

# Dichotische en sinewave spraakverwerking in personen die stotteren en normale controles: een voorlopige studie

Frank R. Boutsen<sup>1</sup>, Angela Rexwinkle, Justin D. Dvorak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Motor Speech and Prosody Research Laboratory,  
Department of Communication Sciences and Disorders,  
The University of Oklahoma Health Sciences Center, Oklahoma City, OK, VS*

## Samenvatting

Eens beschouwd als het meetinstrument van keuze om de hypothese van cerebrale dominantie in stotteren te testen, is het dichotische luisterparadigma nu vervaagd in de tijd. Onderzoek heeft aangetoond dat afwijkingen in dichotisch luisteren mogelijk geen bepalend of dominant kenmerk is in de stotterende populatie. Dat gezegd hebbende, hoewel dichotisch luisteren door zijn aard auditieve verwerking aanspreekt, is deze test nooit gebruikt om auditieve verwerkingsprestaties te meten in mensen die stotteren. Hetzelfde geldt voor sinewave spraakverwerking in normaal vloeiende personen. Sinewave spraak is gedegradeerde spraak die bestaat uit een set van tijdsvarierende sinusoidale patronen die waargenomen kunnen worden als spraak en niet-spraak. Oorspronkelijk gebruikt om het bestaan van spraak-specifieke modules vast te leggen in de motor theorie van spraakperceptie, is sinewave spraak meer recent onderzocht in mensen die stotteren wat betreft het vermogen om sprekers te informeren over de articulatiegebaren van spraak, en in die hoedanigheid het potentieel in het onderdrukken van stotteren.

Interessant genoeg zijn dichotisch luisteren en sinewave spraakverwerking niet gelijktijdig onderzocht in mensen die stotteren en in normaal vloeiende controlesprekers. Deze overwegingen hebben geleid tot het ontwerp van de huidige studie. Het doel was om dichotisch luisteren en sinewave spraakverwerking in personen die stotteren en normaal vloeiende controles te onderzoeken, om te zien of ze 1) vergelijkbaar waren in beide groepen en 2) elkaars voorspellende waren. Deelnemers waren zes volwassenen met ontwikkelingsstotteren en zes in geslacht gepaarde normaal vloeiende volwassenen. Ze kregen een handigheidstest, een CVC dichotische luistertest, en een sinewave spraakverwerkingstest.

De resultaten lieten zien dat dichotisch luisteren en sinewave spraakverwerking grotendeels overeenkwam in personen die stotteren en de normaal vloeiende controle-groep. Desondanks werden significante verschillen tussen groepen gevonden voor de

dichotische luistertest en de sinewave spraakverwerkingstest in een specifieke subset van condities. Hetzelfde gold voor de manieren waarop sinewave spraakverwerking en dichotisch luisteren met elkaar verbonden waren in beide sprekergruppen.

### Summary

Once considered the measure of choice to test the cerebral dominance of hypothesis in stuttering, the dichotic listening test paradigm has faded over time. Research has shown that aberrations in dichotic listening (DL) may not be a defining or pervasive a feature in the stuttering population. That said, although DL by its very nature taps into auditory processing, research in people who stutter (PWS) has not used this test to measure auditory processing skill in PWS. The same is true for sine wave speech (SWS) processing in normally fluent persons. SWS is degraded speech consisting of a set of time-varying sinusoidal patterns that can be heard as speech and non-speech. Originally, used to document the existence of speech specific modules in the motor theory of speech perception, SWS has more recently been investigated in PWS in terms of its capacity to inform the gestural score of speech and in so doing its potential to inhibit stuttering.

Interestingly, DL and SWS processing have not been studied simultaneously in PWS and normally fluent controls. These considerations led to the design of the present study. Its purpose was to investigate DL and SWS processing in PWS and normal controls to see if they are 1) comparable in both groups and 2) predictive of one another. Participants included six adults with persistent developmental stuttering (PDS) and six gender matched normally fluent adults (NFC). They were given a handedness test, a CVC dichotic listening test and a SWS processing test.

Results revealed that dichotic listening and SWS processing was largely similar in the PWS and the NFC group. Even so, significant between-group differences for both DL and SWS processing tests were found under a specific subset of conditions. The same was true for the ways in which SWS processing and dichotic listening are related in both speaker groups.

## Inleiding

Het idee dat mensen die stotteren (*persons who stutter*; PWS) abnormale auditieve verwerking kunnen vertonen, heeft steun ontvangen vanuit studies de afgelopen vier decennia (Bloodstein, 2007). Speculaties over een relatie tussen auditie en stotteren gaan nog verder terug, en zijn interessant genoeg afkomstig van data die een lagere prevalentie van stotteren bij kinderen met een auditieve beperking laten zien (Ward, 2006). Voor het eerst opgemerkt na vroeger enquête-onderzoek door Backus (1938) en Harms en Malone (1939), werd de lagere prevalentie bevestigd in een later onderzoek uitgevoerd door Montgomery en Fitch (1988). Hoewel de implicaties van deze bevinding niet helemaal duidelijk zijn, getuigen ze van de opvallende relatie tussen auditie en spraak in PWS.

Dit idee wordt verder ondersteund door waarnemingen omtrent de invloed van ruis of vertraagde auditieve feedback op vloeiendheid in deze populatie (Gordon, 2002; Ward, 2006). Beide condities hebben laten zien de frequentie en ernst van stotteren te verminderen, en beide worden beschouwd als krachtige vloeiendheidsverbeterende condities (Andrews, Craig, Feyer, Hoddinott, Howie, & Neilson, 1983; Bloodstein, 2007). De exacte faciliterende mechanismen van deze condities zijn een kwestie van intens debat geweest; speculaties omtrent hun bevorderende effecten hebben echter ook de schijnwerpers verplaatst richting mogelijke afwijkende centrale auditieve verwerkingsmechanismen in PWS (Salmelin, Schnitzler, Schmitz, Jancke, Witte, & Freundm 1998; Foundas, Bollich, Feldman, Corey, Hurley, Lemen, & Heilman, 2004).

