

Bimodale of bilaterale stimulatie?

Een onderzoek naar het verschil in auditieve mogelijkheden tussen kinderen met een hoortoestel en een cochleair implantaat en kinderen met twee cochleaire implantaten

Masterthesis

Taal- en Spraak Pathologie

Seki Geelen (s4733797)
Radboud universitair medisch centrum
Begeleiders: Dr. M. Sparreboom & Prof. Dr. E.A.M. Mylanus
Tweede beoordelaar: Dr. E. Janse
Masterscriptie Taalwetenschappen: Taal- en Spraak Pathologie
Radboud Universiteit Nijmegen
Nijmegen, april 2019

Voorwoord

Voor u ligt de masterthesis waarmee ik de master Taal- en Spraakpathologie (TSP) aan de Radboud Universiteit in Nijmegen afrond. In de zomer van 2016 ben ik afgestudeerd als logopediste aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. Om mijn kennis te vergroten ben ik daarna begonnen aan de master TSP. Tijdens de opleiding heb ik van verschillende logopedische gebieden kennis vergaard. Vooral de richting gehoor vond ik erg interessant. Om deze reden heb ik dit onderwerp ook voor mijn masterthesis gekozen.

Ik heb mijn thesis mogen schrijven op het Audiologisch Centrum van het Radboud universitair medisch centrum. Het was voor mij een uitdagend onderzoek, aangezien er tijdens de opleiding logopedie alleen aandacht besteed werd aan de basiskennis omtrent het gehoor. Ik heb mij hierdoor eerst goed ingelezen, voordat ik aan het huidige onderzoek begonnen ben. Dit heb ik met veel plezier gedaan. Ik vond het leuk om meer te weten te komen over kinderen met een cochleair implantaat en om uiteindelijk zelf met hen te werken.

Graag wil ik een aantal mensen hartelijk danken voor hun hulp bij het realiseren van deze masterthesis. Als eerst mijn begeleiders, Dr. M. Sparreboom en Prof. Dr. E.A.M. Mylanus, voor hun feedback, nieuwe inzichten en fijne begeleiding. Robbert-Jan Miserus voor zijn bijdrage aan de begeleiding. De medewerkers van het CI-team voor hun samenwerking en hulp wanneer ik ergens tegenaan liep. Alle kinderen en hun ouders die deel hebben genomen aan mijn onderzoek. En ten slotte Esther Janse voor de ondersteuning tijdens mijn afstuderen en Frans van der Slik voor de statistische begeleiding.

Ik wens u veel leesplezier.

Seki Geelen

Nijmegen, april 2019

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	5
Abstract	6
H1. Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Onderzoeksvraag	8
H2. Theoretisch kader	10
2.1 Wat is een cochleair implantaat?	10
2.1.1 De werking van een CI	10
2.1.2 Wanneer wordt een CI geplaatst?	11
2.1.3 Mogelijkheden met een unilateraal CI	11
2.2 Bilateraal horen bij normaalhorende personen	12
2.2.1 Binaurale cues bij spraakverstaan in ruis	12
2.2.2 Binaurale cues bij lokalisatiemogelijkheden	12
2.3 Bilateraal horen bij CI-gebruikers	13
2.3.1 Resultaten bij bilaterale stimulatie	14
2.3.2 Resultaten bij bimodale stimulatie	16
2.4 Vergelijking tussen bimodale en bilaterale stimulatie	17
2.4.1 Spraakverstaan in ruis	17
2.4.2 Lokalisatiemogelijkheden	18
2.4.3 Prosodische perceptie	19
2.5 Bimodaal of bilateraal?	20
2.6 Huidig onderzoek	20
2.6.1 Onderzoeksvraag en hypothesen	20
H3. Methode	22
3.1 Design	22
3.2 Participanten	22
3.3 Procedure	23
3.4 Materiaal	25
3.4.1 Spraakaudiometrie: Spraakverstaan in ruis	25
3.4.2 Lokalisatiemogelijkheden	25
3.4.3 BABA: Prosodietest	26
3.5 Data-analyse	27
H4. Resultaten	29
4.1 Spraakverstaan in ruis	29
4.2 Lokalisatiemogelijkheden	31
4.3 Prosodietest	36
H5. Discussie en conclusie	38
5.1 Interpretatie van de gevonden resultaten en vergelijking met de literatuur	38
5.1.1 Spraakverstaan in ruis	38
5.1.2 Lokalisatiemogelijkheden	39
5.1.3 Prosodische perceptie	40

5.2 Sterke en zwakke punten van dit onderzoek	41
5.3 Aanbevelingen	42
5.4 Conclusie.....	42
Referenties	44
Bijlagen.....	48
1 Proefpersooninformatie en toestemmingsverklaring	48
2 Testinstructies	58
3 Gebruikte NVA lijsten	59

Samenvatting

In Nederland krijgen kinderen met (zeer) ernstig gehoorverlies standaard een unilateraal cochleair implantaat (CI). Onderzoek wijst echter uit dat met bilateraal horen betere resultaten behaald worden dan met unilateraal horen. Om bilateraal te kunnen horen, kan er gebruik gemaakt worden van bilaterale stimulatie, waarbij aan beide oren een CI geïmplantéerd wordt, of van bimodale stimulatie, waarbij aan een oor een CI geïmplantéerd wordt en aan het andere oor een hoortoestel (HT) gedragen wordt. Er is echter nog niet vastgesteld of het plaatsen van een tweede implantaat meerwaarde heeft bovenop het behouden van het HT. Vooral niet wanneer er sprake is van aanzienlijk restgehoor in het nog niet geïmplantéerde oor. Wanneer het restgehoor gewoon gestimuleerd is gebleven en dus bruikbaar is, zullen er ook zonder een tweede implantatie bilaterale voordelen optreden. Voor een persoon die nog toegang heeft tot het spraakspectrum met het niet-geïmplantéerde oor, zou de beslissing tussen bimodale of bilaterale stimulatie dus afhankelijk moeten zijn van de afweging tussen de voordelen van een HT en de voordelen van een tweede CI.

Het doel van deze thesis is het in kaart brengen van de auditieve mogelijkheden van kinderen die gebruik maken van bilaterale stimulatie en kinderen die gebruik maken van bimodale stimulatie. De bimodaal geïmplantéerde kinderen hebben allen aanzienlijk restgehoor. Er is gekeken naar een verschil in spraakverstaan, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie bij zes bimodaal geïmplantéerde en vijf bilateraal geïmplantéerde kinderen. De resultaten van de studiegroepen zijn vergeleken met de resultaten van twaalf normaalhorende kinderen.

De resultaten betreffende spraakverstaan in ruis waren bij zowel ruis van voren, ruis aan het eerste/ enige CI en ruis aan het tweede CI of HT niet significant verschillend tussen de bimodale en de bilaterale studiegroep. Bij de lokalisatietaak werd er een significant voordeel gevonden voor de bilaterale studiegroep. Er werd echter een effect van stimulusfrequentie verwacht, maar dit was niet het geval. Betreffende de prosodische perceptie werden er geen verschillen gevonden tussen de studiegroepen, ongeacht de aangeboden spreker (mannelijke en vrouwelijke stem). De normaalhorende groep kinderen behaalden op alle onderdelen significant betere resultaten dan de twee studiegroepen.

Concluderend lijkt het uit de resultaten van deze studie nauwelijks uit te maken of er bimodale of bilaterale stimulatie plaatsvindt, wanneer er sprake is van bruikbaar restgehoor. Er werd alleen een klein voordeel gevonden voor de bilaterale groep betreft lokalisatiemogelijkheden. Het onderzoek is echter uitgevoerd met kleine onderzoeksgroepen, waardoor er geen harde conclusies getrokken kunnen worden.

Abstract

In the Netherlands, children with (very) severe hearing loss usually get a unilateral cochlear implant (CI). However, research shows that better results are achieved with bilateral hearing than with unilateral hearing. To hear bilaterally, bilateral stimulation can be used where on both ears a CI is implanted, or bimodal stimulation where a CI is implanted in one ear and a hearing aid (HA) is worn on the other. However, it has not yet been established whether placing a second implant has added value in addition to maintaining the HA. Especially, when there is significant residual hearing in the non-implanted ear. When the residual hearing stayed stimulated and is therefore usable, bilateral benefits will also occur without a second implant. For a person who still has access to the speech spectrum with the non-implanted ear, the decision between bimodal or bilateral stimulation should, therefore, depends on the trade-off between the benefits of a HA and the benefits of a second CI.

This thesis aims to identify the auditory possibilities of children who use bilateral stimulation and children who use bimodal stimulation. The bimodal implanted children all have considerable residual hearing. A difference in speech understanding, localisation possibilities and prosodic perception have been examined in six bimodal implanted and five bilateral implanted children. The results of the study groups were compared with the results of twelve normal-hearing children.

The results regarding speech intelligibility in noise were not significantly different between the bimodal and the bilateral study group for both frontal noise, first / single CI noise and second CI or HT noise. With regard to the localization task, a significant advantage was found for the bilateral study group. An effect of stimulus frequency was expected, but this was not the case. No differences in prosodic perception were found between the study groups, regardless of the speaker's voice (male and female voices). The group of children with normal hearing achieved significantly better results in all auditory possibilities than the two study groups.

To conclude, it is difficult to determine from the results of this study whether bimodal or bilateral stimulation takes place when there is usable residual hearing. Only a small advantage was found for the bilateral group in localization skills. However, because the research was conducted with small research groups, no firm conclusions can be drawn.

H1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland krijgen kinderen met (zeer) ernstig gehoorverlies standaard een eenzijdig cochleair implantaat (CI). Een CI is een prothese in het binnenoor die de functie van de kapotte haarcellen in het slakkenhuis (de cochlea) overneemt. Kinderen met een eenzijdig of unilateraal CI hebben een betere gehoordrempel, een beter spraakverstaan in stilte en behalen betere scores op het gebied van communicatie dan kinderen met hetzelfde gehoorverlies die een hoortoestel (HT) dragen (Snik, Vermeulen, Geelen, Brokx, & van den Broek, 1997).

Het auditieve systeem is echter gespecialiseerd om informatie vanuit beide oren te verwerken. In vergelijking met één oor verbetert luisteren met twee normaal functionerende oren de spraakperceptie in stilte en ruis. Bovendien maakt luisteren met twee oren het mogelijk om geluiden te lokaliseren. Doordat er met beide oren geluid waargenomen kan worden, kan het auditieve systeem verschillen in tijd en amplitude en spectrale verschillen waarnemen tussen de oren. Dit integratieproces van geluiden tussen beide oren wordt binauraal horen genoemd (Akeroyd, 2006).

Om met twee oren te kunnen horen, wordt er vaak voor bilaterale implantatie gekozen. Hierbij wordt er aan beide oren een CI geïmplantéerd, waardoor er bilateraal horen kan plaatsvinden. Bilateraal horen houdt in dat er met beide oren auditieve informatie verwerkt kan worden. Er blijft echter een verschil tussen bilateraal horen en binauraal horen. Bij binauraal horen, horen met twee normaal functionerende oren, zal er een beter integratieproces tussen beide oren zijn dan bij bilateraal horen. De ontwikkeling van bilateraal horen bij slechthorende mensen is dus minder uitgebreid dan binauraal horen bij normaalhorende mensen (Akeroyd, 2006).

In vergelijking met unilateraal horen biedt bilateraal horen voordelen betreft spraakverstaan in ruis en lokalisatiemogelijkheden (Lovett, Kitterick, Hewitt, & Summerfield, 2010; Sparreboom, Snik, & Mylanus, 2011). Bij bilaterale implantatie kunnen de CI's gelijktijdig (simultaan) geïmplantéerd worden of het tweede CI kan in een latere operatie (sequentieel) geplaatst worden. Er zijn ook mensen die naast een eenzijdig CI voldoende restgehoor hebben om in het andere een HT te dragen. Dit wordt bimodale stimulatie genoemd.

Doordat er met bilaterale implantaten betere resultaten behaald worden dan met een unilateraal implantaat, worden het laatste aantal jaren steeds meer kinderen bilateraal geïmplantéerd (Peters, Wyss, & Manrique, 2010). Kinderen die doof geworden zijn door meningitis, een hersenvliesontsteking, worden in Nederland sinds 2005 standaard bilateraal geïmplantéerd. Sinds 2012 worden bilaterale CI's ook bij slechthorendheid door andere oorzaken vergoed voor kinderen jonger dan 5 jaar (van Eindhoven, Gaasbeek-Janzen, & Heymans, 2012) en sinds 2014 tevens voor kinderen in de leeftijd van 5 tot en met 18 jaar (van Eindhoven, Gaasbeek-Janzen, & Heymans, 2014). Door deze vergoeding wordt bilaterale implantatie steeds meer toegepast.

Hoewel de resultaten met een CI erg bemoedigend zijn, zijn de uitkomsten op auditieve taken erg variabel. Tevens zijn de te behalen resultaten van een aantal factoren afhankelijk. De belangrijkste twee factoren zijn de leeftijd bij implantatie en de hoeveelheid restgehoor. Verschillende studies rapporteren dat cochleaire implantatie bij kinderen tot een leeftijd van 24 maanden resulteert in betere taalscores dan implantatie op latere leeftijd (Boons et al., 2012; Geers, Moog, Biedenstein, Brenner, & Hayes, 2009; Niparko et al., 2010). Een groter restgehoor wordt tevens geassocieerd met betere taal en spraak scores (Nicholas & Geers, 2006;

Niparko et al., 2010). Overige factoren zoals non-verbale intelligentie en het opleidingsniveau van de ouders zijn ook positief gecorreleerd aan de taal en spraak scores van kinderen na cochleaire implantatie (Boons et al., 2012; Geers et al., 2009; Niparko et al., 2010). Sommige studies rapporteren nog een significant negatieve relatie tussen de hoeveelheid tijd die er tussen de twee implantaties in zit en de hoeveelheid bilateraal voordeel. Des te langer de tijd tussen de twee implantaties, des te minder bilateraal voordeel er te behalen valt (Boons et al., 2012; Gordon & Papsin, 2009). Een andere studie rapporteert tevens nog een verschil in horen tussen de twee CI's bij sequentiële implantatie. Horen met alleen het eerste CI gaat vaak beter dan horen met alleen het tweede CI (Illg et al., 2013).

Ondanks de wisselende resultaten, is er de laatste jaren een groeiende interesse naar bilaterale implantatie. Voor een persoon met weinig restgehoor in het niet-geïmplanteerde oor, is het besluit voor bilaterale CI's wellicht makkelijker, maar wanneer het restgehoor gewoon gestimuleerd is gebleven en dus bruikbaar is, zullen er ook zonder een tweede implantatie bilaterale voordelen optreden (Jeong, Kang, & Kim, 2015; Lovett et al., 2010). Het restgehoor kan gestimuleerd blijven door tussen de twee implantaties een HT te dragen. Voor een persoon die nog toegang heeft tot het spraakspectrum met het niet-geïmplanteerde oor, zou de beslissing dus afhankelijk moeten zijn van de afweging tussen de voordelen van een HT en de voordelen van een tweede CI.

Er zijn verschillende studies die onderzoek gedaan hebben naar het verschil tussen bimodale en bilaterale stimulatie. Het vergelijken van de uitkomsten is echter lastig omdat er veel variabiliteit ontstaat door de verschillende onderzoeksmethoden en leeftijdsgroepen. Tot op heden is er, voor zover bekend, nog geen onderzoek gedaan bij een bimodale studiegroep met aanzienlijk restgehoor. Voor deze groep is het daarom moeilijker om te besluiten of zij hun contralateraal HT blijven behouden of toch voor een tweede CI kiezen. Er is, voor zover bekend, nog niet vastgesteld wanneer het plaatsen van een tweede implantaat meerwaarde heeft bovenop het behouden van het HT. Een antwoord hierop is interessant en wellicht van belang voor zowel medische professionals als mensen met gehoorverlies en hun families.

1.2 Onderzoeksvraag

Dit onderzoek brengt in kaart of bimodale of bilaterale stimulatie meer voordelen levert betreft gehoordmogelijkheden wanneer er sprake is van een aanzienlijk restgehoor in het niet-geïmplanteerde oor. Hiervoor worden de scores van drie auditieve taken met elkaar vergeleken bij kinderen tussen de 8 en 18 jaar. De taken zijn gericht op spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden, en prosodische perceptie. Prosodische perceptie heeft betrekking op het kunnen waarnemen van ritme, klemtoon en intonatie bij het spreken. Er worden twee studiegroepen met elkaar vergeleken: een bimodale groep met aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) en een (sequentieel geïmplanteerde) bilaterale groep met een aanzienlijk preoperatief restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL). De referentiegroep bestaat uit normaalhorende kinderen, bij wie dezelfde onderzoeken afgenomen worden. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

Wat is het verschil in auditieve uitkomsten tussen bimodale kinderen met aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) en sequentieel bilateraal geïmplanteerde kinderen met aanzienlijk preoperatief restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) op gebied van spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden, en prosodische perceptie?

Hoofdstuk 2 zal meer aandacht besteden aan de achtergrondtheorie passend bij het onderzoek. Aangezien het onderzoek zich alleen op de doelgroep kinderen richt, zal alleen relevante

literatuur betreft kinderen besproken worden. De literatuur omtrent volwassenen wordt achterwege gelaten en kan van de beschreven literatuur in deze studie afwijken. Tevens zal de inhoud van het onderzoek uitgebreider aan bod komen en zullen de opgestelde hypothesen besproken worden.

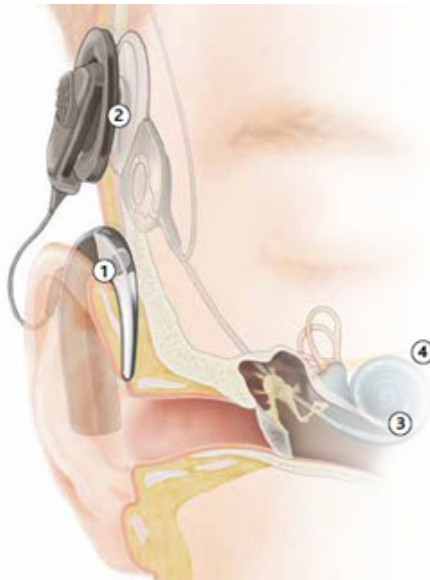
H2. Theoretisch kader

2.1 Wat is een cochleair implantaat?

Bij slechthorende mensen kunnen er verschillende oorzaken van doofheid zijn. Deze oorzaken worden voor deze studie opgedeeld in vier categorieën: (1) verworven, (2) erfelijk syndromaal, (3) erfelijk niet-syndromaal of (4) onbekend. Voorbeelden van verworven doofheden zijn meningitis of een virus. De doofheid kan ook erfelijk zijn (categorie 3 en 4). X-gebonden progressieve doofheid, DFNA en AFNB zijn voorkomende niet-syndromale erfelijke doofheden onder de huidige proefpersonen. Erfelijke doofheid komt bij geen van de huidige proefpersonen voor.

Bij de meeste oorzaken van slechthorendheid kan een cochleair implantaat (CI) een uitkomst bieden wanneer het beperkt of zelfs niet meer mogelijk is om met een hoortoestel (HT) spraak te verstaan. Een CI is een binnenoorprothese die operatief geplaatst wordt en vervangt voor zover mogelijk de functie van de defecte haarcellen in de cochlea. Hierdoor kan het geluid, als een elektrisch signaal, direct overgedragen worden aan de gehoorzenuw. Op deze manier wordt de akoestische waarneming van dove of slechthorende mensen verbeterd (Nederlandse Vereniging voor Audiologie, 2018).

