	0.246	0.101	-6.084 + 0.480 x taal2_proficiency_pre
MMN_T1_ampl	0.413	0.171	0.099	-1.332 + 0.482 x MMN_T1_ampl
CAT_wordfl	0.794	0.630	0.011	-3.287 + 0.069 x CAT_wordfl
CAT_math	0.585	0.343	0.098	-5.476 + 0.588 x CAT_math
MMN_T2_lat				
MMN_T1_lat	0.614	0.378	0.009	72.009 + 0.605 x MMN_T1_lat
Language2_proficiency_post	0.591	0.349	0.043	208.722 – 10.886 x taal2_proficiency_post
CAT_wordfl	0.512	0.262	0.159	236.993 – 3.297 x CAT_wordfl
CAT_comp_aud_sent	0.539	0.290	0.134	830.143 – 21.857 x CAT_comp_aud_sent
CAT_rep_word	0.568	0.322	0.111	301.072 – 4.606 x CAT_rep_word
CAT_rep_nword	0.547	0.300	0.127	246.955 – 10.227 x CAT_rep_nword
CAT_name_zn	0.822	0.676	0.007	226.428 – 2.534 x CAT_name_zn
CAT_read_word	0.800	0.639	0.010	282.321 – 2.828 x CAT_read_word
P300_T2_ampl				
P300_T1_ampl	0.365	0.133	0.164	5.229 + 0.258 x P300_T1_ampl
age	0.350	0.123	0.184	12.655 – 0.099 x leeftijd
multilingual	0.498	0.248	0.050	4.715 + 3.188 x meertalig
Language2_proficiency_pre	0.465	0.216	0.149	1.218 + 0.848 x taal2_proficiency_pre
Language2_frequency_pre	0.826	0.683	0.174	3.467 + 0.615 x taal2_gebruiksfreq_pre
AAT_T2_repetition_perc	0.730	0.533	0.062	1.534 + 0.059 x AAT_T2_naspreken_perc
AAT_T2_readingand writing_perc	0.665	0.443	0.103	0.465 + 0.063 x AAT_T2_schrijftaal_perc
AAT_T2_naming_perc	0.814	0.663	0.026	0.195 + 0.066 x AAT_T2_benoemen_perc
AAT_T2_comprehension_perc	0.701	0.492	0.079	-2.033 + 0.088 x AAT_T2_taalbegrip_perc
CAT_math	0.739	0.546	0.036	-6.597 + 2.690 x CAT_math
CAT_read_cword	0.644	0.415	0.085	6.028 + 0.723 x CAT_read_cword
CAT_read_nword	0.734	0.538	0.038	6.181 + 0.488 x CAT_read_nword
CAT_writ_copy	0.588	0.346	0.125	1.323 + 0.243 x CAT_writ_copy
P300_T2_lat				
taal2_proficiency_pre	0.453	0.205	0.162	774.722 – 31.976 x taal2_proficiency_pre
taal2_proficiency_post	0.447	0.200	0.168	607.253 – 22.852 x taal2_proficiency_post
AAT_T2_repetition_perc	0.580	0.336	0.173	708 – 2.575 x AAT_T2_naspreken_perc
CAT_name_wkw	0.697	0.486	0.055	618.342 – 10.707 x CAT_name_wkw
CAT_read_fword	0.723	0.523	0.043	657.279 – 22.262 x CAT_read_fword
CAT_writ_copy	0.810	0.656	0.015	740.384 – 6.784 x CAT_writ_copy
CAT_writ_naming	0.694	0.418	0.058	600.849 – 3.789 x CAT_writ_naming