Vroeg bewijs voor deze hypothese kwam van Hall en Jerger (1978), die vonden dat PWS verschillend scoorden op de akoestische reflex-amplitudefunctie, de Ipsilateral Competing Message test, en de Staggered Spondaic Word test, in vergelijking met controlepersonen. Terwijl Hall en Jerger (1978) de locus van de verwerkingsstoornis op het niveau van de hersenstam plaatsten, volgden Howell, Rosen, Hannigan, en Rustin (2000) de notie dat de auditieve stoornis stroomopwaarts van het slakkenhuis is. De resultaten van deze onderzoekslijn zijn gemengd op zijn best. Hoewel Howell et al. (2000) bewijs vonden voor verhoogde achterwaartse maskeringsdrempels in een studie die stotterende jongeren vergeleek met normaal vloeiende controles, leverde deze onderzoekslijn geen verschillen op tussen groepen in een latere ontwikkelingsstudie waarin verschillende maskeringsparadigma's gebruikt werden, i.e., gelijktijdige maskering, achterwaartse maskering, en ruis-gekerfde achterwaartse maskering (Howell & Williams, 2004). Interessant genoeg werd een significant verschil gevonden in een studie die de maskeringsdrempel vergeleek tussen PWS in hun tienerjaren met aanhoudend stotteren, met die van PWS in hun tienerjaren voor wie stotteren was opgehouden (Howell, Davis, & Williams, 2006). Deze laatste bevinding, hoewel een potentiële prognostische indicator voor spontaan herstel in stotteren voor het voetlicht brengende, verzwakte de sterkte van de hypothese dat een afwijkend centrale auditieve verwerkingsmechanisme een kernstoornis van stotteren is.

Een paradigma dat nog niet gebruikt is om stoornissen op dit gebied te verkennen, ondanks de significantie voor centrale auditieve verwerking in PWS, is het dichotisch luisterparadigma. In plaats van gebruikt te worden voor onderzoek van het centrale auditieve verwerkingsmechanisme, heeft onderzoek zich voornamelijk gericht op het aantonen van abnormaliteiten in hemisferische dominantie in PWS. Bedacht door Broadbent (1954) om vast te stellen of het brein twee of meer gebeurtenissen tegelijkertijd kan verwerken, werd de dichotische luistermethode populair gemaakt bij Kimura's (1967) onderzoek met personen met hersenletsel. Kimura (1967) observeerde dat patiënten met linker temporale lobectomie een verminderd ophalen van gegevens van beide oren lieten zien, terwijl die met een rechter temporale lobectomie alleen een verminderd ophalen van gegevens lieten zien wanneer stimuli werden gepresenteerd aan het linkeroor. De schijnbare afhankelijkheid van presentatiekant voor stimulusverwerking legde de grondslag voor een eigenschap van spraakverwerking die bekend is geworden als het rechteroor-voordeel (*right ear advantage*; REA). De REA is tenminste gedeeltelijk een functie van de structurele eigenschappen van het

zenuwstelsel, met name een linkerhemisfeer-specialisatie voor spraakverwerking (Bradshaw en Nettleton, 1983), en voor de grotere efficiëntie van de contra-laterale auditieve route in vergelijking met zijn ipsilaterale tegenhanger. Rozenwick (1951) heeft geponereerd dat de REA voor spraak wellicht zelfs verbeterd kan worden in een dichotische luistertaak vanwege de remmende invloed van stimulusverwerking door het contra-laterale oor op verwerking uitgevoerd door het ipsilaterale oor. Moscovitch (1976) wees er verder op dat de REA voor spraak gedeeltelijk gebruikt maakt van een route die het corpus callosum omzeilt. Het corpus callosum draagt neurale signalen afkomstig van linker-oor gepresenteerde stimuli over naar de linker dominante kant voor spraakverwerking, maar de grootte en / of vezeleigenschappen van het corpus callosum introduceert vertragingen en ruis dat niet aanwezig is in signalen die verzonden worden langs de contra-laterale route. Interessant is dat ondergemiddelde corpus callosum-groottes voorspellend bleken te zijn voor dichotische doofheid en linker-hemisferiteit, terwijl een bovengemiddelde corpus callosum-grootte associaties liet zien met rechter-hemisfeerdominantie en dichotisch horen (Morton and Rafto, 2006).

Hoe dan ook, structurele eigenschappen alleen kunnen niet volledig de asymmetrische prestatie, zoals aangetoond door de REA, in dichotische spraakverwerking verklaren. Kinsbourne (1975) kan worden toegeschreven worden met het aantonen dat aandacht ook een rol speelt in dichotische verwerking. Hij toonde aan dat de REA gemanipuleerd kan worden door gerichte aandacht voor het rechteroor dan wel het linkeroor. Specifiek toonde zijn studie aan dat deelnemers die hun aandacht richtten op het rechteroor een verbeterde RAE lieten zien, terwijl degenen die zich richtten op het linkeroor een verminderde RAE lieten zien. Deze bevinding is gerepliceerd in latere studies (e.g., Heilige, 1976; Hughdahl & Anderson, 1986), en heeft een impuls gegeven aan de rol van aandacht in dichotische luisterparadigma's.

Interessant is dat imaging studies aangetoond hebben dat de integratie van aandacht in de dichotische luisterparadigma's andere hersengebieden aanspreekt dan die gebruikt worden tijdens binaural of dichotisch luisteren. Een fMRI studie van Thomsen, Rimol, Ersland en Hughdahl (2004) liet in dit verband zien dat hersenactivaties in passief binaural en dichotisch luisteren in feite vergelijkbaar waren. Verschillen ontstonden echter toen de twee luistermodes vergeleken werden met condities van gerichte attentie. De gebieden die dichotisch van binaural luisteren onderscheidden waren onder meer de linker superieure temporale gyrus (in de nabijheid van de planum temporale, de cingulate gyrus bilateraal, de inferieure frontale gyrus bilateraal (in de nabijheid van de insula), en de linker middenfrontale gyrus. Het is opmerkelijk dat dit netwerk uitgebreid overlapt met het netwerk dat geïdentificeerd werd door Hickok and Poeppel (2000; 2004; 2007) als zijnde betrokken bij spraakperceptie en spraakproductie.