Een CI (zie afbeelding 1) bestaat uit twee delen: een inwendig en een uitwendig gedragen gedeelte. Het uitwendige gedeelte bestaat uit een geluidsprocessor met microfoon en een zendspoel met magneet. Het inwendige gedeelte bestaat uit een ontvanger met magneet, één of twee referentie-elektroden net buiten de cochlea, en een elektrodebundel in de cochlea. De uitwendige zendspoel staat via een magneet in verbinding met een onderhuids geïmplanteerde ontvanger.



Afbeelding 1. Het cochleaire implantaat: de geluidsprocessor met microfoon (1), de inwendige en uitwendige zendspoel en ontvanger met magneet (2), de elektrodebundel in het slakkenhuis (3) en de gehoorzenuw (4). Afbeelding overgenomen van Cochlear, 2018. (<https://www.cochlear.com/nl/home/discover/cochlear-implants/nucleus-7-sound-processor/how-it-work>).

2.1.1 De werking van een CI

De microfoon op de geluidsprocessor vangt het akoestische signaal op. De geluidsprocessor zet dit signaal om in codes waardoor het spraaksignaal optimaal (maar niet maximaal) weergegeven wordt. Deze codes worden via de zendspoel doorgegeven aan de ontvanger. Vervolgens worden de signalen doorgegeven aan de elektrodebundel in de cochlea. Deze elektrodebundel bestaat

uit afzonderlijke elektrisch geleidende elektroden. Het elektrische signaal wordt in de elektrodebundel opgesplitst in frequentiebanden die de verschillende elektroden aansturen. Omdat de elektroden van elkaar gescheiden zijn, komt elke elektrode op een andere plaats in de cochlea terecht. De elektrodebundel bootst zo de kapotte haarcellen na. De elektroden worden met een snelheid van 1000 pulsen per seconde per elektrode gestimuleerd. Dit gebeurt één voor één. De grootte van de puls komt overeen met de luidheid van het signaal. Dit alles zorgt ervoor dat de hersenen een - nagebootst - geluid herkennen. De elektrodes worden geïmplantéerd op de frequentiegebieden die bij spraak horen, van 188 tot 7938 Hz (Nederlandse Vereniging voor Audiologie, 2018; Sparreboom, 2013).

Welke frequentiegebieden er gestimuleerd worden, wordt al in de geluidsprocessor bepaald. Het protocol dat hierbij gevolgd wordt, heet een 'codeerstrategie'. Er bestaan verschillende codeerstrategieën. De proefpersonen met een CI, die meedoen aan dit onderzoek, hebben allemaal een CI van Cochlear. Cochlear gebruikt de 'Advanced Combined Encoder' (ACE) strategie. Bij deze strategie wordt het totale spraaksignaal opgesplitst in 22 frequentiebanden. De frequentie-inhoud van een bepaald geluid wordt verdeeld over de verschillende frequentiebanden. In de geluidsprocessor worden iedere keer maximaal twaalf spectrale pieken geselecteerd. De omhullenden van de pieken met de meeste hoeveelheid energie worden gebruikt om de corresponderende elektroden te activeren (Nederlandse Vereniging voor Audiologie, 2018). Omdat alleen de omhullenden doorgegeven worden, ontbreekt de informatie van de temporele fijnstructuur. Deze fijnstructuur is nodig om een grondtoon (F0) goed af te kunnen leiden. Bovendien worden geluiden pas vanaf 188 Hz door het CI doorgegeven. De gemiddelde grondtoon van een mannelijke spreker ligt rond de 110 Hz en van een vrouwelijke spreker rond de 190 Hz (Rietveld & Van Heuven, 2009). Hierdoor hebben veel CI-gebruikers moeite om het verschil te horen tussen mannen- en vrouwenstemmen.

2.1.2 Wanneer wordt een CI geplaatst?

Sinds 1999 krijgen dove en slechthorende kinderen een unilateraal (éénzijdig) CI vergoed (van Eindhoven, 2012). In het Radboudumc komen kinderen in aanmerking voor een CI wanneer zij met HTs nog steeds een gehoorverlies hebben van >85 dB op 2000 en 4000 Hz. Dit zijn echter niet heel harde criteria. Tussen de 70 en 85 dB verlies kan er ook een positief advies gegeven worden voor een CI, maar dit is per individu verschillend. Er zal per kind gekeken worden naar de mogelijkheden die het nog heeft met het HT en of een CI meerwaarde zal bieden. Ook factoren zoals progressiviteit van de doofheid en de stimulatie van het restgehoor spelen hierbij een rol.

2.1.3 Mogelijkheden met een unilateraal CI

Kinderen met een unilateraal CI zijn beter in spraakverstaan in stilte dan kinderen met aan beide kanten een HT (Leigh, Dettman, Dowell, & Sarant, 2011), maar hebben nog steeds moeite met spraakverstaan in ruis (Lee, Lee, Huh, & Jang, 2008; Looi & Radford, 2011; Lovett et al., 2010). De leeftijd van implantatie heeft veel invloed op de resultaten die betreft spraakverstaan te behalen zijn. Wanneer een kind al vroeg een CI geplaatst krijgt, kan het een hoog niveau van spraakverstaan bereiken. Kinderen die pas op latere leeftijd een CI krijgen, presteren aanzienlijk slechter (Boons et al., 2012). Aangezien er veel ruis aanwezig is in bijvoorbeeld klaslokalen, is het voor kinderen erg belangrijk dat ze in een dergelijke situatie toch goed spraak kunnen verstaan. Bovendien hebben kinderen met een unilateraal CI nog veel moeite met het lokaliseren van geluiden (Choi et al., 2017). Lokalisatiemogelijkheden zijn belangrijk in sociale en educatieve settings omdat men hierdoor makkelijker de geluidsbron kan volgen in conversaties met meerdere personen.

Ondanks dat de mogelijkheden met een unilateraal CI uitbreiden, zijn de gehoor mogelijkheden nog niet optimaal. Het is daarom van belang om goed te kunnen horen met beide oren samen (bilateraal horen). Normaalhorende luisteraars gebruiken twee oren, dus waarom zouden slechthorende luisteraars niet ook twee oren moeten kunnen gebruiken? In de volgende paragraaf wordt eerst de werking van bilateraal horen bij normaalhorende personen uitgelegd en vervolgens worden de mogelijkheden hiervan bij CI-gebruikers besproken.

2.2 Bilateraal horen bij normaalhorende personen

Horen met twee oren levert bij normaalhorende personen voordelen betreft het spraakverstaan in zowel stilte als in rumoerige omgevingen en maakt richtinghoren mogelijk. Er zijn verschillende componenten die bijdragen aan deze mogelijkheden. Het auditieve systeem richt zich hierbij op interaurale verschillen: verschillen tussen de twee oren wanneer een geluid de oren bereikt. Interaurale verschillen zorgen ervoor dat luisteraars beter individuele geluiden in de omgeving kunnen onderscheiden (Dillon, 2001) en worden ook wel binaurale cues genoemd.

2.2.1. Binaurale cues bij spraakverstaan in ruis

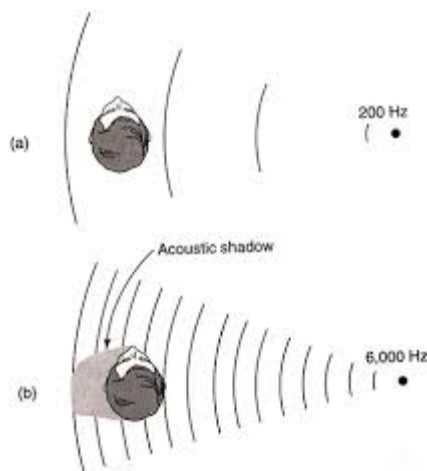
Bij het meten van spraakverstaan in ruis kunnen spraak en ruis vanuit dezelfde kant aangeboden worden of vanuit gescheiden kanten. Wanneer spraak en ruis gescheiden aangeboden worden, is het makkelijker om spraak te verstaan dan wanneer spraak en ruis van dezelfde kant aangeboden worden. Dit komt omdat luisteraars spraak en ruis perceptueel kunnen onderscheiden omdat ze uit verschillende richtingen komen. Hierdoor kunnen ze makkelijker doelbewust luisteren. Er kan dan een verbetering in spraakverstaan optreden wanneer spraak en ruis gescheiden aangeboden worden ten opzichte van wanneer spraak en ruis van dezelfde kant komen. Dit effect wordt ook wel Spatial Release from Masking (SRM) genoemd (Bronkhorst, 2000; Corbin, Buss, & Leibold, 2017). SRM wordt toegeschreven aan de effecten van hoofdschaduw en binaurale verwerking tussen de oren (Culling et al., 2004).

2.2.2. Binaurale cues bij lokalisatiemogelijkheden

Het lokaliseren van geluiden wordt vaak opgedeeld in een horizontale dimensie ('azimuth') en een verticale dimensie ('elevatie'). Voor het lokaliseren in de horizontale dimensie wordt er gebruik gemaakt van twee binaurale cues: de interaurale tijdverschillen ofwel 'interaural time differences' (ITD's) en de interaurale intensiteitsverschillen ofwel 'interaural level differences' (ILD's) (Blauert, 1997). Bij de ITD's wordt er gekeken naar het verschil in aankomsttijd tussen de oren en bij de ILD's naar het verschil in intensiteit tussen de oren. Het belang van deze twee cues hangt af van de frequentie van de geluidsbron.

Om laagfrequente geluiden (<1.5 kHz) te lokaliseren, richt het auditieve systeem zich meer op de ITD's dan op de ILD's (Blauert, 1997; Middlebrooks & Green, 1991). Omdat de golflengtes van laagfrequente geluiden langer zijn dan de diameter van het hoofd, kan het geluid om het hoofd heen buigen (afbeelding 2a). Hierdoor zullen beide oren het geluid ongeveer even hard waarnemen, alleen komt het geluid bij het ene oor sneller aan dan bij het andere oor. Luisteraars met een normaal gehoor kunnen deze vertragingen tussen de oren waarnemen vanaf 10 µsec bij lage frequenties (Akeroyd, 2006; Noordeloos, 2017).

Om hoogfrequente geluiden (>3 kHz) te kunnen lokaliseren worden de ILD's meer gebruikt (Blauert, 1997; Middlebrooks & Green, 1991). Hoogfrequente geluiden hebben kortere golflengtes in vergelijking met de diameter van het hoofd, waardoor het geluid wordt weerkaatst tegen het hoofd en niet om het hoofd heen kan buigen. Hierdoor wordt een schaduw gecreëerd aan de andere kant van het hoofd (afbeelding 2b). ILD's ontstaan wanneer een toon door het HS-effect in het direct getroffen oor harder klinkt dan het andere oor. Luisteraars met een normaal gehoor kunnen verschillen in intensiteit waarnemen vanaf 0.5 dB bij hoge frequenties (Akeroyd, 2006; Noordeloos, 2017).



Afbeelding 2. Hoofdschaduw effect. Treedt alleen op bij geluiden met een hoge frequentie (> 1.5 kHz) zijn hiervan afhankelijk. Het creëert een schaduw aan het contralaterale oor van de geluidsbron. Hierdoor ontstaat er een intensiteitsverschil tussen de oren (b). Bij geluiden met een lage frequentie kan het geluid om het hoofd heen 'buigen' en ontstaat er geen schaduw (a). Afbeelding overgenomen van Shannan, B., 2010 (<http://www.ssc.education.ed.ac.uk/courses/deaf/dnov10i.html>).

Voor het lokaliseren van een geluidsbron in de verticale dimensie zijn er spectrale cues nodig die ontstaan door reflecties van geluiden door het hoofd, de torso en de oorschelp. Afhankelijk van de richting waar het geluid vandaan komt, worden bepaalde frequentiegebieden versterkt of verzwakt. Spectrale cues verschillen tussen luisteraars en vallen in de range van ca. 4-12 kHz. Deze cues vereisen geen interaurale vergelijking waardoor het ook wel monoaurale cues worden genoemd (Middlebrooks & Green, 1991). Spectrale cues zijn complexer dan binaurale cues en zijn daardoor kwetsbaarder voor verstoringen, zoals ruis. Hierdoor kan het lokaliseren van geluiden in de verticale richting moeilijker zijn dan in de horizontale richting (Otte et al., 2013).

2.3 Bilateraal horen bij CI-gebruikers

Ook bij slechthorende mensen verbetert bilateraal horen ten opzichte van unilateraal horen het spraakverstaan en de lokalisatiemogelijkheden (Ching et al., 2014; Choi et al., 2017). De resultaten op auditieve taken zijn echter niet zo goed als de resultaten die normaalhorende luisteraars behalen (Dillon, 2001).

Om als CI-gebruiker bilateraal te kunnen horen, kan er gekozen worden voor bilaterale implantatie. Hierbij wordt er aan beide oren een CI geïmplant. Dit kan door de twee CI's tegelijkertijd te plaatsen, genaamd simultane implantatie, of door eerst het ene CI te plaatsen en later een tweede CI, ook wel sequentiële implantatie genoemd. Simultane implantatie zorgt voor een symmetrische ontwikkeling van het bilaterale auditieve traject. Dit wil zeggen dat er door simultane implantatie nauwelijks verschillen tussen de oren zullen ontstaan. Bij sequentiële implantatie wordt er een tussen interval van zes tot twaalf maanden aangeraden om maximaal resultaat te behalen uit het tweede CI (Gordon & Papsin, 2009). Wanneer er een langere tijd tussen de eerste en de tweede implantatie zit, kan er asymmetrie ontstaan in auditieve activiteiten en functies (Litovsky & Gordon, 2016). Dit is mogelijk afhankelijk van hoeveel het restgehoor tussentijds gestimuleerd is gebleven. Dit houdt in of er tussen de twee implantatie wel of niet een HT gedragen is en hoeveel er nog auditief mogelijk was met het HT.

Een andere optie om gebruik te kunnen maken van beide oren is bimodale stimulatie. Hierbij wordt er een HT gebruikt aan het niet-geïmplanteerde oor. Bimodale stimulatie vindt plaats tussen de plaatsing van een eerste CI en een tweede CI of soms hebben luisteraars nog genoeg restgehoor om het HT te blijven gebruiken. De meerwaarde van een tweede CI is in dat geval nog niet vastgesteld. Aangezien ITD's het meest prominent zijn voor lage- en middenfrequenties, hebben CI patiënten met bruikbaar restgehoor toegang tot binaurale timing cues, wat voordelig kan zijn voor spraakverstaan in ruis en geluidsheerkaatsingen (Butler & Humanski, 1992).

2.3.1 Resultaten bij bilaterale stimulatie

Sparreboom en collega's (2011) hebben onderzoek gedaan naar het spraakverstaan van 30 bilateraal geïmplanteerde kinderen. Als controlegroep werden negen kinderen met een unilateraal CI gebruikt. De studiegroep is getest voordat zij het tweede implantaat kregen en 6, 12 en 24 maanden nadat zij hun tweede CI gekregen hebben. De controlegroep is twee keer getest met een jaar tijd ertussen. De resultaten van de controlegroep werden vergeleken met de resultaten van de studiegroep bij 12 en 24 maanden. Voor het meten van spraakverstaan in ruis werd er ruis aangeboden aan het eerste of enige CI. Bij 12 maanden bilateraal CI gebruik waren er nog geen significante verschillen tussen unilaterale en bilaterale CI-gebruikers, maar er werd wel een significant verschil gevonden met 24 maanden bilateraal CI gebruik. Deze resultaten tonen dat er met bilaterale stimulatie beter spraakverstaan in ruis optreedt dan met unilaterale stimulatie.

Naast spraakverstaan in ruis hebben Sparreboom en collega's (2011) ook naar SRM gekeken bij de bilateraal geïmplanteerde kinderen. Zij hebben gekeken naar de woord identificatiedrempel. Dit is de geluidsterkte waarbij 71% van de woorden goed verstaan wordt. Metingen zijn preoperatief en 24 maanden postoperatief aan het tweede CI uitgevoerd. Zij vonden een significante SRM wanneer ruis aan het eerste CI aangeboden werd. Bij de huidige studie werd er alleen een significante SRM gevonden bij ruis aan het tweede CI. Sparreboom en collega's (2011) suggereerden dat verschillen mogelijk komen door verschillen in leeftijd bij implantatie van het tweede CI. De kinderen uit hun onderzoek hebben op een gemiddelde leeftijd van vijf jaar en drie maanden hun tweede CI ontvangen, terwijl de kinderen uit het huidige onderzoek op een gemiddelde leeftijd van elf jaar en acht maanden hun tweede CI ontvingen. Bovendien hebben de kinderen preoperatief aan CI2 geen bruikbaar restgehoor gehad.

Lovett en collega's (2010) hebben de resultaten van 30 bilateraal geïmplanteerde, 20 unilateraal geïmplanteerde en 56 normaalhorende kinderen zijn met elkaar vergeleken. De opstelling van het onderzoek was hetzelfde als de bovengenoemde onderzoeken: spraak op 0° azimuth en ruis op 0°, 90° en -90° azimuth. Wanneer het HS-effect optrad (ruis van de zijkant), behaalde de bilaterale groep een betere SRM (zie §2.2.2) dan de unilaterale groep. De bilaterale groep liet dus ten opzichte van de unilaterale groep een grotere verbetering zien wanneer bronnen gescheiden aangeboden werden dan wanneer bronnen gezamenlijk aangeboden werden. De bilaterale groep haalde dus meer voordeel uit het luisteren naar gescheiden bronnen in plaats van gezamenlijke bronnen dan de unilaterale groep. Wanneer de geluidsbronnen beiden van voren en dus niet gescheiden aangeboden werden, waren de uitkomsten tussen de bilaterale en de unilaterale groep ongeveer hetzelfde. De normaalhorende groep behaalde significant betere scores dan de bilateraal geïmplanteerde groep kinderen.

Sparreboom, Langereis, Snik, en Mylanus (2015) hebben voor het onderzoeken van spraakverstaan in ruis in verschillende luistercondities bij 26 bilateraal geïmplanteerde kinderen de NVA (Nederlandse Vereniging voor Audiologie) test gebruikt (Bosman & Smoorenburg, 1995). Deze test wordt ook gebruikt bij het huidige onderzoek en bestaat uit 15 lijsten van elf CVC-woorden. Spraak werd op 65 dB SPL van voren aangeboden. Ruis werd ook van voren

aangeboden met een SNR van 0 dB. De test werd binnen de groep afgenomen met alleen het eerste CI, alleen het tweede CI en bilateraal. In stilte behaalde de bilaterale groep een foneemscore van 95% en de unilaterale groep een score van 91%. In de bilaterale conditie behaalde de groep een foneemscore van 69% en de unilaterale conditie een score van 57%. Het bilaterale voordeel is dus 4% voor spraakverstaan in stilte en 12% voor spraakverstaan in ruis. Bij dit onderzoek werden spraak en ruis echter alleen gezamenlijk en niet gescheiden aangeboden.

Sparreboom en collega's (2015) hebben tijdens hun onderzoek ook de lokalisatiemogelijkheden onderzocht met een MAA-taak. MAA staat voor 'Minimum Audible Angle', ofwel de juist waarneembare azimuthverandering, uitgedrukt in graden. MAA's werden bepaald voor verschillende ruis stimuli in het vrije veld. Er werd onderscheid gemaakt tussen vier verschillende stimuluscondities: breedbandfilter (500-8000 Hz) zonder intensiteitroving, breedbandfilter (500-8000 Hz) met intensiteitroving, hoogfrequent doorlaatfilter (3000-8000 Hz) met intensiteitroving en laagfrequent doorlaatfilter (500- 1500 Hz) met intensiteitroving. Door intensiteitsroving weet men dat luidheid niet van invloed is op de resultaten. Preoperatief (voor de tweede implantatie) werd de taak afgenomen met twee luidsprekers op -90° en 90° azimuth. Postoperatief (twee jaar na plaatsing van bilaterale CI's) werd de taak afgenomen met twee luidsprekers op -30° en 30° azimuth. Wanneer de uitkomsten significant boven kansniveau waren, werd de taak ook nog afgenomen bij -15° en 15° azimuth. Wanneer de uitkomsten onvoldoende waren, werd de taak ook nog afgenomen bij -90° en 90°. Van de 24 kinderen konden er 22 lateraliseren in alle vier de ruiscondities. Lateraliseren wil zeggen dat er waargenomen kan worden of een geluid van links of van rechts aangeboden wordt. De MAA was in de breedband conditie zonder intensiteitroving significant kleiner en dus beter dan in de drie stimuli met intensiteitroving. De MAA in de laagdoorlaat conditie was significant het grootst en dus was deze conditie het moeilijkst. De MAA is postoperatief drastisch verbeterd (van gemiddelde azimuth $\pm 37.5^\circ$ naar $\pm 12.5^\circ$). Ook is het percentage kinderen dat kan lateraliseren gestegen (van 82% naar 96%).

Zheng, Godar, en Litovsky (2015) vonden ook bij de meeste kinderen een verbetering van lokalisatiemogelijkheden naarmate de bilaterale ervaring verhoogde. Deze verbeteringen traden eerst op bij centrale lokalisatie op en dan pas bij lokalisatie aan de uiteinden. De resultaten van 19 bilateraal geïmplanteerde kinderen werden vergeleken met zes normaalhorende kinderen. Er werden geluiden aangeboden op 60 dB SPL uit 15 horizontaal geplaatste luidsprekers van -70° tot 70° azimuth. De uitkomsten werden weergegeven in 'Root Mean Square error'(RMS), waarbij lagere RMS-waarden betere uitkomsten representeren. Bij de normaalhorende groep varieerde de RMS van 6.5° tot 20.8°. Bij de bilaterale groep varieerden de RMS-scores van 15.2° tot 47.4°. Dit betekent dat de scores over het algemeen hoger en dus slechter zijn in de bilaterale groep dan in de normaalhorende groep, maar er zijn echter een paar bilateraal geïmplanteerde kinderen die een score gelijk aan die van sommige normaalhorende kinderen behaalden.

Van Deun en collega's (2010) hebben onderzoek gedaan naar de lokalisatiemogelijkheden bij 30 bilateraal geïmplanteerde kinderen. Er werd gebruik gemaakt van negen luidsprekers van -60° tot 60° azimuth. De resultaten werden weergegeven in RMS en 'Mean Absolute Error'(MAE). MAE is de gemiddelde afwijking van de lineaire middenlijn. Hoe kleiner de MAE, des te beter de score. De RMS-scores varieerden van 13° tot 63° met 38° als gemiddelde. De MAE-scores varieerden van 9° tot 51° met een gemiddelde van 30°. Van de 30 kinderen behaalden er 19 (63%) lokalisatiemogelijkheden (MAE <34° en RMS <44°). De beste scores lagen dichtbij het bereik van de referentiegroep normaalhorende kinderen. Deze scores werden behaald door kinderen die hun tweede implantaat geplaatst kregen vóór hun

tweede levensjaar, kinderen die 18 maanden of langer een HT gebruikt hebben voor implantatie en kinderen die regulier onderwijs volgen in tegenstelling tot kinderen op een dovenschool.

Ching, Incerti, Hill, en van Wanrooy (2006) vonden een significante daling in precisie van lokalisatiemogelijkheden in horizontale richting bij een gehoorverlies vanaf 50 dB in de laagfrequentie tonen. Wanneer een kind 50 dB of meer verlies heeft in de laagfrequente tonen kan het minder goed lokaliseren dan een kind dat minder verlies heeft in de laagfrequente tonen (Noble, Byrne, & Ter-Horst, 1997). Bij een gehoorverlies in de hoogfrequente tonen was er verminderde precisie zichtbaar in de verticale richting bij lokalisatietaken (Byrne & Noble, 1998).

Uit bovenstaande onderzoeken kan geconcludeerd worden dat bilateraal luisteren voordelen levert betreft spraakverstaan en lokalisatiemogelijkheden bij kinderen. Echter zijn er veel factoren van invloed op de resultaten, zoals bijvoorbeeld binaurale/bilaterale ervaring en intervaltijd tussen de twee CI's (Boons et al., 2012), waardoor er veel variabiliteit in uitkomsten ontstaan. Bilaterale luisteraars zijn één van de onderzoeksgroepen van het huidige onderzoek. Hierbij wordt er alleen gekeken naar sequentieel geïmplanteerde bilaterale kinderen.

2.3.2 Resultaten bij bimodale stimulatie

Beijen, Mylanus, Leeuw, en Snik (2008) hebben onderzoek gedaan naar spraakverstaan bij bimodale kinderen. Er deden 22 kinderen mee in de leeftijd van 5 tot 20 jaar. Er werd gekeken naar het gemiddeld percentage correcte foneemherkenning op twee rijtjes monosyllabische woorden in stilte en in ruis. De woorden werden op 65 dB SPL aangeboden op 0° azimuth en de ruis op (-)90° aan de CI-kant met 5 dB SNR. De bimodale scores werden binnen de groep vergeleken met de scores die behaald werden als het kind alleen met het CI luisterde. De groepsresultaten in de bimodale conditie waren zowel in stilte als in ruis significant beter dan wanneer er alleen met het CI geluisterd werd. In de bimodale conditie behaalde de groep in stilte een foneemscore van 71% en in de CI-conditie een foneemscore van 66%. Er is dus een bilateraal voordeel van 5%. In ruis was dit voor de bimodale conditie 41% en voor de CI-conditie 35% en dus een bilateraal voordeel van 6%.

Lee en collega's (2008) hebben ook het spraakverstaan bij bimodale kinderen beter in kaart gebracht. Er deden 14 kinderen mee in de leeftijd van 4 tot 14 jaar. Spraakverstaan in ruis werd gemeten met ruis op 10 en 20 dB SNR. Het materiaal bestond uit vier sets met woorden. Elke set bestond uit tien eenlettergrepige en tien tweelettergrepige woorden van een standaard spraakverstaan test. Er werd in twee condities gemeten: alleen met het CI en met bimodale stimulatie. Het correct aantal herhaalde woorden werd gemeten. Het verschil in spraakverstaanscores tussen bimodaal horen en unilateraal horen in ruis was significant voor eenlettergrepige woorden op 20 dB SNR en tweelettergrepige woorden op 10 dB SNR, maar niet voor eenlettergrepige woorden op 10 dB SNR en tweelettergrepige woorden op 20 dB SNR. Alhoewel de resultaten afhankelijk waren van hoeveelheid restgehoor, waren de scores in de bimodale conditie hoger dan in de unilaterale conditie met bruikbaar restgehoor.

Litovsky, Johnstone, en Godar (2006) hebben de lokalisatiemogelijkheden bij acht bimodale kinderen in de leeftijd van 6 tot 14 jaar onderzocht. Er werden horizontaal 15 luidsprekers geplaatst, van -70° tot 70° azimuth. Woorden werden aangeboden op 60 dB SPL. Het kind hoefde alleen aan te geven of het geluid van rechts of van links aangeboden werd. De uitkomsten werden weergegeven in MAA. Van de acht kinderen lieten er vier een duidelijk bimodaal voordeel zien van 20° tot 36°. Van de andere vier kinderen hadden er twee maar een klein bimodaal voordeel van 3° zien en de andere twee lieten helemaal geen bimodaal voordeel zien. Er was echter geen significant verschil tussen bimodaal en unilateraal horen. Volgens de onderzoekers komt dit vermoedelijk door de grote spreiding in uitkomsten op de lokalisatietest.

Ook bimodaal luisteren levert dus ten opzichte van unilateraal luisteren voordelen voor kinderen betreft spraakverstaan en lokalisatiemogelijkheden. Een ander voordeel wat genoemd wordt is dat het HT, in tegenstelling tot het CI, informatie biedt over de grondfrequentie en harmonische informatie doorgeeft. Hierdoor rapporteren veel bimodale gebruikers dat de geluidskwaliteit natuurlijker en aangenamer klinkt wanneer ze met beide apparaten luisteren in plaats van met één apparaat (Looi, McDermott, McKay, & Hickson, 2007).

Net als bij bilaterale stimulatie, heeft bimodale stimulatie ook een aantal factoren die van invloed zijn op de variabele resultaten. Kong, Stickney, en Zeng (2005) geven aan dat het bimodale voordeel duidelijk afhangt van de hoeveelheid bruikbaar laagfrequent restgehoor van de patiënt. De hoeveelheid restgehoor dat nodig is om voordelen te ervaren staat echter niet vast. Bimodale luisteraars met aanzienlijk restgehoor vormen de andere onderzoeksgroep van dit huidige onderzoek.

2.4 Vergelijking tussen bimodale en bilaterale stimulatie

Ondanks de consensus dat horen met twee apparaten de gouden behandelstandaard is voor doofheid, is er nog steeds veel discussie over hoe bilateraal horen aangeboden zou moeten worden. Bimodale en bilaterale stimulatie worden als twee goede opties beschouwd. Er zijn enkele onderzoekers geweest die een vergelijking hebben gemaakt tussen deze twee. Hieronder worden recente bevindingen besproken tussen bimodale en bilaterale gebruikers. Er wordt gekeken naar verschillen in spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie tussen de groepen, aangezien er tijdens het huidige onderzoek ook naar deze drie auditieve taken gekeken wordt.

2.4.1 Spraakverstaan in ruis

Litovsky en collega's (2006) hebben onderzoek gedaan naar spraakverstaan in ruis bij tien bimodaal en tien bilateraal geïmplanteerde kinderen. Er werden vier condities in kaart gebracht waarbij spraak altijd van voren aangeboden werd. Eerst werd er in stilte gemeten, erna met ruis op 0°, 90° en -90° azimuth. Uit de resultaten leek er een grotere SRM te zijn wanneer de ruis aan het tweede CI of aan het HT aangeboden werd dan wanneer deze aan het eerste CI aangeboden werd, maar dit verschil was echter niet significant tussen de onderzoeksgroepen. Wanneer de resultaten binnen de onderzoeksgroepen vergeleken werden, werden er wel verschillen gevonden. Beide groepen laten een bilateraal voordeel zien, maar dit voordeel blijkt hoger voor de bilaterale groep dan voor de bimodale groep. Dit suggereert dat kinderen met bilaterale CI's meer vooruitgang laten zien met een tweede CI dan kinderen die een HT in het tegenovergestelde oor dragen. Potts en Litovsky (2014) gaven aan dat de bimodale proefpersonen met weinig restgehoor aan de HT-kant slecht spraak verstaan. Om deze reden werd er een kleinere verbetering verwacht wanneer unilaterale CI-gebruikers bimodale stimulatie gaan gebruiken dan wanneer zij bilaterale stimulatie gaan gebruiken. Dit was echter niet het geval. De verbetering betreft spraakverstaan was niet significant verschillend tussen de twee groepen.

Choi en collega's (2017) hebben onderzoek gedaan naar spraakverstaan mogelijkheden bij 13 bilaterale en 19 bimodale kinderen. Ze maakten gebruik van drie condities: ruis van voren, ruis van zowel links als rechts, alleen ruis van rechts en alleen ruis van links. Tijdens het onderzoek werden er zinnen aangeboden met een SNR van +5dB. Het percentage correcte woordherkenning werd hierbij gemeten. De gemiddelde spraakverstaanscores lieten geen significante verschillen zien tussen de twee groepen voor de meeste ruiscondities. Wanneer er vergelijking werden gemaakt binnen de groepen, werd er bij de bilaterale groep geen verschil gevonden tussen wanneer de ruis van voren aangeboden werd (52.7%) of aan de kant van het eerste CI (48.6%). Bij bimodale gebruikers was er echter een significant slechtere spraakperceptie wanneer ruis aan de CI-kant (20.8%) in plaats van voren aangeboden werd

(40.7%). Bimodale gebruikers hadden ook slechtere spraakperceptie scores dan de bilaterale gebruikers wanneer ruis aan de (eerste) CI kant aangeboden werd (bilateralen 48.6% en bimodalen 20.8%). Deze resultaten lieten zien dat er bij de bilaterale groep geen SRM optradt, terwijl dit wel het geval was bij de bimodale groep en suggereren daarom dat het HS-effect meer bijdraagt bij bilaterale dan bij bimodale stimulatie.

Mok, Galvin, Dowell, en McKay (2010) hebben echter gerapporteerd dat bimodale kinderen meer bilateraal voordeel lieten zien met hun tweede apparaat (CI) dan bilaterale kinderen met hun tweede CI, wanneer de resultaten vergeleken werden met monoauraal luisteren. Wanneer er ruis van voren kwam behaalde de bimodale groep een bilateraal voordeel van 6.3%. Dit betekent dat wanneer er bimodaal geluisterd werd er gemiddeld 6.3% meer fonemen herkend werden dan wanneer er alleen met het CI geluisterd werd. Wanneer de ruis van de zijkant aangeboden werd, was het bilaterale voordeel 8.1%. Het contralaterale HT leverde dus meerwaarde ongeacht de richting van de ruis. Bij de bilaterale groep werd er bij ruis van voren geen bilateraal voordeel gevonden. Wanneer ruis op het eerste CI aangeboden werd, was er een bilateraal voordeel van 7.0%. Het contralaterale CI leverde dus alleen meerwaarde wanneer ruis van de zijkant aangeboden werd. De bilaterale kinderen uit de studie van Mok en collega's (2010) hadden echter een langer tijdsinterval tussen de twee implantaten dan de kinderen uit de studie van Choi en collega's (2017).

De bovengenoemde onderzoeken over spraakverstaan lieten alle drie geen significante verschillen zien tussen bimodale en bilaterale stimulatie. Twee van de onderzoeken vinden echter bij de bilaterale groep een groter bilateraal voordeel, terwijl het andere onderzoek juist weer een groter bilateraal voordeel bij de bimodale groep vindt.

Bij het huidige onderzoek worden de resultaten alleen bilateraal verzameld. Er wordt geen gebruik gemaakt van monoaurale uitkomsten, aangezien de kinderen die deelnemen aan het onderzoek dagelijks bilateraal horen. Er wordt dus niet naar een bilateraal voordeel gekeken.

2.4.2 Lokalisatiemogelijkheden

Litovsky en collega's (2006) hebben naast spraakverstaan in ruis ook onderzoek gedaan naar de lokalisatiemogelijkheden bij zes bilateraal geïmplanteerde en acht bimodale kinderen. Zij hadden 15 luidsprekers geplaatst van -70° tot 70° azimuth, waarbij er alleen aangegeven hoefde te worden of het geluid van rechts of van links kwam. De resultaten van de bimodale kinderen zijn al eerder aan bod gekomen, maar deze worden nu vergeleken met de resultaten van de bilaterale kinderen. In de bilaterale groep was er een significant lagere MAA wanneer er met twee apparaten geluisterd (20°) werd dan monoauraal (50°). Bij de bimodale groep was dit bilaterale voordeel niet significant (30° bij bilateraal horen en 40° monoauraal). Een groot deel van de gevonden bilaterale voordelen was echter afhankelijk van individuele ervaringen voor en na de implantatie. De individuele bilaterale ervaring loopt van 3 tot 26 maanden en de individuele bimodale ervaring van 7 tot 91 maanden.

Choi en collega's (2017) hebben onderzoek uitgevoerd waarbij er gekeken werd naar de lokalisatiemogelijkheden bij 13 bilaterale en 19 bimodale kinderen. Zij maakten gebruik van 13 luidsprekers die op een horizontale lijn werden geplaatst van -90° tot 90° azimuth. De luidsprekers hadden elk een nummer en de kinderen moesten aangeven uit welke luidspreker ze het aangeboden geluid hoorden. De groepen werden in drie condities onderzocht. De bilaterale groep werd onderzocht met alleen het eerste CI, alleen het tweede CI en met beide CI's. De bimodale groep werd onderzocht met alleen het HT, alleen het CI en met beide apparaten. Beide groepen deden het significant slechter dan de normaalhorende controlegroep, maar er waren geen significante verschillen tussen de bilaterale en de bimodale groep. Echter, bij de bimodale groep was er een significant voordeel zichtbaar bij bilateraal horen tegenover unilateraal horen en bij de bilaterale groep niet. Bimodaal horen levert hier dus meer bilateraal

voordeel dan bilateraal horen. Kinderen met bilaterale CI's behaalden een gemiddelde MAE van 39.4° , bimodale kinderen een gemiddelde MAE van 41.2° en de normaalhorende kinderen een MAE van 4.8° . Alle proefpersonen hadden minimaal twaalf maanden bilaterale of bimodale ervaring.

Tussen beide onderzoeken vinden op de lokalisatietaken geen significante verschillen plaats tussen de bimodale en de bilaterale groep. Het eerste onderzoek laat echter een bilateraal voordeel zien voor de bilaterale groep, terwijl het tweede onderzoek een bilateraal voordeel laat zien voor de bimodale groep. Er is bij beide onderzoeken echter geen rekening gehouden met eventuele invloed van verschillende frequentiegebieden en luidheden op het richtinghoren. Hoogfrequente geluiden zullen namelijk eerder met een CI waargenomen worden en laagfrequente geluiden zullen eerder met een HT waargenomen worden. Bovendien zullen hardere geluiden makkelijker waargenomen worden dan zachte geluiden. Bij de opstelling van het huidige onderzoek wordt wel gebruik gemaakt van verschillende luidheden en frequentiegebieden bij de lokalisatietask. Mogelijk worden er dan verschillen tussen de twee studiegroepen gevonden.

2.4.3 Prosodische perceptie

Het voordeel van bilaterale CI's is dat de gehoordrempels in beide oren voor alle frequenties verbeterd worden, maar bimodale stimulatie kan juist een aanvulling hebben op de kwaliteit van horen. Het HT voegt extra versterking van laagfrequent restgehoor toe, waardoor er toegang is tot de fijne temporele structuur van geluiden. Deze fijnstructuur levert voordelen bij horen van toonhoogte, nadruk, intonatie en melodie (Ching, van Wanrooy, & Dillon, 2007; Scorpecci, Giannantonio, Pacifico, & Marsella, 2016).

Bartov en Most (2014) hebben muzikale mogelijkheden in kaart gebracht bij twaalf normaalhorende kinderen, tien unilaterale CI-gebruikers, 14 bilaterale CI-gebruikers en negen bimodale gebruikers. Ze hebben van 30 liedjes vijf verschillende versies gemaakt: een originele versie, een a Capella versie, een melodische versie, een toonhoogte versie en een ritmische versie. In totaal werden er 4 kinderliedjes aangeboden in de vijf verschillende versies. Er werd gekeken of het kind het liedje herkende door het kind telkens uit twee liedjes te laten kiezen. Alleen bij de toonhoogteversie waren er significante verschillen tussen de groepen. De bimodale groep was hierbij significant beter dan de bilaterale CI-gebruikers. Er was geen significant verschil tussen de bilaterale en unilaterale groep.