## **Dichotische luisterstudies in PWS**

De theoretische impuls voor de toepassing van het dichotische luisterparadigma in het onderzoek naar PWS kan worden herleid tot het eind van de jaren twintig en begin dertig, toen

Orton (1928) en Travis (1931) de cerebrale dominantie hypothese van stotteren formuleerden. In deze visie wordt gedacht dat een afwezigheid van normale cerebrale dominantie resulteert in een in-coördinatie van corticale gebieden die ten grondslag liggen aan spraakproductie en -perceptie (Orton, 1928, Travis 1931). Curry en Gregory (1969) vonden steun voor de Orton-Travis theorie toen een meerderheid van PWS die ze testten betere resultaten op een dichotische woordtaak lieten zien voor het linkeroor in vergelijking met het rechteroor. Quin (1972), Slorach en Noehr (1973), en Dorman en Porter (1975) vonden echter geen verschillen tussen volwassen PWS en controles op een dichotische luisteraak. Brady en Berson (1975) rapporteerden een linkeroor-voordeel (*left ear advantage*, LEA) in een subset van rechtshandige PWS. In een serie van onderzoeken met kinderen, verwees Blood naar ontwikkelingsstatus (leeftijd) en stotterernst als factoren die de mate van RAE beïnvloedden (Blood, 1985; Blood & Blood 1984, Blood, Blood, & Hood, 1987). Zijn groep vond significante verschillen tussen linker- en rechteroren bij volwassenen met PWS op 4 dichotische testen (Newton, Blood, & Blood, 1986). Strub (1987) voerde hersenscans en dichotische testen uit in een studie met twee broers om te onderzoeken of dichotische luisterprestatie geassocieerd is met afwijkende symmetrie in de hersenen van PWS. Hoewel de resultaten geen significante oor-voorkeur voor de dichotische testen lieten zien, toonden CT scans aan dat de rechter temporale en occipitale kwabben breder waren in beide broers dan in normaal vloeiende personen. Foundas en collega's bevestigden de notie van grootte / symmetriefwijkingen in de hersenen van PWS in twee imaging studies (Foundas, Corey, Angeles, & Bollich, 2001; Foundas, Bollich, Feldman, Corey, Hurley, Lemen, & Heilman, 2003). Ze voerden ook een latere dichotische luisterstudie uit (Foundas, Bollich, Feldman, Corey, Hurley, Lemen, & Heilman, 2004), en concludeerden dat linkshandige mannelijke en rechtshandige vrouwelijke PWS atypische auditieve verwerking hebben. Specifiek betoogden ze dat de linkeroor-voorkeur die gevonden werd in de niet-gerichte aandachtsconditie bij linkshandige mannelijke PWS een betrokkenheid suggereert van de rechter temporale kwab in spraakperceptie, of op zijn minst een gemengde dominantie voor spraakperceptie. Deze interpretatie vond bevestiging in de observatie dat deze deelnemers ook relatief beter waren in het verschuiven van aandacht in beide richtingen, een functie die rechts-hemisferisch dominant is. De bevindingen dat de rechtshandige vrouwelijke PWS geen oor-voorkeur hadden in de niet-gerichte aandachtsconditie, meer perceptuele fouten maakten, en moeite hadden aandacht te verschuiven, werden gezamenlijk geïnterpreteerd als bewijs voor verminderde hersenasymmetrie en REA in deze groep. Al met al kan van het dichotisch luisteronderzoek in PWS geconcludeerd worden dat geslacht en handigheid aanvullende elementen kunnen zijn in atypische auditieve centrale verwerking in PWS, en dat afwijkingen in dichotische luisterpatronen wellicht niet zo'n definiërende of dominante eigenschap zijn in de stotterende populatie.

### **Sinewave spraak: Een mogelijke alternatieve methodologie**

Sinewave spraak is een unieke signaalsoort die oorspronkelijk ontworpen is door Remez, Rubin, Pisoni, en Carrell (1981) in het Haskins Laboratory. Het bestaat uit een set (meestal 3) van tijdsvarierende sinusoidale patronen die de veranderende formant-centerfrequenties

volgen (i.e., de resonanties van het supralaryngeale spraakkanaal) van een natuurlijk geproduceerde uiting. De drie-tonige patronen verschillen van natuurlijke spraak op verschillende prominente manieren. Ten eerste missen de energiespectra van de tonen de harmonischen die normaal gerelateerd zijn aan fundamentele frequentie. Ten tweede missen ze het breedbandspectrum die normaal de wijze en plaats van articulation aangeven. Ten derde missen ze de discontinuïteit die geproduceerd wordt door de laryngeale pulsen in het energiespectrum. Men kan zien dat dit signaal veel cues mist die natuurlijke spraak verschaft aan spraakproductie, en zorgt voor een abstract signaal dat op veel manieren niet-spraakachtig is omdat het in feite slechts uit drie tijdsvarierende tonen bestaat. Omdat sinewave spraak als spraak en niet-spraak beluisterd kan worden, presenteert het onderzoekers met een alternatieve testmethode voor het duplexparadigma gebruikt in studies met als doel aan te tonen dat spraakperceptie uniek is en wordt waargenomen in spraakmodules onafhankelijk van niet-spraakmodules. In meer recente onderzoeken is aangetoond dat de ambiguë / niet-spraakachtige sinewave stimuli top-down verwerking rekruteren voor fonemeem perceptie die gebaseerd is op een meer specifiek en zeer efficiënt linkerhemisferisch netwerk (Dehaene-Lambertz, Pallier, Serniclaes, Sprenger-Charolles, Jobert, en Dehaene, 2005; Lee & Noppeney, 2011). Wellicht van nog groter belang voor spraakonderzoek zijn de bevindingen van Saltuklaroglu en Kalinowski (2006). Zij hebben aangetoond dat sinewave spraak sprekers informeert over de articulatiegebaren van spraak, en in die hoedanigheid stotteren kan remmen (Saltuklaroglu & Kalinowski, 2006). Men zou kunnen stellen dat dit vloeiendheidsvoordeel kan worden afgeleid wanneer de bekwaamheid om sinewave spraak te verwerken in PWS gelijk is aan die van normaal vloeiende personen. Dit kan al dan niet het geval zijn en het is mogelijk dat dichotisch luisteren hiervan indicatief is.