Polonenko, Giannantonio, Papsin, Marsella, en Gordon (2017) hebben onderzoek gedaan naar muzikale perceptie bij bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen van 6 tot 18 jaar. Er werden telkens twee melodieën aangeboden die van dezelfde toonhoogte waren, of die een toon van elkaar verschilden. De kinderen moesten aangeven of de stimulus hetzelfde of verschillend klonken. De respons precisie (in procenten) en de reactietijd (in milliseconden) werden hierbij gemeten. Uit de resultaten bleek dat zowel de bilaterale als de bimodale gebruikers een lagere respons precisie en een langere reactietijd hadden dan de normaalhorende controlegroep. De resultaten van de normaalhorende groep lagen rond de 90%. De bimodale groep scoorde gemiddeld 18.3% lager dan de normaalhorende groep en de bilaterale groep 20.3% lager. Normaalhorende kinderen waren hierbij gemiddeld 86 ms sneller dan de bimodale groep en 95 ms sneller dan de bilaterale groep. Ook bleek dat beide groepen een betere respons precisie hadden dan kinderen met een unilateraal implantaat. De resultaten zijn vergeleken met hetzelfde onderzoek dat eerder uitgevoerd is bij unilaterale gebruikers. Wanneer de vergelijking tussen bimodale en bilaterale stimulatie gemaakt werd, leken de kinderen met bimodale stimulatie een iets betere muzikale perceptie te hebben dan kinderen met bilaterale stimulatie, maar dit was niet significant. Dit komt vermoedelijk doordat de kinderen die gebruik maakten van bimodale stimulatie maar weinig restgehoor hadden in het niet-geïmplanteerde oor.

Uit bovenstaande onderzoeken blijken er geen significante verschillen betreft prosodie tussen bimodale en bilaterale stimulatie. De resultaten zijn mogelijk afhankelijk van de hoeveelheid restgehoor bij bimodale stimulatie. Bij het huidige onderzoek wordt gekeken naar het kleinst waarneembare verschil in grondfrequentie tussen de groepen, waarbij de bimodale groep aanzienlijk restgehoor heeft.

2.5 Bimodaal of bilateraal?

Bimodale en bilaterale stimulatie worden als twee goede opties beschouwd om gebruik te kunnen maken van bilateraal horen. De wetenschappelijk gebaseerde indicaties betreft welke manier van stimulatie beter is, of belangrijker nog uit welke manier patiënten de meeste voordelen halen, zijn echter niet eenduidig. Bovendien zijn er tot op heden nog maar een paar studies die een vergelijking gemaakt hebben betreft spraakverstaan in ruis en lokalisatiemogelijkheden tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. Voor zover bekend is er geen enkele studie die hierbij gebruik gemaakt heeft van een bimodale onderzoeksgroep met aanzienlijk restgehoor.

2.6 Huidig onderzoek

In deze studie wordt een vergelijking gemaakt tussen kinderen met preoperatief bruikbaar restgehoor die bilaterale stimulatie gebruiken en kinderen met bruikbaar restgehoor die bimodale stimulatie gebruiken. Resultaten zullen vergeleken worden op gebied van spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie. Door middel van dit onderzoek worden hopelijk de voordelen van bilaterale en bimodale stimulatie bij kinderen met bruikbaar restgehoor beter in kaart gebracht.

Het onderzoek richt zich op kinderen van 8 tot 18 jaar. Er is tot nu toe veel minder onderzoek gedaan naar de gehormogelijkheden bij kinderen met CI's dan bij volwassenen met CI's. Er wordt verwacht dat de resultaten tussen volwassenen en kinderen af zullen wijken en daardoor niet vergelijkbaar zijn. Kinderen hebben naar verwachting betere spraakperceptiemogelijkheden en zullen hierdoor mogelijk betere resultaten behalen dan volwassenen.

Het huidige onderzoek maakt een vergelijking tussen twee studiegroepen: een bimodale groep met aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) in het niet geïmplanteerde oor en een (sequentieel geïmplanteerde) bilaterale groep met preoperatief aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) in het nog niet geïmplanteerde oor. Ook worden dezelfde resultaten bij normaalhorende kinderen verzameld als referentiegroep. De opzet van het onderzoek zal uitgebreider besproken worden in hoofdstuk 3.

2.6.1 Onderzoeksvraag en hypothesen

Voortkomend uit de hierboven beschreven literatuur is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Wat is het verschil in auditieve uitkomsten tussen bimodale kinderen met aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) en sequentieel bilateraal geïmplanteerde kinderen met aanzienlijk preoperatief restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) op gebied van spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie?

De hypothesen zullen per onderzoeksgebied apart besproken worden. De volgende resultaten worden op basis van eerdere onderzoeksgegevens verwacht.

Bij spraakverstaan in ruis speelt het SRM-effect een grote rol (zie §2.2.1 en §2.2.2). Normaalhorende personen kunnen hiervan goed gebruik maken en hierdoor goed spraak in ruis

kunnen verstaan. Wanneer het CI bij de bimodale groep hinder ondervindt van ruis, zal het spraakverstaan slechter zijn dan bij de bilaterale groep wanneer zij ruis aangeboden krijgen aan hun eerste CI. Bij de bilaterale groep zal er geen tot weinig verschil zijn in spraakverstaanscores wanneer de ruis van links of van rechts aangeboden wordt. Bij de bimodale groep wordt verwacht dat de scores hoger zijn wanneer de ruis aan de HT kant aangeboden wordt. Met een CI zal het namelijk, door de betere spraakverstaanbaarheidsmogelijkheden dan een HT, makkelijker zijn om spraak in ruis te verstaan dan met een HT. Bovendien blijkt uit eerdergenoemde onderzoeken dat bilaterale luisteraars een groter bilateraal voordeel ondervinden bij het SRM-effect (Choi et al., 2017; Litovsky et al., 2006).

Lokalisatie in het horizontale vlak wordt mogelijk door verschillen in ITD en ILD binauraal te integreren. Normaalhorende personen kunnen van beide cues goed gebruik maken en zullen dus betreft azimuth goede scores behalen. De CI-groepen kunnen geen gebruik maken van spectrale cues, zoals informatie van de oorschelp en zullen hierdoor niet zo goed kunnen lokaliseren als normaalhorende personen. Er wordt verwacht dat de bilaterale en de bimodale groep wel kan identificeren of een geluid van rechts of van links komt, maar de horizontale lokalisatie zal niet zo goed zijn als die van normaalhorende kinderen. Hoogfrequente tonen worden echter gemakkelijker met het CI waargenomen dan met het HT en laagfrequente tonen worden juist beter met het HT waargenomen. Naar verwachting zullen de bimodale kinderen betere resultaten behalen bij laagfrequente geluiden en bilaterale kinderen bij hoogfrequente geluiden. Hierdoor zal er bij de bimodale groep mogelijk een verschuiving ontstaan wanneer laagfrequente geluiden eerder waargenomen worden aan de HT-kant en hoogfrequente geluiden eerder aan de CI-kant. Er zal alleen bimodaal voordeel optreden wanneer er overlap is in frequenties aan beide apparaten, waardoor er toegang is tot ILD. De scores tussen bilaterale en bimodale stimulatie zullen daarom naar verwachting dicht bij elkaar liggen, maar met een klein voordeel voor bilaterale stimulatie, omdat zij twee dezelfde apparaten hebben en er hierdoor geen verschuiving zal zijn.

Voor het onderzoeken van de prosodische perceptie, wordt dezelfde onderzoeksofstelling gebruikt als in het artikel van Straatman en collega's (2010). Er wordt gekeken naar het kleinst waarneembare verschil in grondfrequentie bij het non-woord 'baba' bij een mannelijke en een vrouwelijke spreker. Normaalhorende kinderen behaalden hier een score van 2.7 semitonen bij de mannelijke spreker en 4.3 semitonen bij de vrouwelijke spreker. De bimodale groep behaalde een score van 6.9 semitonen bij de mannelijke spreker en 7.5 semitonen bij de vrouwelijke spreker. De unilaterale CI-groep behaalde een score van 9.4 semitonen bij de mannelijke spreker en 11.3 semitonen bij de vrouwelijke spreker.

De meeste kinderen die een hoortoestel dragen in het niet-geïmplanteerde oor hebben betere audiometrische drempels voor geluiden met een lage frequentie dan voor geluiden met een hoge frequentie. Dit suggereert dat HT goed is om laagfrequente geluiden waar te nemen (Potts & Litovsky, 2014; Choi et al., 2017). Naar verwachting zal de bimodale groep hierdoor betere scores behalen dan de bilaterale groep.

Gebaseerd op de resultaten van Straatman en collega's (2010), en rekening houdend met aanzienlijk restgehoor in de huidige studie, zullen de resultaten van de bimodale groep tussen de 4 en 6 semitonen liggen en de resultaten van de bilaterale groep tussen de 9 tot 12 semitonen. De resultaten van de bilaterale groep zijn gebaseerd op de resultaten van de unilaterale groep. Er worden geen verschillen verwacht in scores bij de normaalhorende kinderen.

Samenvattend wordt er verwacht dat de resultaten van de bimodale en bilaterale groep dicht bij elkaar liggen, doordat de bimodale groep nog bruikbaar restgehoor heeft. De bilaterale groep zal naar verwachting een klein voordeel hebben betreft lokalisatiemogelijkheden en spraakverstaan in ruis, maar de bimodale groep zal voordeel hebben betreft de prosodische perceptie.

H3. Methode

3.1 Design

Het onderzoek betreft een experimenteel onderzoeksdesign met drie onafhankelijke onderzoeksgroepen. Er wordt gebruik gemaakt van een between-subjects design, waarbij er een vergelijking gemaakt wordt tussen proefpersonen en niet binnen proefpersonen. Alle proefpersonen zijn eenmalig en in dezelfde ruimtes onderzocht.

3.2 Participanten

Het onderzoek bestond uit twee studiegroepen en een referentiegroep. De studiegroepen waren een groep bimodaal geïmplanteerde kinderen en een groep bilateraal geïmplanteerde kinderen. Al deze kinderen gebruikten CI-implantaten van Cochlear. De referentiegroep bestond uit normaalhorende kinderen. Om deel te mogen nemen aan het onderzoek waren er de volgende in- en exclusiecriteria:

- De kinderen moesten minimaal acht en maximaal 17 jaar oud zijn (8 tot 18 jaar).
- Bimodale kinderen:
 - Moesten een foneemscore van 85% of hoger halen op de NVA lijst bij 65 dB SPL met hun CI alleen;
 - Moesten een foneemscore van 50% of hoger halen wanneer zij alleen met het HT luisterden (bij 65 dB SPL).
- Bilaterale kinderen:
 - Moesten een foneemscore van 85% of hoger halen op de NVA lijst bij 65 dB SPL aan het beste CI;
 - Moesten preoperatief nog aanzienlijk restgehoor hebben aan de als laatst geïmplanteerde zijde (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL).
- Normaalhorende kinderen:
 - Mochten maximaal 20 dB HL gehoorverlies hebben, gemeten op 250 Hz – 8000 Hz.
- Er mocht bij geen enkel deelnemend kind sprake zijn van een cognitieve beperking, leerproblemen of gedeeltelijke plaatsing van het CI.

De bimodale studiegroep bestond uit zes kinderen van gemiddeld 12;9 jaar ($SD=4;3$) met een range van 8;8 tot 17;11 jaar. De implantatie heeft op een gemiddelde leeftijd van 7;6 jaar ($SD=5;3$) plaatsgevonden met een range van 1;6 tot 17;3 jaar. Gemiddeld hadden de kinderen al 5;6 jaar ($SD=5;11$) ervaring in het gebruiken van hun CI (range 0;8 tot 16;3 jaar). Van de zes kinderen uit deze groep volgde er één cluster twee onderwijs. De rest volgde regulier onderwijs.

De bilaterale studiegroep bestond uit vijf sequentieel geïmplanteerde kinderen van gemiddeld 14;2 jaar ($SD=2;11$) met een range van 10;5 tot 17;9 jaar. Zij hebben hun CI met gemiddeld 4;5 jaar ($SD=4;0$) geïmplanteerd gekregen (range 1;11 tot 11;6 jaar). Gemiddeld maken zij al 2;3 jaar ($SD=1;0$) gebruik van beide CI's (range 1;6 tot 3;5 jaar). Van de vijf kinderen uit deze groep heeft er één speciaal onderwijs gevolgd en werkt nu op de dagbesteding. De andere vier kinderen volgden regulier onderwijs.

De referentiegroep bestaat uit twaalf normaalhorende kinderen. De gemiddelde leeftijd was 13;6 jaar ($SD=2;2$) met een range van 10;8 tot 16;5 jaar. De kinderen uit deze groep volgden allemaal regulier onderwijs.

Zoals in de inleiding genoemd, zijn er verschillende oorzaken van doofheid, opgedeeld in vier categorieën: (1) verworven, (2) erfelijk syndromaal, (3) erfelijk niet-syndromaal of (4) onbekend. De oorzaak van doofheid is per kind te vinden in tabel 1. In deze tabel zijn tevens de gedetailleerde gegevens van deelnemers aan dit onderzoek weergegeven.

3.3 Procedure

Het onderzoek vond plaats op het Audiologisch Centrum van het Radboud universitair medisch centrum. De kinderen uit de studiegroepen zijn allemaal patiënten daar. De normaalhorende kinderen uit de controlegroep zijn via het sociale netwerk van de onderzoekers verworven. Alle kinderen en ouder(s)/verzorger(s) hebben schriftelijk informatie meegekregen en voor aanvang van het onderzoek een toestemmingsformulier ondertekend (bijlage 1).

Bij de CI-kinderen werd het testprotocol uitgevoerd met hun eigen geluidsprocessor en hoortoestel in hun dagelijkse programma. Voorafgaand aan het onderzoek werd de apparatuur gecontroleerd. Aan het eind van het onderzoek werden de kinderen door middel van een cadeaubon bedankt voor hun deelname.

Tabel 1: Proefpersoongegevens normaalhorende (NH) groep, bimodale (BIM) groep en sequentieel bilaterale (SEQ) groep.

Proefpersoon	Leeftijd op moment van afname	Geslacht	Etiologie*	Leeftijd eerste CI	Kant (eerste) CI	Leeftijd tweede CI	Duur CI-gebruik	Preoperatief restgehoor FI	Preoperatief laagfrequent restgehoor (250-500Hz)**	Spraakverstaan CI/ CI1 op 65dB SPL	Spraakverstaan HT*** op 65 dB SPL
NH_1	12;9	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_2	16;2	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_3	13;6	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_4	16;5	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_5	12;1	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_6	16;0	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_7	16;0	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_8	13;0	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_9	11;3	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_10	10;10	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_11	14;3	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_12	10;8	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BIM_1	13;1	V	4	6;2	Rechts	-	6;11	88	58	96	93
BIM_2	17;11	M	3	17;3	Rechts	-	0;8	80	38	93	93
BIM_3	8;8	V	4	7;5	Rechts	-	1;3	90	58	96	72
BIM_4	9;11	V	1	5;6	Links	-	4;5	57	48	96	93
BIM_5	17;9	V	1	1;6	Rechts	-	16;3	85	78	96	96
BIM_6	9;2	M	3	7;6	links	-	1;8	92	50	90	75
SEQ_1	12;2	M	1	2;6	Links	8;8	3;5	82	85	96	54
SEQ_2	15;8	M	3	11;6	Links	14;0	1;8	95	70	96	75
SEQ_3	10;5	M	4	3;1	Rechts	7;2	3;3	95	78	96	54
SEQ_4	15;1	M	4	3;4	Links	13;7	1;6	92	70	95	60
SEQ_5	17;9	V	1	1;11	Rechts	16;3	1;6	67	45	93	75

* 1=verworven, 2= erfelijk syndromaal, 3= erfelijk niet-syndromaal, 4= onbekend.

** Restgehoor is gemeten zonder gehoorhulpmiddelen, in dB.

*** Postoperatief bij de bimodale kinderen en preoperatief bij de bilaterale kinderen, in % correct herkende fonemen.

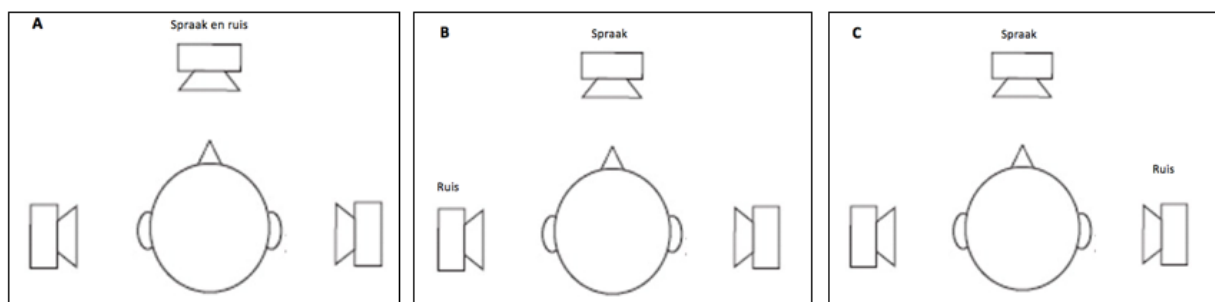
3.4 Materiaal

Om de auditieve mogelijkheden in beeld te brengen, zijn er drie auditieve taken afgenomen: een spraakherkenningstest in ruis, een lokalisatietest en een prosodietest. Een beschrijving per taak komt hieronder aan bod. In bijlage 2 zijn de gegeven testinstructies te vinden. Alle gebruikte apparatuur is van tevoren geijkt op het juiste geluidsniveau.

3.4.1 *Spraakaudiometrie: Spraakverstaan in ruis*

Spraakverstaan in ruis werd gemeten met behulp van de NVA (Nederlandse Vereniging voor Audiologie) test voor volwassenen (Bosman & Smoorenburg, 1995). Deze test werd uitgevoerd in een geluidsarme audiobox met een audiometer van Interacoustics (Equinox). De NVA test bestaat uit 45 lijsten van 12 CVC-woorden uitgesproken door een vrouwelijke spreker. Hierbij wordt er een percentage correct herkende fonemen berekend over de laatste elf woorden per lijst. Spraakverstaan wordt in drie condities onderzocht (zie afbeelding 3): zowel spraak als ruis van voren ($S0^\circ N0^\circ$), spraak van voren met ruis van links ($S0^\circ N-90^\circ$) en spraak van voren met ruis van rechts ($S0^\circ N90^\circ$). Hiervoor werden er drie luidsprekers geplaatst (Westra Audiometribox LAB-251): één links van het kind, één rechts van het kind, en één voor het kind. De luidsprekers werden links en rechts op 100 cm afstand van het kind geplaatst en de voorste luidspreker op 84 cm afstand. Spraak en ruis werden beide op 65 dB SPL aangeboden.

De test begon met een oefenlijst (lijst 23) in de $S0^\circ N0^\circ$ conditie. Het kind werd geïnstrueerd om de aangeboden woorden zo goed mogelijk na te zeggen. De onderzoeker scoorde per woord het aantal correct herhaalde fonemen. Het programma berekende hierover een foneemscore in procenten. Na de oefensessie, werd het spraakverstaan per conditie telkens van twee lijsten gemeten. In ruis kunnen de NVA-lijsten verschillen in moeilijkheidsgraad. Daarom werd er een combinatie van woordlijsten gebruikt die vergelijkbaar zijn in moeilijkheidsgraad om het niveau gelijk te houden tussen de verschillende condities (lijst 8 en 10, lijst 5 en 2, lijst 19 en 13 en lijst 22 en 18). De gebruikte lijsten zijn terug te vinden in bijlage 3. Van de twee afgenomen lijsten werd het gemiddelde genomen, waardoor er één uitkomst is per conditie. Bij grote verschillen tussen de twee lijsten ($>10\%$) werden er twee nieuwe lijsten afgenomen. Vervolgens werd er binnen de normaalhorende groep gekeken naar een verschil in spraakverstaan tussen ruis voor voren, ruis aan het rechteroor en ruis aan het linkeroor. Binnen de bimodale groep werd er gekeken naar een verschil in spraakverstaan tussen ruis van voren, ruis aan het HT en ruis aan het CI. Binnen de bilaterale groep werd er gekeken naar een verschil in spraakverstaan tussen ruis van voren, ruis aan het eerste CI en ruis aan het tweede CI. De afnametijd was ongeveer 30 minuten.



Afbeelding 3: Conditie A: $S0^\circ N0^\circ$ (zowel spraak als ruis van voren). Conditie B: $S0^\circ N-90^\circ$ (spraak van voren met ruis van links). Conditie C: $S0^\circ N90^\circ$ (spraak van voren met ruis van rechts).

3.4.2 *Lokalisatiemogelijkheden*

Horizontale en verticale geluidslokalisatiemogelijkheden werden getest met behulp van een geavanceerde testopzet zoals beschreven in Vogt et al. (2018). De metingen werden uitgevoerd in een mobiel auditief laboratorium (trailer). De muren hiervan waren bedekt met absorberende

materialen om de trailer geluidsisolerend en echovrij te maken. In de trailer waren 24 luidsprekers (Genelec 8010) op verschillende posities in horizontale ($\pm 70^\circ$) en verticale ($+40^\circ$; -30°) richting geplaatst. Deze luidsprekers werden bedekt door een zwart, geluid doorlatend doek. Visuele cues werden hierdoor geminimaliseerd.

Het kind werd comfortabel in een stoel op 120 cm afstand van het doek met de luidsprekers geplaatst en moest met behulp van een infraroodtracker aangeven waar de stimulus (ruisgeluiden van 150 ms) vandaan kwam. De tracker kon als een bril gedragen worden. Op het montuur waren infrarood markers gemonteerd, waardoor een infraroodcamera (Smarttrack, ART, Munich, Duitsland) de horizontale en verticale hoofdbewegingen van het kind konden registreren. Aan de voorkant van het montuur zat een plastic frame met een kleine laserspot die op 40 cm afstand voor de ogen bevestigd werd. Met deze laser kon het kind aangeven waar de stimulus vandaan kwam.

Voor deze taak werden er ruisgeluiden uit vier verschillende stimuli gebruikt: breedband (BB: 100 Hz – 7938 Hz), laagfrequent (LF: 100 Hz – 1563 Hz), middenfrequent (MF: 1563 Hz – 3563 Hz) en hoogfrequent (HF: 3563 Hz – 7938 Hz). Door verschillende frequentiegebieden te gebruiken, kon er een onderscheid gemaakt worden tussen de lokalisatiecues. Het frequentiebereik van de stimulus komt overeen met het frequentiebereik van CIs van het merk Cochlear. Elke stimulus bestond uit 24 aanbiedingen op 60 dB SPL. De BB-conditie werd echter ook aangeboden op 50 en 70 dB SPL. In totaal waren er dus 144 aanbiedingen in random volgorde. De stimuli werden bestuurd vanuit Matlab (The MathWorks, Natick, USA), die in verbinding stond met een audio-interface met 24 analoge uitgangskanalen (MOTU 24Ao).

Voorafgaand aan de taak werd er een kalibratie van de tracker en een oefensessie (twaalf stimuli) uitgevoerd. Voor de kalibratie werd de stoel op de juiste hoogte afgesteld en werd het kind rechtop in de stoel geplaatst. De kalibratie bestond uit drie onderdelen. Allereerst werd het kind gevraagd om naar het fixatie LED te kijken (azimuth 0° , elevation 0°). Daarna om vanaf het fixatie LED een hoofdbeweging te maken naar $+70^\circ$ azimuth. Tot slot werd het kind gevraagd om een hoofdbeweging te maken op $+30^\circ$ elevation. Deze uiteinden werden tevens gemarkeerd met een lichtje. Wanneer de kalibratie voldoende was en de tracker dus goed afgesteld was, kon de oefensessie beginnen. De procedure van de oefensessie was hetzelfde als de taak zelf. De kinderen werden geïnstrueerd om naar het fixatie LED te kijken. Wanneer zij vervolgens op een knop drukten, ging het fixatie LED uit en werd er een paar milliseconden later een stimulus gepresenteerd. De bewegingen van het hoofd werden vervolgens drie seconden lang geregistreerd. Daarna werd het fixatie LED weer ingeschakeld en kon de handeling opnieuw uitgevoerd worden. De kinderen kregen de opdracht om de stimulus zo snel en secuur mogelijk te lokaliseren. Het afnemen van dit onderdeel duurde ongeveer 30 minuten. Er werd geen feedback gegeven tijdens de uitvoering van het experiment.

3.4.3 BABA: Prosodietest

De prosodische perceptie werd gemeten met een prosodietest ontwikkeld door Straatman en collega's (2010). Met deze test werd het kleinst waarneembare verschil in de grondtoon (F0) bij het nonsenswoord “baba” gemeten. Hierbij werd er een adaptieve 2AFC methode gebruikt om te indiceren of er een verschil in F0 gehoord werd. De meting werd uitgevoerd in een audiobox waarbij het kind op ongeveer een meter afstand voor de luidspreker (Westra LAB-251) zat.

Tijdens de taak werd er telkens twee keer het nonsenswoord “baba” gepresenteerd op 60dB SPL, gescheiden door een stilte interval van 500 ms. De nonsenswoorden waren uitgesproken door een mannelijke en een vrouwelijke spreker. De stimuli zijn gemanipuleerd volgens O'Halpin et al. (2005). Twee moedertaalsprekers van het Nederlands, een man van 26 jaar en een vrouw van 25 jaar oud, hebben het woord “baba” 15 keer geproduceerd, telkens met een zo vlak mogelijke intonatie. Van beide sprekers zijn de opnames geselecteerd van de

woorden die het meest monotoon klonken. Van deze voorselectie zijn er opnames geselecteerd waarbij er minimaal verschil was in lengte tussen de eerste en de tweede syllabe om woord- en zinsaccenten te minimaliseren. De opnames werden gedigitaliseerd op een samplingfrequentie van 44 kHz (16 bit resolutie). De toonhoogtecontouren van deze woorden werden gemanipuleerd met behulp van de Pitch Synchronous Overlap and Add (PSOLA) techniek in het spraak programma PRAAT (Boersma & Weenink, 2018). De F0 waarden aan het begin van de eerste lettergreep van de mannelijke en de vrouwelijke spreker werden vastgesteld op 100 Hz en 200 Hz. Om de F0 afwijking te repliceren in natuurlijke spraak, werd er een lineaire F0 daling van 2.8 semitonen toegevoegd aan de tweede lettergreep (Straatman et al., 2010). Bij de helft van de items werd bij één van de twee woorden (random gekozen) een toonhoogteaccent toegevoegd, terwijl bij de andere helft van de items beide woorden geen toonhoogteaccent bevatten. Na het aanbieden van de nonsenswoorden werd de kinderen gevraagd om links of rechts op de muis te klikken. Wanneer zij geen verschil hoorden tussen de nonsenswoorden moesten zij links op de muisknop klikken. Wanneer zij wel een verschil tussen de twee nonsenswoorden waarnamen, moesten zij rechts op de muisknop klikken. De optiemogelijkheden werden visueel ondersteund met een afbeelding van twee dezelfde olifanten (links) of twee verschillende olifanten (rechts) op het scherm. Na ieder item verscheen er visuele feedback of het antwoord correct of incorrect was. Vanwege dit leereffect vond er vooraf per spreker een oefensessie plaats, bestaande uit 16 items. De taak werd in totaal twee keer uitgevoerd: een keer met de mannelijke spreker en een keer met de vrouwelijke spreker.

De test startte met een verschil van tien semitonen in F0. Drempels werden verkregen met behulp van een 2-down 1-up staircase procedure (Levitt, 1971). De tien semitonen zijn verdeeld in een aantal stappen. Zodra er een foutieve reactie gegeven werd, werd de geaccentueerde stimulus met een stap verhoogd. Zodra er twee goede antwoorden achter elkaar gegeven werden, werd de geaccentueerde stimulus met een stap verlaagd. Wanneer er tien omwentelingen gemaakt waren, er acht opeenvolgende foutieve antwoorden gegeven werden bij het grootste aantal semitonen verschil of wanneer er acht opeenvolgende goede antwoorden gegeven werden op het kleinste aantal semitonen verschil, werd de test afgebroken. Uit het gemiddelde aantal waarneembare semitonen verschil van de laatste zes omwentelingen werd vervolgens de F0 drempel bepaald. Het afnemen van deze test duurde ongeveer 15 minuten.

3.5 Data-analyse

Bij spraakverstaan in ruis is de uitkomstmaat een percentage foneemscore per conditie. Door de verschillende ruiscondities met elkaar te vergelijken, kon er gekeken worden of er ‘Spatial Release from Masking’ (SRM) optreedt. SRM is een verbetering in spraakverstaan die optreedt wanneer spraak en ruis gescheiden aangeboden worden ten opzichte van wanneer spraak en ruis van dezelfde kant komen. Bij de prosodietest komt er een uitkomst in ‘Just Noticeable Difference’ (JND) voor beide condities. JND is het kleinste waarneembare verschil. In dit geval het kleinste waarneembare verschil in aantal semitonen. Bij de lokalisatietest moesten de geregistreerde bewegingen eerst geanalyseerd worden in een uitkomstmaat. Hiervoor is de ‘Mean Absolute Error’ (MAE) gekozen. MAE is de gemiddelde afwijking van de lineaire middenlijn. Hoe kleiner de MAE, des te beter de score.

Voor de analyse van de onderzoeksgegevens werd gebruik gemaakt van SPSS Statistics Data Editor versie 25. Eerst zijn er beschrijvende statistiekgegevens verzameld. Vervolgens is er via Tests of Normality (Shapiro-Wilk) naar de distributie gekeken. Het merendeel van de factoren was niet normaal verdeeld. Toch is er gekozen om per test een repeated-measures design uit te voeren met de onderzoeksgroep (between-subjects) en de testcondities (within-subjects) als onafhankelijke variabele en de testresultaten als afhankelijke variabele. Ongeacht het schenden van de assumpties wordt er parametrisch getoetst, omdat er verwacht wordt dat de gebruikte techniek robuust is voor de schendingen.

Er is voor Sidak gekozen als post-hoc test. Het onderzoek betreft kleine onderzoeksgroepen en Bonferroni is erg streng is in het vinden van effecten. Er is gekeken naar hoofdeffecten, interactie-effecten en geplande contrasten.

H4. Resultaten

De resultaten worden hieronder per test besproken. De resultaten zijn, ondanks de geschonden assumpties (zie §3.5), verkregen met behulp van een Repeated-Measures design.

4.1 Spraakverstaan in ruis: Percentage correct herkende fonemen over de NVA-lijsten

Tabel 2 geeft de gemiddelde resultaten weer per studiegroep voor de drie verschillende luistercondities: spraak en ruis van voren ($S0^{\circ}N0^{\circ}$), spraak van voren en ruis van rechts of aan het eerste/ enige CI ($S0^{\circ}NADorCI1$), en spraak van voren en ruis van links of aan het tweede CI of aan het HT ($S0^{\circ}NASorCI2orHA$).

Tabel 2: Gemiddeld percentage correct herkende fonemen per ruisconditie op de spraakverstaan in ruis test, weergegeven per studiegroep.

Studiegroep	Conditie	Gemiddelde	SD
Bimodaal	Spraak en ruis van voren ($S0^{\circ}N0^{\circ}$)	70.2	7.2
	Spraak van voren, ruis rechts of aan CI1 ($S0^{\circ}NADorCI1$)	71.2	9.0
	Spraak van voren, ruis links, aan CI2 of aan HT ($S0^{\circ}NASorCI2orHA$)	81.8	7.3
Bilateraal	Spraak en ruis van voren ($S0^{\circ}N0^{\circ}$)	69.9	5.5
	Spraak van voren, ruis rechts of aan CI1 ($S0^{\circ}NADorCI1$)	74.1	9.9
	Spraak van voren, ruis links, aan CI2 of aan HT ($S0^{\circ}NASorCI2orHA$)	79.7	10.7
Normaalhorend	Spraak en ruis van voren ($S0^{\circ}N0^{\circ}$)	86.6	5.5
	Spraak van voren, ruis rechts of aan CI1 ($S0^{\circ}NADorCI1$)	94.0	4.1
	Spraak van voren, ruis links, aan CI2 of aan HT ($S0^{\circ}NASorCI2orHA$)	93.2	4.7

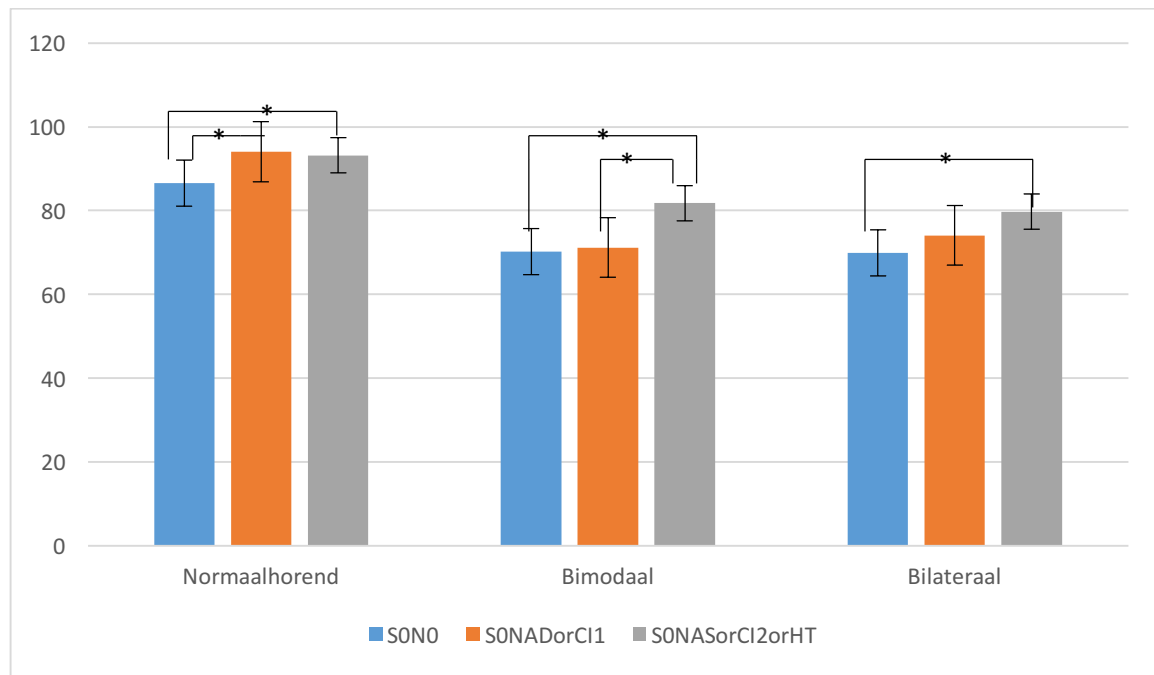
Een 3x3 Repeated Measures ANOVA met de binnen-subject-factoren type ruisconditie ($S0^{\circ}N0^{\circ}$, $S0^{\circ}NADorCI1$, $S0^{\circ}NASorCI2orHA$) en de tussen-subject-factor onderzoeksgroep (BIM, SEQ, NH) en als afhankelijke variabele het percentage correct herkende fonemen liet een significant hoofdeffect zien van de ruisconditie op het percentage correct herkende fonemen ($F(2,40) = 16.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .45$). Dit betekent dat het percentage correct herkende fonemen beïnvloed werd door het type ruisconditie. Ook was er een significant hoofdeffect van onderzoeksgroep ($F(2,20) = 30.29$, $p < .001$, $\eta^2 = .75$). Mauchly's test liet zien dat de assumptie sphericiteit hierbij niet werd geschonden ($p = .583$). Dit betekent dat het percentage correct herkende fonemen beïnvloed werd door de onderzoeksgroep.

Uit de post-hoc analyse, bij het hoofdeffect van conditie, met Sidak aanpassing bleek dat het percentage correct herkende fonemen in de eerste ruisconditie significant verschilt van het percentage correct herkende fonemen in de derde ruisconditie ($p < .001$). Dit betekent dat wanneer ruis aan het linkeroor, het tweede CI of HT aangeboden werd, er een hoger percentage fonemen herkend werd dan wanneer ruis van voren aangeboden werd. Ook het percentage correct herkende fonemen in de tweede ruisconditie is significant verschillend aan dat in de derde ruisconditie: ($p = .007$). Dit betekent dat wanneer ruis aan het rechteroor, het eerste of het enige CI aangeboden werd, er meer fonemen herkend werden dan wanneer ruis aan het linkeroor, het tweede CI of HT aangeboden werd. Er werd geen significant verschil gevonden in het percentage correct herkende fonemen tussen de eerste en de tweede ruisconditie ($p = .051$). Dit betekent dat er geen significant verschil was tussen ruis van voren of ruis aan het (eerste) CI.

Bovendien bleek, uit de post-hoc analyse bij het hoofdeffect van groep, dat de normaalhorende groep significant verschilt van de bimodale en de bilaterale groep kinderen ($p < .001$), maar er waren geen significante verschillen tussen de bimodale en bilaterale groep kinderen ($p = 1.00$).

Er was geen significant interactie-effect tussen ruisconditie en onderzoeksgroep op het percentage correct herkende fonemen ($F(4,40)=2.5$, $p=.058$, $\eta^2 = .20$). Het verschil tussen de condities verschilde dus niet significant voor de verschillende onderzoeksgroepen.

Figuur 1 laat zien dat er voor geen enkele ruisconditie significante verschillen waren tussen de bimodale en bilaterale groep kinderen. De groep normaalhorende kinderen behaalde bij alle drie de ruiscondities significant betere resultaten dan de twee studiegroepen ($p < .001$).



Figuur 1: Gemiddeld percentage correct herkende fonemen over de NVA-lijsten per studiegroep, weergegeven per luisterconditie. Alle condities van de studiegroepen zijn significant verschillend van de referentiegroep.

Er was geen significant interactie-effect tussen ruisconditie en onderzoeksgroep, maar om de SRM per groep te kunnen bepalen moet er wel naar de interactie-effecten gekeken worden. De volgende resultaten betreffende SRM moeten dus met zorg geïnterpreteerd worden, aangezien het verschil tussen de condities niet verschilde voor de verschillende groepen.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de groep normaalhorende kinderen betere resultaten behaalde wanneer de bronnen gescheiden aangeboden werden dan wanneer ruis en signaal uit dezelfde richting kwamen. Bij de groep normaalhorende kinderen trad er dus SRM op wanneer de geluidsbronnen gescheiden aangeboden werden. De SRM-waarden zijn in tabel 3 weergegeven en zijn als volgt berekend:

SRM-waarde aan het rechteroor, het eerste CI of het enige CI = % correct herkende fonemen in de $S0^{\circ}NADorCI1$ conditie - % correct herkende fonemen in de $S0^{\circ}N0^{\circ}$ conditie.

SRM-waarde aan het linkeroor, het HT of het tweede CI = % correct herkende fonemen in de $S0^{\circ}NASorCI2orHA$ conditie - % correct herkende fonemen in de $S0^{\circ}N0^{\circ}$ conditie.

Tabel 3: Gemiddelde SRM-waarden per studiegroep.