Interessant genoeg zijn dichotisch luisteren en sinewave spraakverwerking niet gelijktijdig onderzocht in PWS en normaal vloeiende controles. Daarom is het niet bekend of deze vaardigheden vergelijkbaar zijn in beide groepen. Hoewel het denkbaar is dat handigheid, dichotisch luisteren, en sinewave spraakperceptie gerelateerd zijn, zijn deze relaties niet formeel onderzocht. Deze overwegingen hebben geleid tot het ontwerp van de huidige studie. Het doel was dichotisch luisteren en sinewave spraakperceptie te onderzoeken in PWS en normale controles om te zien of zij 1) vergelijkbaar zijn in beide groepen en 2) elkaars voor spellende zijn.

## Methode

### Deelnemers

Spraak-taalpathologen in de omgeving van Oklahoma City hebben PWS voor deze studie doorverwezen. Controledelnemers werden gerekruteerd via flyers opgehangen rond de Health Sciences campus van de University of Oklahoma. Deelnemers waren zes volwassenen met ontwikkelingsstotteren (*persistent developmental stuttering*; PDS) vastgesteld door een gecertificeerde spraak-taalpatholoog, en zes normaal vloeiende volwassenen. Deelne-

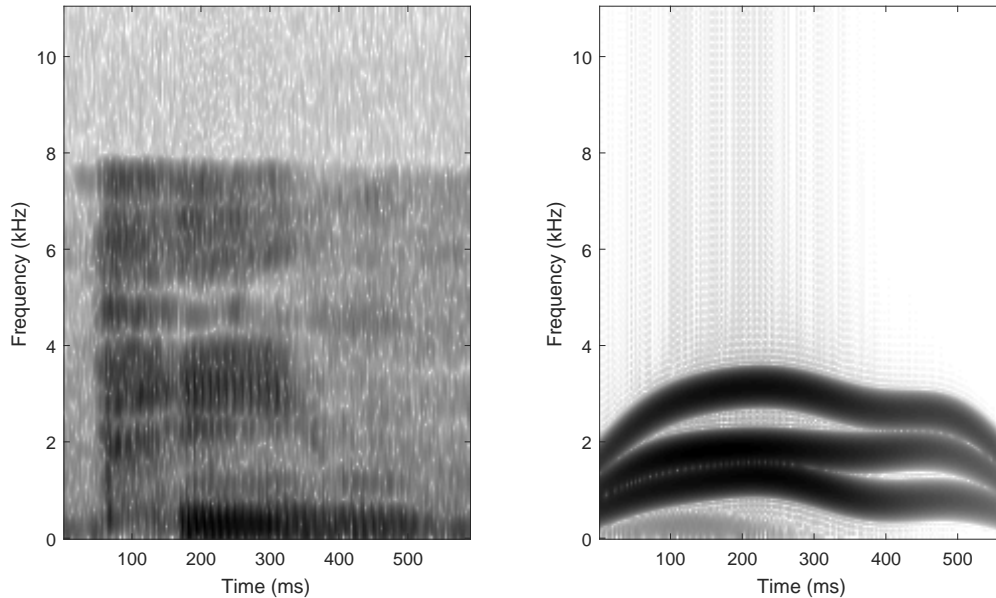
mers werden zodanig gerekruteerd dat geslachtsverhoudingen in de PDS-groep en de controlegroep gelijk waren; 3 mannen en 3 vrouwen in elke groep. De gemiddelde leeftijd van PWS was  $38.5 \pm 15.2$  jaar, en die van de normaal vloeiende deelnemers was  $37.8 \pm 10.5$  jaar. Alle deelnemers slaagden voor een gehoortest van zuivere tonen (1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, en 4 kHz op 15 dB SPL) en hadden geen geschiedenis van neurologische aandoeningen of spraak- en taalstoornissen anders dan stotteren. Deelnemers werden niet betaald voor deelname aan de studie. Alle deelnemers gaven schriftelijke toestemming om deel te nemen aan de studie en vulden privacy- en toestemmingsformulieren in.

## Procedure

Deelnemers kregen eerst een dichotische luistertest en vervolgens luistertaken met sine-wave spraak aangeboden. De dichotische luistertest bestond uit 180 trials. In deze test werd ze gevraagd de syllabe te kiezen die ze hoorden binnen dichotische woordparen (Brady en Berson, 1975, zie appendix A). De dichotische woorden werden tegelijkertijd getoond op het computerbeeldscherm, en ze maakten hun antwoorden bekend via een drukknopbox. Een respons van een deelnemer leidde tot de presentatie van het volgende woord na een pauze van 500 ms. In het eerste gedeelte van deze taak (vrij herinneren: trials 1-60) werd geen instructies gegeven, terwijl in de rest van de taak (trials 61-180) aandacht geleid werd op het linkeroor (60 trials) of het rechteroor (60 trials) via een visuele cue (LINKS/RECHTS) op de computer monitor, alvorens de auditive stimulus werd aangeboden. Na deze taak vulde de deelnemer een korte vragenlijst in met betrekking tot linker versus rechter oog-, hand-, en -voetvoorkeuren tijdens bepaalde taken.

In de sinewave spraaktaken werd participanten gevraagd te luisteren naar sinewave stimuli (woorden en non-woorden) onder twee maskeringscondities. De sinewave woorden bestonden uit een lettergreep die klinker-initieel (e.g., add, ease, off) of consonant-initieel (e.g., bad, team, top) was. Klinker- and consonant-initiele woorden omvatten elk 9 tokens. Non-woorden bestonden uit sine-wave woorden die omgedraaid werden aangeboden. Deze werden gebruikt in de constructie van mis-matched woordparen en in de creatie van 'filler' stimulusparen die tussen doelstimulusparen werden aangeboden om de invloed van leren en reponstrends in te perken. De stimuli werden opgenomen bij het Health Sciences Center van de University of Oklahoma, en getransformeerd in sinewave spraak met behulp van custom-geschreven Praat Scripts (zie Figuur 1).