SRM-effect	Rechts, CI(1)	Links, HT, CI2
Normaalhorend	7.4%	6.6%
Bimodaal	1.0%	11.6%
Bilateraal	4.2%	9.8%

Bij de bimodale en de bilaterale groep kinderen trad er niet altijd SRM op. Bij de bimodale groep was er dan ook geen verschil (1%) tussen wanneer ruis van voren en wanneer ruis aan het CI aangeboden werd, maar wel een verschil tussen wanneer ruis van voren en wanneer ruis aan het HT aangeboden werd (11.6%). Bij de bilaterale groep kinderen was er zowel een verschil tussen wanneer ruis van voren en wanneer ruis aan het eerste (4.2%) of het tweede CI aangeboden werd (9.8%), met een groter SRM-voordeel bij ruis aan het tweede CI. Bij de normaalhorende groep kinderen zien we aan beide oren een ongeveer even grote SRM-waarde (7.4% en 6.6%).

Beide studiegroepen lieten dus SRM zien wanneer ruis aan het HT of aan het tweede CI aangeboden werd ($S0^{\circ}NA_{DorCI1}$), maar minder of niet wanneer ruis aan het eerste of enige CI aangeboden werd ($S0^{\circ}NA_{SorCI2orHA}$).

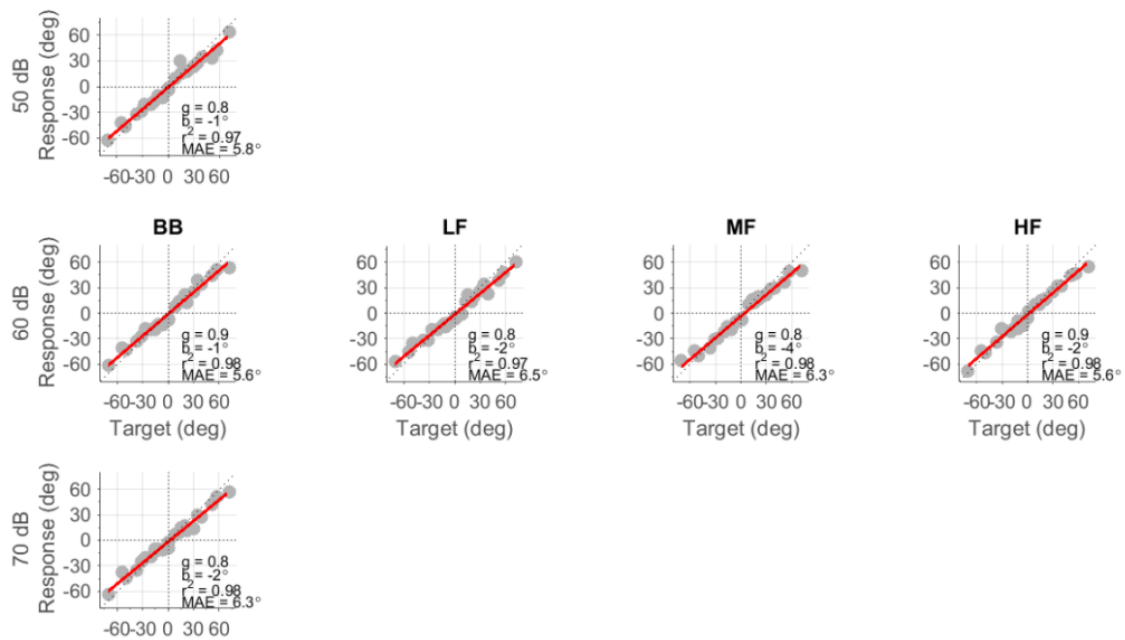
4.2 Lokalisatiemogelijkheden: Mean Absolute Error (MAE) in graden azimuth

Tabel 4 geeft de gemiddelde resultaten per studiegroep weer voor de zes verschillende stimulusfrequenties: breedband 50 dB, breedband 60 dB, breedband 70 dB, laagfrequent 60 dB, middenfrequent 60 dB, hoogfrequent 60 dB. Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn vooral de 60 dB condities van belang. Er wordt namelijk gekeken naar een verschil in frequentie en niet in luidheid. Om deze reden wordt de beschrijvende statistiek van alle condities weergegeven, maar worden alleen de 60 dB condities meegenomen in de analyse.

Tabel 4: Gemiddelde MAE's van zes frequentiecondities behaald op de lokalisatietest, weergegeven per studiegroep.

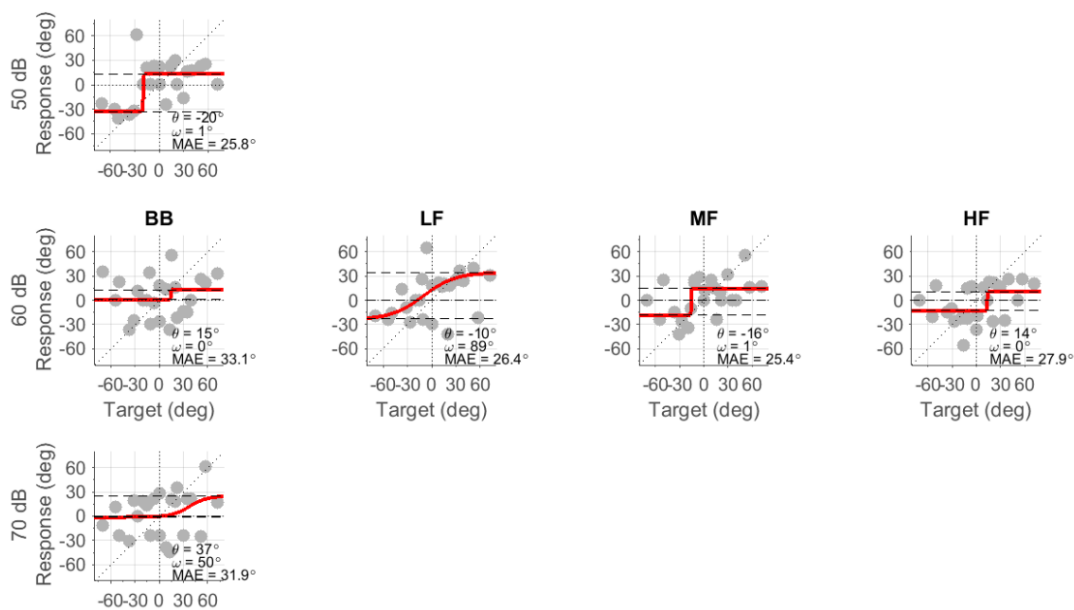
Studiegroep	Conditie	Gemiddelde	SD
Bimodaal	BB 50 dB	34.9	9.0
	BB 60 dB	28.4	7.4
	BB 70 dB	27.7	7.8
	LF 60 dB	28.0	5.7
	MF 60 dB	28.4	9.7
	HF 60 dB	30.4	7.6
Bilateraal	BB 50 dB	22.5	7.8
	BB 60 dB	21.2	5.0
	BB 70 dB	21.3	6.0
	LF 60 dB	21.3	7.7
	MF 60 dB	21.0	6.3
	HF 60 dB	18.7	5.5
Normaalhorend	BB 50 dB	6.3	1.8
	BB 60 dB	6.7	1.8
	BB 70 dB	7.1	2.4
	LF 60 dB	6.8	1.8
	MF 60 dB	7.7	2.6
	HF 60 dB	6.3	1.9

Bij de lokalisatiedata kan er veel afgelezen worden uit de ruwe data. Middels de ruwe data wordt het verschil in lokalisatiemogelijkheden tussen de twee studiegroepen duidelijker zichtbaar dan wanneer van de gemiddelde MAE's uitgegaan wordt. Vandaar dat eerst de ruwe data besproken wordt.

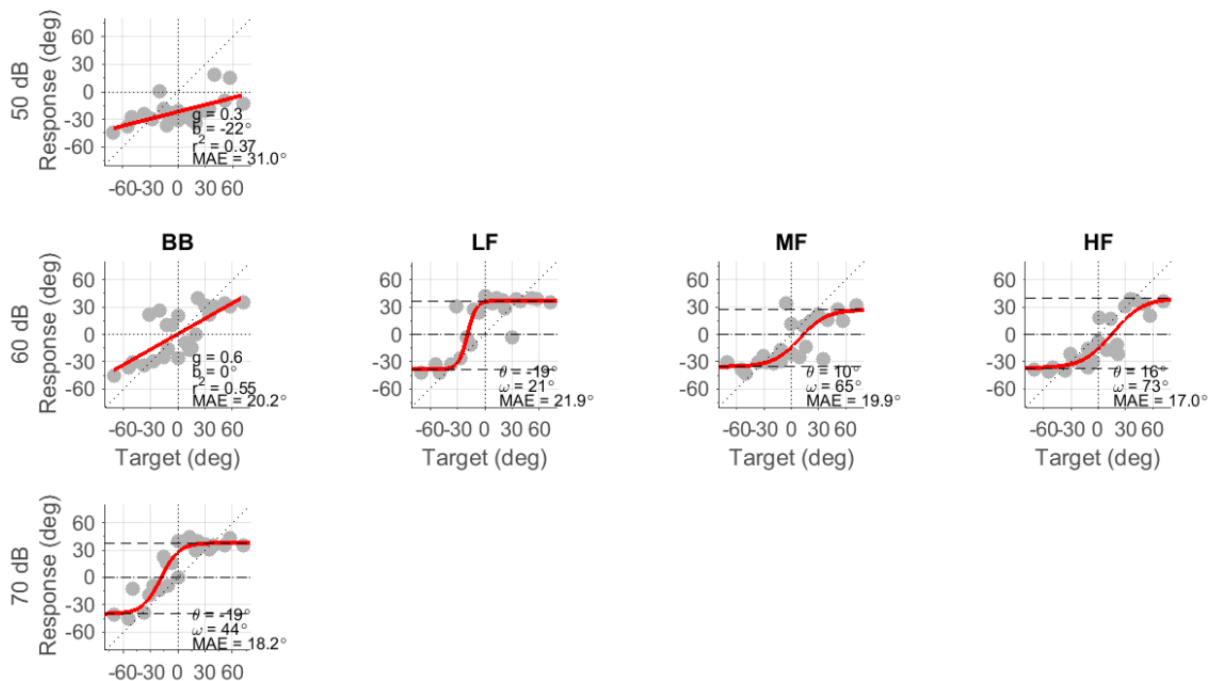


Figuur 2: Ruwe lokalisatiedata van een normaalhorende persoon

In figuur 2 is de ruwe data van een normaalhorend kind te zien. Het bovenste figuur geeft de BB 50 dB conditie weer, het onderste de BB 70 dB conditie en in de middelste rij is van links naar rechts de BB 60 dB, LF 60 dB, MF 60 dB en HF 60 dB conditie weergegeven. De horizontale as geeft de plek van de stimuli weer en de verticale as geeft de reactie van de proefpersoon weer. Er is te zien dat de data bij elke conditie een lineaire vorm aanhoudt die op de middenlijn loopt. Dit betekent dat alle stimuli op de juiste plek waargenomen werden.

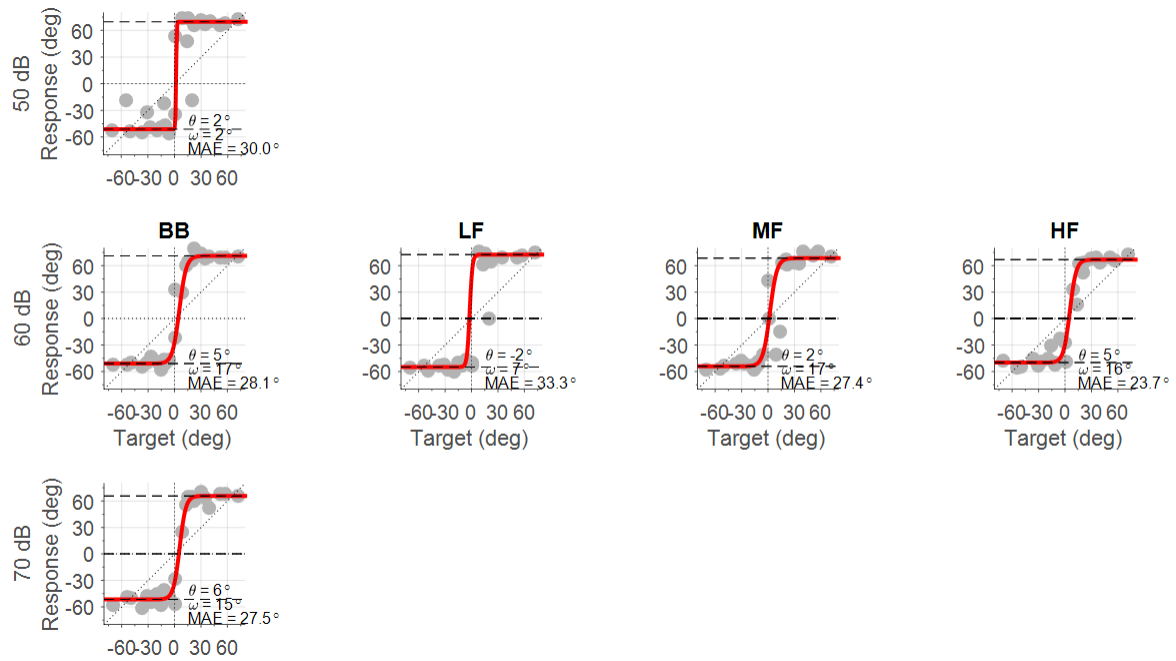


Figuur 3: Ruwe lokalisatiedata van een zwakke bimodale luisteraar (BIM_4)

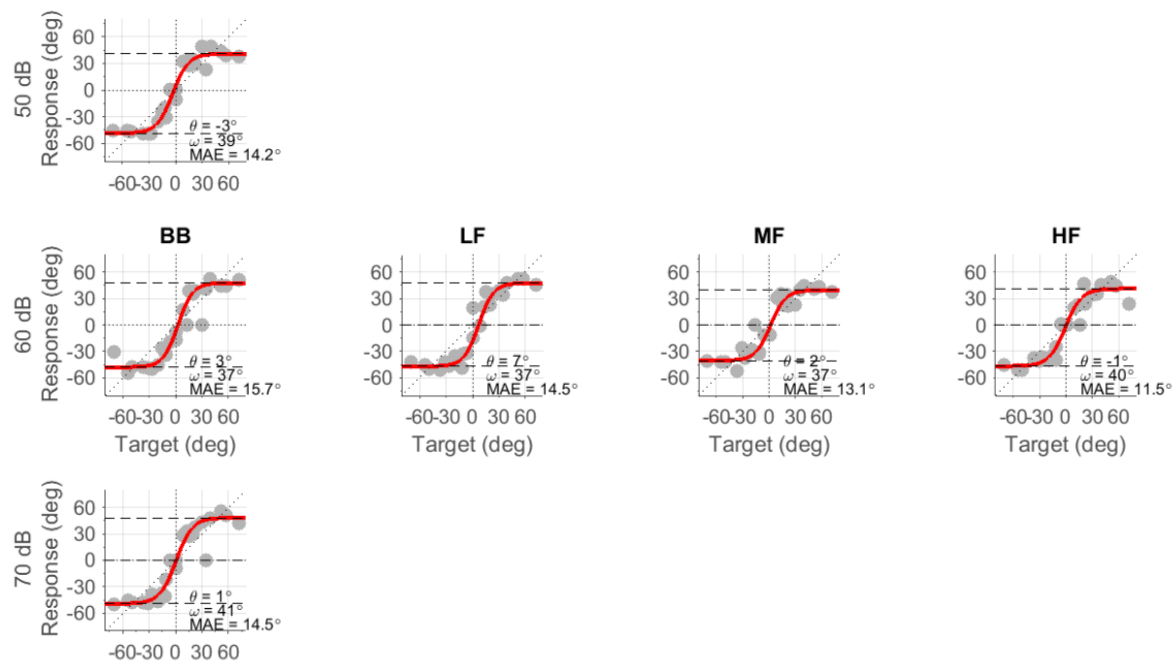


Figuur 4: Ruwe lokalisatiedata van een sterkere bimodale luisteraar (BIM_2)

Figuur 3 en 4 laten de ruwe data van twee bimodale luisteraars zien. Bij deze data is er veel meer variatie zichtbaar. De onderste luisteraar kon beter geluiden lokaliseren dan de bovenste, aangezien de middenlijn bij figuur 4 bijna horizontaal loopt in plaats van schuin. Opvallend bij deze data is dat beide luisteraars niet de hele azimuth breedte benutten. Hiermee wordt bedoeld dat de stimuli vaak maar tot een breedte van -40 tot 40 graden waargenomen werden, terwijl de luidsprekers opgesteld stonden van -70 tot 70 graden (zie verticale as). Bovendien was er een verschuiving op de horizontale as zichtbaar. Dit betekent dat de stimuli vaker aan de ene kant waargenomen werden dan aan de andere kant. Bij BIM_2 (onderste luisteraar) zien we een verschuiving naar links bij de laagfrequente stimuli en een verschuiving naar rechts bij de hoogfrequente stimuli. Deze luisteraar draagt zijn HT links en zijn CI rechts. Laagfrequente tonen worden dus aan de HT zijde waargenomen en hoogfrequente tonen worden aan de CI zijde waargenomen. Bij BIM_4 (bovenste luisteraar) is dit echter andersom. Deze luisteraar draagt links een CI en rechts een HT. Bij BIM_4 worden de laagfrequente geluiden aan de CI zijde waargenomen en de hoogfrequente geluiden aan de HT zijde.



Figuur 5: Ruwe lokalisatiedata van een zwakke bilaterale luisteraar (SEQ_3)



Figuur 6: Ruwe lokalisatiedata van een sterkere bilaterale luisteraar (SEQ_2)

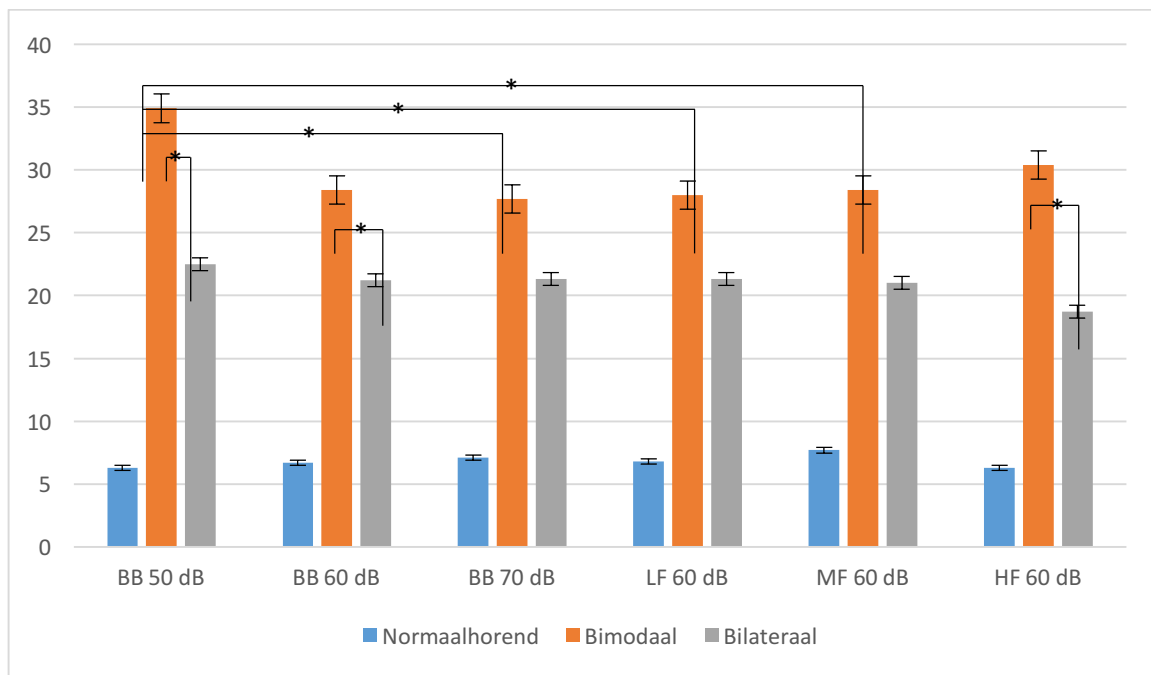
Figuur 5 en 6 laten de ruwe data van twee bilaterale luisteraars zien. Deze data is weer erg verschillend aan dat van de bimodale luisteraars en laat minder variatie zien. Bij deze luisteraars is er geen verschuiving op de horizontale as. De geluiden worden door beide CI's hetzelfde waargenomen. Uit de figuren zien we dat de bovenste luisteraar vooral lateraliseerde. Er kon goed aangegeven worden of de geluiden van links of van rechts kwamen, maar er kon niet precies gelokaliseerd worden waar in het gebied het geluid vandaan kwam. Dit is te zien doordat de punten voornamelijk bovenaan en onderaan de verticale as weergegeven zijn. De onderste luisteraar laat ook wat meer lokalisatie zien in plaats van alleen lateralisatie. Deze luisteraar nam de geluiden echter weer niet in de volledige azimuthbreedte waar.