De tests bestonden uit 156 trials, waarvan de helft gepresenteerd werd aan het linkeroor en de helft aan het rechteroor. Er werden 44 trials gepresenteerd aan de kandidaten zonder instructie (naïeve conditie), en 112 trials werden gepresenteerd met instructie (geïnformeerde conditie) In de naïeve conditie werd participanten verteld ruis te verwachten uit de hoofdtelefoon. In de geïnformeerde conditie werd participanten verteld dat ze gingen luisteren naar gesynthetiseerde spraakgeluiden. Over alle taken waren 78 stimuluspresentaties klinker-initieel, en 78 waren consonant-initieel. De trials werden random aangeboden.



*Figuur 1:* Spectrogrammen van het woord /team/, met links de originele versie en rechts de corresponderende sine wave versie.

Sine wave woorden en non-woorden werden gepresenteerd in één oor terwijl het contralaterale oor witte ruis (maskeringsconditie) of stilte (geen maskeringsconditie) ontving. Sine wave stimuli en witte ruis werden gepresenteerd via een hoofdtelefoon (Telephonics TDH-39P). De volgorde van stimuluspresentatie aan het linker- en het rechteroor werden contra-gelanceerd, i.e., stimuli werden alternerend aangeboden. Na elke stimuluspresentatie werd participanten een woord getoond op het computerbeeldscherm. Participanten werden geïnstrueerd op drukknop '1' te drukken wanneer ze dachten dat het getoonde woord overeenkwam met het sine wave woord dat ze via de hoofdtelefoon hoorden, en op drukknop '2' wanneer ze dachten dat er een mismatch was.

## Analyse

De handigheidsscore varieerde voor elke deelnemer van -1 (sterk linkshandig) tot 1 (sterk rechtshandig), en was verkregen van antwoorden op de Edinburgh handedness inventory (Oldfield, 1971). Wanneer een deelnemer een score tussen -0.1 en 0.1, dan werd hij/zij beschouwd als hebbende een gemengde handigheid. Oorvoorkeursscores in de dichotische luistertaken werden berekend naar dezelfde schaal als de handigheidsscores (-1 geeft aan 100% linker voorkeur; 1 = 100% rechts).

De deelnemerscores werden berekend door de trial item-scores te middelen binnen elke conditie. Aangezien de gezamenlijke distributie van deze scores niet in de literatuur is uitge-



werkt, werden associaties tussen handigheid, dichotische luisterscores en sinewave taakprestatie beoordeeld op deelnemerniveau met behulp van Spearman correlaties. Het effect van experimentele condities op oorvoorkeur in dichotisch luisteren werd beoordeeld met Spearman correlaties en meervoudige lineaire regressie met interactietermen voor stotteren. Responsaccuratesse in de sinewave spraaktaak werd gekwantificeerd met odds ratios (ORs) berekend met gemengde logit modellen, gecorrigeerd voor handigheid en oorvoorkeurscores. Alle statistische tests werden uitgevoerd in SAS v9.4.

## Resultaten

### Dichotische luisterprestatie en handigheid

Handigheids- en oorvoorkeurscores voor dichotisch luisteren zijn gerapporteerd in Tabel 1. Er valt te zien dat twee normaal vloeiende deelnemers in de controlegroep (*normally fluent controls*; NFC) sterk linkshandig waren, terwijl vier deelnemers sterk rechtshandig waren. Voor de PWS waren vier personen sterk rechtshandig, één was matig rechtshandig, en één rapporteerde gemengde linkshandigheid.

Tabel 1: Handigheids- en oorvoorkeurscores per groep en subject

Groep	Subject	Hand			Oor	
		Score	Categorie	Vrij herinneren	Rechter aandacht	Linker aandacht
Control	3	-0.92	Links	-0.20	0.30	-0.53
Control	5	1.00	Rechts	0.00	0.43	-0.17
Control	7	1.00	Rechts	0.33	0.23	0.30
Control	8	1.00	Rechts	0.03	0.10	0.17
Control	10	0.83	Rechts	0.10	0.10	0.23
Control	12	-1.00	Links	-0.83	-0.13	-0.80
PWS	1	0.08	Gemengd	-0.63	-0.60	-0.73
PWS	2	0.92	Rechts	0.13	0.40	-0.10
PWS	4	0.50	Rechts	0.27	0.33	-0.40
PWS	6	1.00	Rechts	0.27	0.37	0.33
PWS	9	0.92	Rechts	0.17	-0.03	-0.03
PWS	11	0.83	Rechts	-0.23	-0.17	0.10

Deelnemers met een links- of gemengde handigheid (2 NFC, 1 PWS) en één persoon met rechtshandigheid hadden een linkeroorvoorkeur bij de niet-gerichte dichotische luisteraak. Over groepen waren handigheidsscores significant gecorreleerd met oorvoorkeur in

de vrij herinneren conditie ( $r = 0.6030$ ,  $p = 0.0379$ ) en linker aandachtsconditie ( $r = 0.7645$ ,  $p = 0.0038$ ), maar slechts marginaal voor de rechter aandachtsconditie ( $r = 0.4795$ ,  $p = 0.1147$ ).

De oorvoorkeursscores waren vergelijkbaar en gemengd voor beide groepen ( $p = 0.8133$ ). Tabel 1 maakt verder duidelijk dat in de aandachtscondities, de oorvoorkeur meer verschoof naar rechts gedurende de rechter aandachtsconditie in NFC dan in PWS (0.17 voor NFC vs. 0.05 voor PWS). Dit verschil was echter niet significant ( $p = 0.1204$ ). In de linker aandachtsconditie waren gemiddelde scores vergelijkbaar in beide groepen ( $p = 0.7071$ ) en indicatief voor een beperkte verschuiving in de richting van een linkeroorvoorkeur.

Interessant genoeg beïnvloedde vloeiendheidsstatus het effect van handigheid op oorvoorkeursscores. Specifiek lieten handigheid en vloeiendheidsstatus een significante interactie zien in de linker aandachtsconditie ( $p = 0.0419$ ), maar dit was niet het geval in de vrijherinneren conditie ( $p = 0.3064$ ) of de rechter aandachtsconditie ( $p = 0.1015$ ). In de linker aandachtsconditie kwam elk toegevoegd punt van rechtshandigheid overeen met een gemiddeld stijging van 0.41 [0.26-0.56] punten in oorvoorkeursscores voor NFS, vergeleken met een gemiddelde stijging van 1.00 [0.70-1.30] punten voor PWS.

## Verwerking van sinewave spraak

De beschrijvende statistieken met betrekking tot de prestaties van de deelnemers (percentage correct) op de sinewave spraaktaak zijn weergegeven in Tabel 2. De 95% betrouwbaarheidsintervallen weergegeven tussen haakjes werden berekend via de Clopper-Pearson exacte methode.

Over participanten was accuraatheid in de naïeve conditie 15-28% hoger voor het linkeroor, vergeleken met het rechteroor voor klinker-initiële stimuli (odds ratio;  $OR = 3.50$ ,  $p = 0.0085$ ). Resultaten in deze conditie waren vergelijkbaar voor beide oren voor consonant-initiële stimuli ( $OR = 1.29$ ,  $p = 0.1797$ ). De trend voor verbeterde prestatie in het linkeroor vergeleken met het rechtoor was omgedraaid in de geïnformeerde masking conditie. Dat wil zeggen, rechteroorverwerking was meer accuraat dan linkeroorverwerking voor klinker-initiële stimuli ( $OR = 10.90$ ,  $p = 0.0011$ ). De resultaten waren weer hetzelfde voor consonant-initiële stimuli, met een niet-significant verschil tussen oren ( $OR = 0.33$ ,  $p = 0.0634$ ) in deze conditie. Deze trendomkeer (i.e., de interactie van informatie  $\times$  oor in de aanwezigheid van contra-laterale maskering) werd niet gemodificeerd door vloeiendheidsstatus ( $p = 0.3236$ ).

## Resultaten van dichotisch luisteren en de sinewave spraaktaak

Samengevoegd over experimentele condities, was oorvoorkeur niet significant geassocieerd met prestatie op de sinewave spraaktaak over groepen ( $p = 0.6825$ ); evenmin was de associatie tussen oorvoorkeur en sinewave spraakprestatie over groepen ( $p = 0.4232$ ). Stratificatie bij experimentele task leverde echter meer complexe patronen van associatie op. Over

Tabel 2: Prestatie op de sinewave spraaktaak per groep en experimentele conditie

Informatie	Maskering	Groep	Oor	Totaal	Klinker	Consonant
Naïef	Geen	Control	Links	0.75 [0.62 - 0.85]	0.67 [0.45 - 0.84]	0.81 [0.64 - 0.92]
			Rechts	0.85 [0.77 - 0.92]	0.85 [0.72 - 0.94]	0.85 [0.72 - 0.94]
		PWS	Links	0.68 [0.55 - 0.80]	0.67 [0.45 - 0.84]	0.69 [0.52 - 0.84]
			Rechts	0.79 [0.70 - 0.87]	0.79 [0.65 - 0.90]	0.79 [0.65 - 0.90]
Naïef	Contra-lateraal	Control	Links	0.71 [0.56 - 0.83]	0.92 [0.73 - 0.99]	0.50 [0.29 - 0.71]
			Rechts	0.57 [0.43 - 0.69]	0.64 [0.46 - 0.79]	0.46 [0.26 - 0.67]
		PWS	Links	0.73 [0.58 - 0.85]	0.83 [0.63 - 0.95]	0.63 [0.41 - 0.81]
			Rechts	0.63 [0.50 - 0.75]	0.69 [0.52 - 0.84]	0.54 [0.33 - 0.74]
Geïnformeerd	Geen	Control	Links	0.89 [0.84 - 0.93]	0.89 [0.81 - 0.94]	0.90 [0.83 - 0.95]
			Rechts	0.90 [0.85 - 0.93]	0.97 [0.94 - 0.99]	0.77 [0.68 - 0.84]
		PWS	Links	0.88 [0.83 - 0.92]	0.85 [0.77 - 0.91]	0.91 [0.84 - 0.95]
			Rechts	0.91 [0.87 - 0.94]	0.96 [0.91 - 0.98]	0.84 [0.76 - 0.91]
Geïnformeerd	Contra-lateraal	Control	Links	0.76 [0.69 - 0.83]	0.69 [0.57 - 0.80]	0.83 [0.73 - 0.91]
			Rechts	0.94 [0.88 - 0.97]	0.94 [0.81 - 0.99]	0.93 [0.86 - 0.98]
		PWS	Links	0.79 [0.72 - 0.85]	0.67 [0.55 - 0.77]	0.92 [0.83 - 0.97]
			Rechts	0.98 [0.93 - 1.00]	0.97 [0.85 - 1.00]	0.98 [0.92 - 1.00]

beide participantgroepen was dichotische luisterprestatie in de linkeroor-conditie significant geassocieerd met rechteroor-voorkeur in de gemaskeerde conditie met klinker-initiële stimuli ( $r = 0.6816$ ,  $p = 0.0146$ ). Dichotische voorkeur in de rechter aandachtconditie was significant gecorreleerd met linkeroor voorkeur in de ongemaskeerde conditie met klinker-initiële stimuli ( $r = -0.5777$ ,  $p = 0.0491$ ). Voor PWS was dichotische linkeroor voorkeur in de vrij herinneren conditie significant geassocieerd met rechteroor voorkeur in de ongemaskeerde conditie met klinker-initiële stimuli ( $r = -0.5777$ ,  $p = 0.0491$ ). Voor controlesprekers was oorvoorkeur in de dichotische luistertaak niet geassocieerd met prestatieverschillen in de sinewave spraaktaken.