Er is bij beide studiegroepen geen lineaire lijn te zien zoals bij de normaalhorende referentiegroep. Dit betekent dat er bij beide groepen niet echt sprake is van lokalisatie zoals in de normaalhorende groep kinderen. Wanneer er naar de MAE gekeken wordt lijken de resultaten van de zwakkere bimodale overeen te komen met de resultaten van de zwakkere bilaterale luisteraar. Hetzelfde geldt voor de resultaten van de sterkere bimodale en bilaterale luisteraar. Terwijl er, als er naar de ruwe data plots gekeken wordt, wel een verschil zichtbaar is tussen de bimodale en de bilaterale studiegroep. Bij de bilaterale groep vormt de lijn een sigmoid die veel dichterbij de normaalhorende middenlijn ligt dan de meer horizontale lijn van de bimodale groep kinderen. Bilaterale kinderen konden veel beter aangeven van welke kant een geluid kwam dan de bimodale kinderen. De bimodale kinderen namen de geluiden vaak aan de tegenovergestelde kant waar. Mogelijk doordat HTs beter afgesteld zijn voor de laagfrequente geluiden en CI's voor de hoogfrequente geluiden.

Uit een 3x4 Repeated Measures ANOVA met de binnen-subject factor stimulusfrequentie (BB 60 dB, LF 60 dB, MF 60 dB, HF 60 dB) en de tussen-subject factor onderzoeksgroep (BIM, SEQ, NH) en als afhankelijke variabele de MAE bleek het volgende. Mauchly's test toonde aan dat de assumptie van sphericiteit geschonden werd voor het hoofdeffect van stimulusfrequentie, $X^2(5) = 4.72, p = .451$. Om die reden werd een Huyn-Feldt aanpassing uitgevoerd. Er was geen significant hoofdeffect van stimulusfrequentie op de MAE ($F(3,60) = .161, p = .922, \eta^2 = .008$). Dit betekent dat de MAE niet beïnvloed werd door de stimulusfrequentie. Er was wel een significant hoofdeffect van onderzoeksgroep ($F(1,20) = 355.03, p < .001, \eta^2 = .947$). Dit betekent dat de MAE beïnvloed werd door de onderzoeksgroep.

Post-hoc analyses, voor het hoofdeffect van onderzoeksgroep, met Sidak aanpassing lieten zien dat de MAE bij normaalhorende kinderen significant lager was dan die bij bilaterale kinderen ($p < .001$) en dat de MAE bij bilaterale kinderen significant lager was dan die bij bimodale kinderen ($p = .018$). Dit betekent dat de bilaterale groep betere resultaten behaalde dan de bimodale groep. De groep normaalhorende kinderen behaalde betere resultaten dan zowel de bimodale als de bilaterale groep kinderen.

Er werd geen significant interactie-effect gevonden tussen stimulusfrequentie en onderzoeksgroep op de MAE ($F(6, 60) = 1.20, p = .322, \eta^2 = .107$). Het verschil tussen de stimulifrequenties verschilde dus niet significant voor de verschillende onderzoeksgroepen.



Figuur 7: Gemiddelde MAE in graden azimuth per frequentieconditie, weergegeven per studiegroep. Alle condities van de studiegroepen zijn significant verschillend van de referentiegroep.

4.3 Prosodietest: Kleinst waarneembare verschil (JND) in grondfrequentie (F0) van het nonsenswoord ‘baba’.

Tabel 5 geeft de gemiddelde resultaten per studiegroep weer voor de mannelijke en vrouwelijke spreker op de prosodietest.

Tabel 5: Gemiddelde JND's van de mannelijke en de vrouwelijke spreker behaald op de prosodietest, weergegeven per studiegroep.

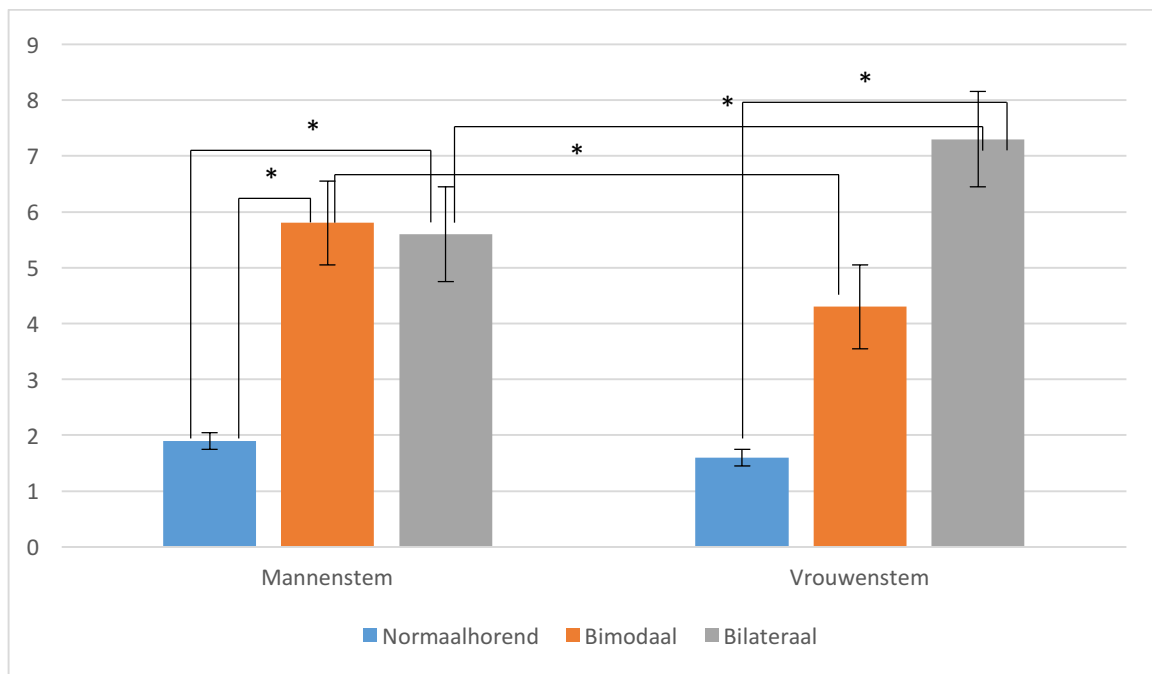
Studiegroep	Spreker	Gemiddelde	SD
Bimodaal	Mannelijk	5.8	3.62
	Vrouwelijk	4.3	4.29
Bilateraal	Mannelijk	5.6	3.49
	Vrouwelijk	7.3	5.42
Normaalhorend	Mannelijk	1.9	1.14
	Vrouwelijk	1.6	.52

Een 3x2 Repeated Measures ANOVA met als binnen-subject-factor geslacht van de spreker (man, vrouw), als tussen-subject-factor de onderzoeksgroep (BIM, SEQ, NH) en als afhankelijke variabele het kleinst waarneembare verschil in semitonen liet geen significant hoofdeffect zien van spreker ($F(1,20) = .002, p = .965, \eta^2 = .00$). Dit betekent dat de resultaten niet beïnvloed werden door het geslacht van de spreker. Er was wel een significant hoofdeffect van onderzoeksgroep ($F(2,20) = 5.9, p = .010, \eta^2 = .37$). Dit betekent dat het kleinst waarneembare verschil in semitonen beïnvloed werd door de onderzoeksgroep. Post-hoc analyse, voor het hoofdeffect van onderzoeksgroep, met Sidak correctie, liet zien dat de groep normaalhorende kinderen significant betere resultaten behaalde dan de bilateraal geïmplanteerde groep kinderen ($p = .016$), maar niet dan de bimodale groep kinderen ($p = .087$). Het verschil in resultaten tussen de bimodale en de bilaterale groep verschilde ook niet significant ($p = .809$).

Er werd een significant interactie effect gevonden tussen spreker en onderzoeksgroep op het kleinst waarneembare verschil in semitonen $F(2,20) = 7.56, p = .004, \eta^2 = .43$). Dit

betekent dat de verschillen in JND tussen de mannelijkere en vrouwelijke spreker varieerden tussen de verschillende onderzoeksgroepen. Post-hoc analyse, voor het interactie-effect, liet zien dat bij de mannelijke spreker de normaalhorende kinderen significant betere resultaten behaalden dan de bilaterale groep ($p = .018$), maar niet dan de bimodale groep kinderen ($p = .291$). Bij de vrouwelijke spreker behaalde de groep normaalhorende kinderen betere resultaten dan zowel de bilaterale ($p = .034$) als de bimodale groep kinderen ($p = .018$). Zowel bij de mannelijke ($p = .384$) als de vrouwelijke spreker ($p = 1.00$) waren er geen significante verschillen tussen de bilaterale en bimodale groep kinderen.

Wanneer er naar verschil in sprekers gekeken werd binnen de onderzoeksgroep dan was er bij de normaalhorende groep kinderen geen significant verschil in scores tussen het luisteren naar de mannelijke of de vrouwelijke spreker ($p = .488$). Bij de bimodale groep kinderen waren de resultaten significant beter wanneer zij naar de vrouwelijke spreker luisterden dan wanneer zij naar de mannelijke spreker luisterden ($p = .015$). Bij de bilaterale groep kinderen waren de resultaten significant beter wanneer zij naar de mannelijke spreker luisterden in plaats van naar de vrouwelijke spreker ($p = .011$).



Figuur 8: Gemiddelde JND in F0 van het nonsenwoord 'baba' gesproken door een mannelijke en een vrouwelijke spreker in aantal semitonen weergegeven per studiegroep.

H5. Discussie en conclusie

5.1 Interpretatie van de gevonden resultaten en vergelijking met de literatuur

5.1.1 *Spraakverstaan in ruis*

Spraakverstaan in ruis is in drie verschillende luistercondities onderzocht: (1) zowel spraak als ruis van voren aangeboden, (2) spraak van voren en ruis aan het eerste of enige CI en (3) spraak van voren en ruis aan het tweede CI of aan het HT. Bij de normaalhorende groep blijkt de eerste ruisconditie, waarbij beide bronnen van voren aangeboden worden, moeilijker dan de andere twee condities, waarbij spraak en ruis gescheiden aangeboden worden. Dit is te verklaren doordat er bij gescheiden bronnen vaak een betere signaal-ruisverhouding is, voornamelijk aan één zijde, en er daardoor bij normaalhorende personen SRM optreedt.

Bij de twee studiegroepen trad er niet altijd SRM op. Beide groepen lieten een grote SRM zien in de derde ruisconditie, waarbij ruis aan het tweede CI of HT aangeboden werd, maar een minder grote of geen SRM in de tweede ruisconditie, waarbij ruis aan het eerste of enige CI aangeboden werd. De normaalhorende groep kinderen liet aan beide oren ongeveer een even grote SRM-waarde zien. De gevonden resultaten komen deels overeen met de verwachtingen: wanneer er ruis aan het HT aangeboden wordt, gaat het luisteren makkelijker dan wanneer de ruis aan het CI aangeboden wordt. Bovendien gaat het luisteren bij de bilateralen ook makkelijker wanneer er ruis aan het tweede CI aangeboden wordt dan wanneer de ruis aan het eerste CI aangeboden wordt. De verwachting was dat er bij de bilateralen geen verschil zou zijn tussen de twee CI's. Deze uitkomsten moeten echter voorzichtig geïnterpreteerd worden aangezien er geen significant interactie-effect was tussen onderzoeksgroep en ruisconditie.

Choi en collega's (2017) hebben van dezelfde ruiscondities gebruik gemaakt tijdens hun onderzoek naar spraakverstaan in ruis tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. Zij vonden, net als de huidige studie, geen significante verschillen tussen de twee studiegroepen. Wanneer er een vergelijking gemaakt werd binnen de groepen, werd er bij de bilaterale groep geen verschil gevonden in scores tussen ruis van voren en ruis aan het eerste CI (4.1%). De huidige studie vond hier ook geen verschil (4.2%). Bij de bimodale groep van Choi en collega's (2017) werd hier wel een verschil gevonden. Er was een significant slechtere spraakperceptie (19.9%) wanneer ruis aan de CI-kant aangeboden werd in plaats van voren. De huidige studie vond hier juist geen verschil (1%). De bimodale groep behaalde ook significant slechtere scores dan de bilaterale groep wanneer ruis aan de (eerste) CI kant aangeboden werd. De bilaterale groep scoorde hier 27.8% beter. De huidige studie vond hier geen significant verschil (2.9%). De resultaten uit de studie van Choi en collega's (2017) suggereerden dat het HS-effect meer bijdraagt bij bilaterale dan bij bimodale stimulatie. De huidige studie ondersteunt deze suggestie niet, omdat er bij de huidige studie geen significante verschillen gevonden werden tussen de bimodale en de bilaterale groep. Bovendien werden er bij de huidige studie hogere resultaten behaald. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de studie van Choi en collega's naar percentage correcte woordherkenning in zinnen keken in plaats van percentage correcte foneemherkenning. Bovendien hebben Choi en collega's (2017) gebruik gemaakt van grotere studiegroepen. Deze studiegroepen hadden ook aanzienlijk restgehoor, alleen lag het gemiddelde restgehoor van de huidige studie iets hoger.

Litovsky en collega's (2006) hebben ook gebruik gemaakt van dezelfde ruiscondities tijdens hun onderzoek naar spraakverstaan in ruis tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde

kinderen. Bij beide studiegroepen trad er SRM op bij zowel ruis aan het eerste of enige CI als bij ruis aan het tweede CI of HT. Het huidige onderzoek vond alleen een significante SRM bij ruis aan het tweede CI of HT. Vermoedelijk werd er bij ruis aan het eerste of enige CI geen significante SRM gevonden door de kleine onderzoeksgroepen.

Mok en collega's (2010) hebben gekeken naar het bilaterale voordeel. Dit is een verbetering in spraakverstaan wanneer luisteren met twee apparaten vergeleken wordt met het luisteren met één apparaat. Bij de bimodale groep leverde het contralaterale HT meerwaarde ongeacht de richting van de ruis. Bij de bilaterale groep maakte het bij ruis van voren geen verschil of er met een of twee apparaten geluisterd werd. Bij ruis aan de zijkant was er wel een bilateraal voordeel. Het tweede CI had dus alleen meerwaarde bij ruis aangeboden van de zijkant. De bilaterale kinderen uit deze studie hadden echter een lang tijdsinterval tussen de twee implantaten. Het artikel maakt bovendien geen vergelijking tussen de resultaten van de bimodale en de bilaterale groep.

De bovengenoemde studies vonden, net als de huidige studie, geen significante verschillen in spraakverstaan tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. Mok en collega's (2010) vonden echter wel een verschil in het behaalde bilateraal voordeel met het tweede apparaat. De bimodale groep liet meer voordeel zien van het CI dan de bilaterale groep van het tweede CI. Er werd niet gekeken naar een verschil in spraakverstaan tussen de twee studiegroepen. Bovendien vonden de bovengenoemde studies voor beide studiegroepen significante verschillen in SRM bij zowel ruis aan het eerste of enige CI als bij ruis aan het tweede CI of HT. De huidige studie vond geen significant SRM-effect. Wanneer er toch naar de effecten gekeken werd, werden er alleen significante verschillen in SRM gevonden bij ruis aan het tweede CI of HT. Bij de bilaterale groep zijn de gehoordmogelijkheden vermoedelijk beter met het eerste CI, aangezien hier meer ervaring mee opgedaan is. Bij de bimodale groep zijn de gehoordmogelijkheden vermoedelijk beter met het CI dan met het HT. Dit zou een verklaring kunnen zijn waarom er wel een SRM-effect is bij ruis aan het 'zwakkere oor' en niet bij ruis aan het 'sterkere oor'. Bovendien hebben de bovengenoemde studies gebruik gemaakt van grotere studiegroepen dan de huidige studie.

5.1.2 Lokalisatiemogelijkheden

De lokalisatiemogelijkheden zijn in vier verschillende condities geanalyseerd: een breedband frequentieconditie, een laagfrequente conditie, een middenfrequente conditie en een hoogfrequente conditie. Alle vier de condities zijn aangeboden op 60 dB SPL. Er werd verwacht dat de bilaterale studiegroep door de CI's hoogfrequente geluiden makkelijker waar kan nemen en dus makkelijker kan lokaliseren en dat de bimodale studiegroep door het HT juist de laagfrequente geluiden makkelijker waar kan nemen en lokaliseren. Bovendien spelen ITD's en ILD's een grote rol bij de lokalisatie. Om laagfrequente geluiden te lokaliseren richt het auditieve systeem zich meer op de ITD's en om hoogfrequente geluiden waar te nemen meer op de ILD's. Bij de bilaterale groep zullen er minder verschillen zijn tussen de oren, omdat zij gebruik maken van twee dezelfde apparaten. Hierdoor hebben bilaterale CI-gebruikers beter toegang tot ITD's, die voordelig kunnen zijn bij het lokaliseren van laagfrequente geluiden. Om deze reden zullen zij vermoedelijk betere scores behalen dan de bimodale groep. Het leek erop dat de bimodale groep, zoals verwacht, betere scores behaalde dan de bimodale groep in de hoogfrequente conditie. In de laagfrequente conditie leek er geen verschil te zijn tussen de groepen. Dit komt vermoedelijk door de kleine studiegroepen, een enorme spreiding in de lokalisatiedata van de bilaterale groep en de gebruikte uitkomstmaat. Zoals beschreven in de resultatensectie, zegt de maat MAE wellicht niet voldoende, maar kan er beter naar de ruwe data gekeken worden.

Choi en collega's (2017) hebben de lokalisatiemogelijkheden in kaart gebracht met behulp van 13 luidsprekers bij een bimodale en een bilaterale groep kinderen. De groepen werden in drie condities onderzocht. De bilaterale groep werd onderzocht met alleen het eerste CI, alleen het tweede CI en met beide CI's. De bimodale groep werd onderzocht met alleen het HT, alleen het CI en met beide apparaten. Beide groepen deden het significant slechter dan de normaalhorende controlegroep, maar er waren geen significante verschillen tussen de bilaterale en de bimodale groep. In de huidige studie werd echter wel een significant verschil tussen de twee groepen gevonden, ten voordele van de bilaterale groep. Bij het onderzoek van Choi en collega's (2017) behaalden kinderen met bilaterale CI's een gemiddelde MAE van 39.4° en in de huidige studie behaalde de bilaterale studiegroep een gemiddelde MAE van 21.0° . Bij het onderzoek van Choi en collega's (2017) behaalden kinderen met bimodale stimulatie een gemiddelde MAE van 41.2° en in de huidige studie behaalde deze studiegroep een gemiddelde MAE van 29.6° . De normaalhorende groep behaalde bij het onderzoek van Choi en collega's (2017) een gemiddelde MAE van 4.8° en tijdens het huidige onderzoek 6.8° . De studiegroepen van het huidige onderzoek behalen betere scores dan de onderzoeksgroepen van Choi en collega's (2017). De scores van de normaalhorende kinderen liggen gelijk aan elkaar. De verschillen in uitkomsten tussen de studies kunnen verklaard worden doordat de huidige studie een geavanceerde opstelling gebruikte met verschillende stimulifrequenties. Choi en collega's (2017) hebben tijdens hun lokalisatietaak geen onderscheid gemaakt in frequentiegebieden. De opstelling uit het huidige onderzoek is dus mogelijk specifiek doordat de stimuli in verschillende frequentiegebieden aangeboden werden. Bovendien maken Choi en collega's gebruik van een langere stimulusduur waardoor het kind al stiekem met het hoofd kan draaien tijdens het horen van de stimuli, nog voordat er gemeten wordt.