## Discussie

Oorvoorkeur was gelijk in de PWS en NFC groepen. Bovendien, ondanks de kleine steekproef toonden de deelnemers een gamma in oorvoorkeur, met participanten in beide groepen die geen linkeroor voorkeur lieten zien. Over groepen was oorvoorkeur in de vrij herinneren en linkeraandachtscondities van de dichotische luistertaak geassocieerd met handigheid. Dat wil zeggen, hoe meer rechtshandig een deelnemer was, hoe meer hij/zij een rechteroor voorkeur liet zien, en hoe meer linkshandig, hoe groter de linkeroor voorkeur. Interessant is dat het effect van handigheid op oorvoorkeur in de linker aandachtconditie werd beïnvloed door vloeiendheidsstatus, met een sterkere associatie tussen handigheid en oorvoorkeur voor PWS dan voor NFC. Deze bevinding, hoewel niet bevestigd voor geslacht, is consistent met de notie die als eerste geïntroduceerd werd door Foundas et al. (2004) dat

handigheid een rol kan spelen in het bestaan van subgroepen in PWS als het gaat om dichotische luisterprestaties.

Wat betreft sinewave spraakverwerking, vinden de verschillen in prestatie tussen naïeve en geïnformeerde luistercondities, en de verschillen tussen klinker- en consonant-initiële stimuli steun bij theorieën van spraak- en woordperceptie. In het bijzonder suggereren ze dat in de naïeve luisterconditie deelnemers mogelijk geen “speciale” spraakverwerkingsmoden of -modules gebruiken zoals gehypothetiseerd is in de motor theorie van spraakperceptie (Lieberman en Mattingly, 1989; Galantucci, Fowler, & Turvey, 2000) in vergelijking met wanneer ze geïnformeerd worden over de aard van het signaal. Daarom suggereren onze bevindingen van een linker oor superioriteit in de naïve toestand dat rechterhemisfeer verwerking meer geschikt zou kunnen zijn voor signalen waarvan de status op het gebied van spraak dubieus is. De bevinding van een rechter oor superioriteit voor het accuraat verwerken van sinewave spraak in de geïnformeerde conditie is consistent met het idee dat linkerhemisfeer verwerking meer geschikt is voor signalen die eenduidig als spraak geïdentificeerd worden. Interessant is dat het verschil in verwerking tussen klinker- en consonantstimuli mogelijk een variatie op hetzelfde thema is wanneer men de aard van sinewave spraak beschouwt. Het kan beargumenteerd worden dat sinewave spraak, hoewel technisch gezien een periodiek karakter draagt, in feite ruisachtig en gefilterd is in vergelijking met een niet-gemodificeerd spraaksignaal. Terwijl dit klopt voor de klinker-initiële stimuli, is dit nog meer het geval voor consonant-initiële stimuli. Met andere woorden, in de klinker-initiële stimuli is het relatieve signaalverlies (informatie) in sinewave spraak veel lager dan voor consonanten (i.e., formanten en stem blijven grotendeels behouden). Het ruisachtige karakter in sinewave spraak van consonanten promoot bottom-up exploratie van het signaal, en dempt of vertraagt het soort links-gelateraliseerde, top-down verwerking. Een aannemelijke compensatorische strategie is dat participanten vertrouwen op een strategie die “signaal” in plaats van “bottom-up” gericht is, zoals continued mapping, beschreven in het Trace model (McClelland & Elman, 1986), de Shortlist (Norris, 1994) of neighborhood activation (Luce & Pisoni, 1998) modellen van woordverwerking. Daarnaast kan deze strategie participanten laten neigen naar een fonetische, holistische modus van verwerken waarin prosodie een belangrijkere rol speelt. Deze interpretatie is consistent met bewijs afkomstig van studies die low-pass gefilterde stimuli gebruikten in een gating (*venster*) paradigma (Lindfield, Wingfield, & Goodglass, 1999; Boutsen, Dvorak, & Deweber, 2016). Deze studies suggereren dat de presentatie van stimuli waarvan segmentele info was versluierd door filtering, maar op zodanige wijze dat prosodische informatie bewaard blijft (zoals het geval is in sinewave spraak), luisteraars in staat stelt om prosodie op woordniveau actief te verwerken gedurende het woordherkenningsproces. Op verwante wijze suggereren de resultaten van de huidige studie dat PWS en NFS, in tegenstelling tot natuurlijke spraak, in het algemeen dezelfde aanpassingen gebruiken bij het verwerken van al dan niet consonant-initiële sinewave spraak. De bevinding dat voor mensen die stotteren de linker oor dichotische voorkeur in de vrij herinneren conditie significant geassocieerd was met rechter oor voordeel in klinker-initiële stimuli in de ongemaskeerde conditie, terwijl tegelijkertijd voor normaal vloeiende controlesprekers oorvoorkeur in de dichotische luistertaken niet werd

geassocieerd met enige prestatieverschillen in de sinewave spraaktaken, suggereert desondanks dat er mogelijk subtiele verschillen tussen deze groepen bestaan.

Al met al kan gezien worden dat een evaluatiemethode die geslacht, handigheid, dichotisch luisteren, en sinewave luisteren omvat, het potentieel heeft om niet alleen subgroepen in personen die stotteren te onthullen, maar ook mogelijk onderscheidende spraakverwerkingsmechanismen laat zien tussen personen die stotteren en normaal vloeiende sprekers. Hieruit volgt dat onderzoek met een grotere groep nodig is om te zien of de bevindingen die hier gepresenteerd zijn gerepliceerd kunnen worden, maar ook om mogelijk normatieve data te verschaffen aan klinici voor het gebruik in evaluaties van vloeiendheid.

## Referenties

- Andrews, G., Craig, A., Feyer, A.M., Hoddinott, S., Howie, P., & Neilson, M. (1983). Stuttering: A review of research findings and theories circa 1982. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 48(3), 226-246.
- Backus, O. (1938). Incidence of stuttering among the deaf. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 47, 632-635.
- Blood, G.W. (1985). Laterality differences in child stutterers: Heterogeneity, severity levels, and statistical treatments. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 50, 66-72.
- Blood, G.W. & Blood, I. (1984). Central auditory function in young stutterers. *Perceptual Motor Skills*, 59, 699-705.
- Blood, G.W, Blood, I.M. & Hood, S.B.(1987) The development of ear preference in stuttering and nonstuttering children: a longitudinal study. *Journal of Fluency Disorders*, 12, 119-131.
- Bloodstein, O. (1995). *A handbook on stuttering* (5th ed.). San Diego, CA: Singular.
- Boutsen, F.R., Dvorak, J.D., & Deweber, D.D. (2016). Prosody and spoken word recognition in early and late Spanish-English Bilinguals. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, in press.
- Brady, J.P., & Berson, J. (1975) Stuttering, Dichotic Listening, and Cerebral Dominance. *Archives General Psychiatry*, 32, 1449-1452.
- Broadbent, D.E. (1954). The role of auditory localization in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 51-55.
- Dehaene-Lambertz, G., Pallier, C., Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Jobert, A. and Dehaene, S. (2005). Neural correlates of switching from auditory to speech perception. *Neuroimage*. 24, 21-33
- Galantucci, B., Fowler, C.A., & Turvey, M.T. (2006). The motor theory of speech perception reviewed. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13, 361-77.
- Foundas, A.L., Bollich, A.B., Corey, D.M., Hurley, M., & Heilman, K.M. (2001). Anomalous anatomy in adults with persistent developmental stuttering: A volumetric MRI study of cortical speech-language areas, *Neurology*, 57, 207-215.
- Foundas, A. L., Corey, D.M., Angeles. V., Bollich, A.M., Crabtree-Hartman, E., & Heilman

- K.M. (2003). Atypical cerebral laterality in adults with persistent developmental stuttering. *Neurology*, *61*, 1378-1385.
- Foundas, A.L., Bollich, A.M., Feldman, J. Corey, D.M., Hurley, M., Lemen, L.C., & Heilman, K.M. (2004) Aberrant auditory processing and atypical planum temporale in developmental stuttering. *Neurology*, *63*, 1640-1646
- Hall, J.W., & Jerger, J. (1978). Central auditory function in stutterers. *Journal of Speech and Hearing Research*, *21*(2), 324-37.
- Harms, M.A., & Malone, J.Y., (1939). The relationship of hearing acuity to stammering. *Journal of Speech Disorders*, *4*, 363-370.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(4), 131-138.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, *92*(1-2), 67-99.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*(5), 393-402.
- Howell, P., Rosen, S., Hannigan, G., & Rustin, L. (2000). Auditory backward-masking performance by children who stutter and its relation to dysfluency rate. *Perceptual and Motor Skills*, *19*, 355-363.
- Howell, P., & Williams, S.M. (2004). Development of auditory sensitivity in children who stutter and fluent children. *Ear and Hearing*, *25*(3), 265-274.
- Howell, P., Davis, S., & Williams, S.M (2006). Auditory abilities of speakers who persisted, or recovered, from stuttering. *Journal of Fluency Disorders*, *31*, 257-270.
- Hugdahl, K., Law, I., Kyllingsbaek, S., Bronnick, K., Grade, A., & Paulson, O. (1999). Effects of attention on dichotic listening: An 15O-PET study. *Neuropsychologia*, *38*, 431-440.
- Lindfield, K.C., Wingfield, A., & Goodglass, H. (1999). The contribution of prosody to spoken word recognition. *Applied Psycholinguistics*, *20*, 395-405.
- Liberman, A.M., & Mattingly, I.G. (1989). A specialization for speech perception. *Science*, *243*, 489-494.
- Luce, P.A., & Pisoni, D.B. (1998). Recognizing spoken words: The neighborhood activation model. *Ear and Hearing*, *19*, 1-36.
- McClelland, J.L., & Elman, J.L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, *18*, 1-86.
- Montgomery, B.M., & Fitch, J.L. (1988). The prevalence of stuttering in the hearing-impaired school age population. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *53*, 131-135.
- Norris, D. (1994). Shortlist: A connectionist model of continuous speech recognition. *Cognition*, *52*, 189-234.
- Remez, R.E., Rubin, P.E., Pisoni, D.B., & Carrell, T.D. (1981). Speech perception without traditional speech cues. *Science*, *212*(22), 947-950.
- Salmelin, R., Schnitzler, A., Schmitz, F., Jancke, L., Witte, O.W., & Freund, H.J. (1998). Functional organization of the auditory cortex is different in stutterers and fluent speakers. *Neuroreport*, *9*, 2225-2229.
- Saltuklaroglu, T., & Kalinowski, J. (2006). The inhibition of stuttering via the presentation of natural speech and sinusoidal speech analogs. *Neuroscience Letters*, *404*(1-2), 196-201.

## Appendix A: dichotische woordparen

(Afkomstig uit Brady & Berson, 1975)

---

1 Dip Gip	16 Tip Gip	31 Tip Kip	46 Tip Gip
2 Bep Gep	17 Kep Gep	32 Gep Tep	47 Kep Gep
3 Gip Kip	18 Pep Kep	33 Pep Bep	48 Bip Pip
4 Gep Dep	19 Bip Kip	34 Gip Kip	49 Bep Tep
5 Gip Pip	20 Gip Bip	35 Gep Dep	50 Dep Kep
6 Kip Pip	21 Tip Bip	36 Gip Pip	51 Kep Tep
7 Pep Gep	22 Dip Tip	37 Pep Gep	52 Dep Bep
8 Dep Bep	23 Bip Dip	38 Dip Tip	53 Bip Dip
9 Kep Tep	24 Dep Pep	39 Gip Bip	54 Kip Pip
10 Dep Kep	25 Kep Bep	40 Bip Kip	55 Dep Pep
11 Bep Tep	26 Kip Dip	41 Pep Kep	56 Kep Bep
12 Pip Tip	27 Pep Bep	42 Pip Tip	57 Kip Dip
13 Bip Pip	28 Tep Pep	43 Pip Dip	58 Bep Gep
14 Tep Dep	29 Gep Tep	44 Tep Dep	59 Tep Pep
15 Pip Dip	30 Tip Kip	45 Tip Bip	60 Dip Gip

---