Litovsky en collega's (2006) hebben ook naar de lokalisatiemogelijkheden gekeken bij bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. Zij hebben gebruik gemaakt van 15 luidsprekers van -70° tot 70° azimuth. Zij vonden geen significante verschillen tussen de twee studiegroepen. Opvallend is dat zij, net als in de huidige studie, veel variatie vonden in de data. Sommige kinderen behaalden dezelfde resultaten als normaalhorende kinderen en andere kinderen kwamen niet eens in de buurt van deze resultaten.

De twee bovengenoemde studies vonden beide geen significante verschillen betreft lokalisatiemogelijkheden tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. De huidige studie vond hier echter wel een significant verschil, voordelig voor de bilaterale groep. De andere twee studies hebben echter geen onderscheid gemaakt in frequenties.

5.1.3 Prosodische perceptie

Bij prosodische perceptie werd er gekeken naar het kleinst waarneembare verschil in semitonen betreft toonhoogte. Dit is in twee condities onderzocht: (1) luisteren naar een vrouwelijke spreker en (2) luisteren naar een mannelijke spreker. Aangezien een HT gevoeliger is voor laagfrequente geluiden, werd er verwacht dat de bimodale groep kinderen betere prosodische scores zouden halen dan de bilaterale groep kinderen. Er werden echter geen significante verschillen gevonden tussen de twee studiegroepen. Bovendien werd er verwacht dat de bimodale groep laagfrequente geluiden makkelijker waar kan nemen door het HT en dus betere resultaten zou behalen bij de mannelijke spreker. De bilaterale groep kan hoogfrequente geluiden makkelijker waarnemen door het extra CI, waardoor er bij de vrouwelijke spreker betere resultaten verwacht werden. Bij de vrouwelijke spreker werd er geen significant verschil gevonden tussen de bilaterale en de bimodale groep kinderen. Wel verschilden beide studiegroepen significant van de groep normaalhorende kinderen. Dit komt niet overeen met de verwachtingen. Bij de mannelijke spreker was er een significant verschil tussen de bilaterale en de normaalhorende groep kinderen. Er waren er geen significante verschillen tussen de

bimodale groep kinderen in vergelijking met de bilaterale en de normaalhorende groep kinderen. De resultaten van de groep bimodale kinderen kwamen dus bij het luisteren naar de mannelijke spreker overeen met de resultaten van de groep normaalhorende kinderen. Door toevoeging van het HT is er beter toegang tot de laagfrequente geluiden, waardoor bimodale kinderen de toonhoogteverschillen bij de mannelijke spreker even goed waar kunnen nemen als normaalhorende kinderen.

Wanneer er binnen de onderzoeksgroepen gekeken werd, behaalde de bimodale groep kinderen significant betere resultaten bij de vrouwenstem dan bij de mannenstem. De groep bilaterale kinderen behaalden significant betere resultaten bij het luisteren naar de vrouwenstem. Dit is tegenovergesteld aan de verwachtingen.

Straatman en collega's (2010) hebben hetzelfde onderzoek uitgevoerd bij een groep normaalhorende en een groep bimodale kinderen. Normaalhorende kinderen behaalden een score van 2.7 semitonen bij de mannelijke spreker en 4.3 semitonen bij de vrouwelijke spreker. Bij het huidige onderzoek waren de scores voor de normaalhorenden 1.9 semitonen bij de mannelijke spreker en 1.6 bij de vrouwelijke spreker. De bimodale groep behaalde tijdens het onderzoek van Straatman en collega's (2010) een gemiddelde van 6.9 semitonen voor de mannelijke spreker en 7.5 voor de vrouwelijke spreker. Bij het huidige onderzoek werd er een score van 5.8 voor de mannelijke spreker en 4.3 voor de vrouwelijke spreker behaald. Straatman en collega's (2010) hebben het onderzoek niet uitgevoerd bij bilateraal geïmplanteerde kinderen. De scores van de bilaterale groep kunnen dus niet met scores uit het artikel van Straatman en collega's (2010) vergeleken worden. Wel hebben zij dezelfde groep kinderen ook in unilaterale luisterconditie gemeten. De kinderen behaalden dan gemiddeld 9.4 semitonen voor de mannelijke spreker en 11.3 semitonen voor de vrouwelijke spreker. De bilaterale groep bij het huidige onderzoek behaalde 5.6 semitonen voor de mannelijke spreker en 7.3 voor de vrouwelijke spreker. Ook bij dit onderdeel behalen kinderen uit de huidige studie hogere scores dan de kinderen uit de voorgaande studie.

De kinderen uit het artikelen van Straatman en collega's (2010) hadden minder bruikbaar restgehoor dan de kinderen uit de huidige studie. Het verschil in resultaten wordt mogelijk verklaard door verschil in restgehoor en groepsgrootte.

Bartov en Most (2014) hebben een ander prosodisch onderzoek uitgevoerd. Hierbij werden er kinderliedjes aangeboden in verschillende versies. Er werd gekeken of het kind het liedje herkende door het kind telkens uit twee liedjes te laten kiezen. Bij de toonhoogteversie werden er significante verschillen gevonden tussen de bimodale en bilaterale groep kinderen. De bimodale groep behaalde significant betere resultaten betreft toonhoogte dan de bilaterale groep. Bij de huidige studie werden er geen significante verschillen gevonden tussen de twee studiegroepen. Vermoedelijk komt dit doordat de kinderen uit de studie van Bartov en Most (2014) een langere stimulus aangeboden kregen dan bij de huidige studie. Bovendien hadden de kinderen uit de studie van Bartov en Most (2014) minder bruikbaar restgehoor dan de kinderen die meededen aan de huidige studie.

Polonenko en collega's (2017) hebben ook onderzoek gedaan naar de muzikale perceptie bij bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen. Er werden telkens twee melodieën aangeboden en het kind moest aangeven of deze van dezelfde toonhoogte waren, of een toon van elkaar verschilden. Zij vonden, net als de huidige studie, geen significant verschil tussen de twee studiegroepen. De kinderen uit het onderzoek van Polonenko en collega's (2017) hadden echter maar weinig restgehoor in het niet-geïmplanteerde oor.

Bij alle bovengenoemde studies werden er, net als bij de huidige studie, geen significante verschillen gevonden in prosodische perceptie tussen bimodaal en bilateraal geïmplanteerde kinderen wanneer er sprake was van bruikbaar restgehoor. Bij de bilaterale studiegroep is er

een enorme spreiding in de resultaten te zien waarbij een deel van de kinderen het net zo slecht doen als in de unilaterale conditie van Straatman en collega's (2010), maar ook een deel van de kinderen die het boven verwachting goed doen. Deze spreiding was vooral aanwezig bij het luisteren naar de vrouwelijke spreker, de hoogfrequente tonen. Wellicht heeft dit iets te maken met hoelang de kinderen al gebruik maken van hun tweede CI. De kinderen uit de bimodale groep hebben over het algemeen veel langer ervaring met hun CI dan de bilaterale kinderen met hun tweede CI.

5.2 Sterke en zwakke punten van dit onderzoek

Het huidige onderzoek onderscheidt zich vooral qua opstelling positief van andere studies. Er zijn drie verschillende auditieve taken afgenomen, gericht op spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie. Deze gebieden vormen een goede basis om iets te kunnen vertellen over de auditieve mogelijkheden. Bovendien zijn deze taken vaak uitgebreider opgesteld dan in andere artikelen. Het huidige onderzoek maakte bijvoorbeeld gebruik van een erg uitgebreide lokalisatiestudie met 15 luidsprekers zowel horizontaal als verticaal geplaatst, waarbij er onderscheid gemaakt werd tussen verschillende frequentiegebieden. Een ander voordeel van de huidige studie is dat alle kinderen bruikbaar restgehoor hebben. De meeste onderzoeken zijn uitgevoerd zonder dat er sprake was van bruikbaar restgehoor in de studiegroepen.

Tijdens het onderzoek zijn er ook een aantal discussiepunten naar voren gekomen, zoals de uitkomstmaat bij de lokalisatiedata. Er is voor MAE gekozen, zodat de resultaten gemakkelijk met andere studies vergeleken kunnen worden, maar eigenlijk geeft deze maat niet specifiek genoeg de lokalisatiemogelijkheden weer. De MAE is hoeveel de punten in de grafiek van de middenlijn afwijken. Wanneer er naar de ruwe lokalisatiedata gekeken wordt in hoofdstuk 4 dan kunnen twee grafieken die erg van elkaar verschillen toch dezelfde MAE score hebben. Er wordt bij de MAE namelijk niet gekeken naar een verschil in lateralisatie of lokalisatie. Een ander aandachtspunt van de huidige studie is dat er door de kleine onderzoeksgroepen parametrisch getoetst, terwijl dit eigenlijk vanwege de ongelijke verdeeldheid niet zou mogen.

5.3 Aanbevelingen

Aangezien het onderzoek met kleine onderzoeksgroepen uitgevoerd is, zijn de resultaten niet erg betrouwbaar. Om een betrouwbaarder resultaat te vinden, zal het onderzoek opnieuw uitgevoerd moeten worden met grotere onderzoeksgroepen.

Daarnaast zou het interessant zijn om factoren die van invloed kunnen zijn op de resultaten mee te nemen in de statistische toetsen. Bij het huidige onderzoek waren daar de onderzoeksgroepen te klein voor. De relatie tussen de testuitkomsten en de hoeveelheid restgehoor of de relatie tussen de testuitkomsten en de intervaltijd tussen de twee CI's zouden interessante factoren zijn om te bekijken.

5.4 Conclusie

In dit onderzoek is er gekeken naar het verschil in auditieve uitkomsten tussen zes bimodale kinderen met aanzienlijk restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) en vijf sequentieel bilateraal geïmplanteerde kinderen met aanzienlijk preoperatief restgehoor (foneemscore met HT van 50% of hoger bij 65 dB SPL) op gebied van spraakverstaan in ruis, lokalisatiemogelijkheden en prosodische perceptie.

Betreffende het spraakverstaan in ruis werd er voor alle drie de ruiscondities geen significante verschillen gevonden tussen de twee studiegroepen. Er leek bij beide studiegroepen een grote SRM op te treden in de derde ruisconditie, waarbij ruis aangeboden werd aan het tweede CI of het HT, maar een minder grote of geen SRM bij de tweede ruisconditie, waarbij

ruis aangeboden werd aan het eerste of enige CI. Dit komt overeen met de verwachtingen met betrekking tot de bimodale groep. Deze resultaten moeten echter voorzichtig geïnterpreteerd worden aangezien er geen significant interactie-effect gevonden werd.

Betreffende de lokalisatiemogelijkheden werden er geen significante verschillen gevonden tussen de stimulusfrequentie. De resultaten van de normaalhorende groep kinderen waren significant beter dan die van de bilaterale kinderen en de bilaterale kinderen waren significant beter dan de bimodale kinderen. Deze resultaten komend deels overeen met de verwachtingen. Er werd inderdaad verwacht dat de bilaterale groep kinderen beter konden lokaliseren dan de bimodale groep kinderen. Er werd echter ook verwacht dat er een verschil zou zijn in het lokaliseren van hoogfrequente en laagfrequente geluiden. Dit bleek echter niet het geval.

Betreffende de prosodische perceptie werd er voor beide sprekers geen significant verschil gevonden tussen de studiegroepen. Dit komt niet overeen met de verwachtingen. Bij de vrouwelijke spreker verschilden beide studiegroepen significant van de normaalhorende groep kinderen. Bij de mannelijke spreker waren alleen de resultaten van de bilaterale groep kinderen significant verschillend van die van de normaalhorende groep kinderen. De resultaten tussen de bimodale en de normaalhorende groep kinderen waren niet significant verschillend bij de mannelijke spreker.

Wanneer er binnen de onderzoeksgroepen gekeken werd, behaalde de bimodale groep betere scores bij het luisteren naar de vrouwelijke spreker in plaats van de mannelijke en de bilaterale groep behaalde juist betere scores bij het luisteren naar de mannelijke spreker in plaats van de vrouwelijke. Dit is tegenovergesteld aan de verwachtingen, maar zou te maken kunnen hebben met de hoeveelheid bruikbaar restgehoor van de proefpersonen uit deze studie. Bovendien waren de onderzoeksgroepen maar klein.

Uit de resultaten van deze studie lijkt het nauwelijks uit te maken of er bimodale of bilaterale stimulatie plaatsvindt wanneer er sprake is van bruikbaar restgehoor. Voor spraakverstaan in ruis en voor prosodische perceptie werden er geen significante verschillen gevonden tussen de studiegroepen. Bij de lokalisatiemogelijkheden werd er echter wel een significant groepsverschil gevonden, voordelig voor de bilaterale studiegroep.

Voor bimodale kinderen met restgehoor is daarom nog niet aangetoond is dat overgaan naar bilaterale stimulatie meerwaarde heeft voor spraakverstaan in ruis en prosodische perceptie. Op basis van dit onderzoek kunnen er echter geen sluitende uitspraken gedaan worden, aangezien de studiegroepen uit kleine aantallen bestaan. Bovendien bleken de gevonden resultaten niet altijd overeen te komen met de verwachtingen of met de bevindingen van andere studies over dit onderwerp. Er zal meer onderzoek in deze richting gedaan moeten worden om tot een uitspraak richting patiënten en/of hun ouders te komen of de overgang van bimodale stimulatie naar bilaterale stimulatie voordelen levert wanneer er sprake is van bruikbaar restgehoor.

Referenties

- Akeroyd, M. A. (2006). The psychoacoustics of binaural hearing. *International Journal of Audiology*, 45(1), 25-33. doi:10.1080/14992020600782626
- Bartov, T., & Most, T. (2014). Song recognition by young children with cochlear implants: Comparison between unilateral, bilateral, and bimodal users. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(5), 1929-1941. doi:10.1044/2014_JSLHR-H-13-0190
- Beijen, J. W., Mylanus, E. A., Leeuw, A. R., & Snik, A. F. (2008). Should a hearing aid in the contralateral ear be recommended for children with a unilateral cochlear implant?. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 117(6), 397-403. doi:10.1177/000348940811700601
- Blauert, J. (1997). *Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization* (Rev. ed.). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2018). PRAAT: doing phonetics by computer [computer program]. Version 6.0.37, retrieved from <http://www.praat.org/>
- Boons, T., Brokx, J. P., Frijns, J. H., Peeraer, L., Philips, B., Vermeulen, A., . . . van Wieringen, A. (2012). Effect of pediatric bilateral cochlear implantation on language development. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 166(1), 28-34. doi:10.1001/archpediatrics.2011.748
- Bronkhorst, A.W. (2000). The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acustica*, 86, 117-128.
- Butler, R. A., & Humanski, R. A. (1992). Localization of sound in the vertical plane with and without high-frequency spectral cues. *Perception and Psychophysics*, 51(2), 182-186.
- Byrne, D., & Noble, W. (1998). Optimizing sound localization with hearing AIDS. *Trends in Amplification*, 3(2), 51-73. doi:10.1177/108471389800300202
- Ching, T. Y., Day, J., Van Buynder, P., Hou, S., Zhang, V., Seeto, M., . . . Flynn, C. (2014). Language and speech perception of young children with bimodal fitting or bilateral cochlear implants. *Cochlear Implants International*, 15(1), 43-46. doi:10.1179/1467010014Z.000000000168
- Ching, T. Y., Incerti, P., Hill, M., & van Wanrooy, E. (2006). An overview of binaural advantages for children and adults who use binaural/bimodal hearing devices. *Audiology and Neurotology*, 11(1), 6-11. doi:10.1159/000095607
- Ching, T.Y., van Wanrooy, E., Hill, M., & Dillon, H. (2005). Binaural redundancy and interaural time difference cues for patients wearing a cochlear implant and a hearing aid in opposite ear. *International journal of audiology* 44(9), 513-521.
- Ching, T. Y., van Wanrooy, E., & Dillon, H. (2007). Binaural-bimodal fitting or bilateral implantation for managing severe to profound deafness: a review. *Trends in Amplification*, 11(3), 161-192. doi:10.1177/1084713807304357
- Choi, J. E., Moon, I. J., Kim, E. Y., Park, H. S., Kim, B. K., Chung, W. H., . . . Hong, S. H. (2017). Sound localization and speech perception in noise of pediatric cochlear implant recipients: bimodal fitting versus bilateral cochlear implants. *Ear and Hearing*, 38(4), 426-440. doi:10.1097/AUD.0000000000000401
- Cochlear. (2018). [Het cochleaire implantaat] [Photo]. Retrieved on 28 juni 2018, from <https://www.cochlear.com/nl/home/discover/cochlear-implants/nucleus-7-sound-processor/how-it-works>

- Corbin, N. E., Buss, E., & Leibold, L. J. (2017). Spatial release from masking in children: Effects of simulated unilateral hearing loss. *Ear and Hearing, 38*(2), 223-235. doi:10.1097/AUD.0000000000000376
- Culling, J.F., Hawley, M.L., & Litovsky, R.Y. (2004). The role of head-induced ineraural time and level differences in the speech reception thresholds for multiple interfering sound sources. *Journal of the Acoustical Society of America, 116*, 1057-1065. doi: 10.1121/1.1772396
- Dillon, H. (2001). *Hearing aids*. New York. Sydney: Thieme : Boomerang Press.
- Geers, A. E., Moog, J. S., Biedenstein, J., Brenner, C., & Hayes, H. (2009). Spoken language scores of children using cochlear implants compared to hearing age-mates at school entry. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 14*(3), 371-385. doi:10.1093/deafed/enn046
- Gordon, K. A., & Papsin, B. C. (2009). Benefits of short interimplant delays in children receiving bilateral cochlear implants. *Otology & Neurotology, 30*(3), 319-331. doi:10.1097/MAO.0b013e31819a8f4c
- Illg, A., Giourgas, A., Kral, A., Buchner, A., Lesinski-Schiedat, A., & Lenarz, T. (2013). Speech comprehension in children and adolescents after sequential bilateral cochlear implantation with long interimplant interval. *Otology & Neurotology, 34*(4), 682-689. doi:10.1097/MAO.0b013e31828bb75e
- Jeong, S. W., Kang, M. Y., & Kim, L. S. (2015). Criteria for selecting an optimal device for the contralateral ear of children with a unilateral cochlear implant. *Audiology and Neurotology, 20*(5), 314-321. doi:10.1159/000433509
- Kerber, S., & Seeber, B. U. (2012). Sound localization in noise by normal-hearing listeners and cochlear implant users. *Ear and Hearing, 33*(4), 445-457. doi:10.1097/AUD.0b013e318257607b
- Kong, Y. Y., Stickney, G. S., & Zeng, F. G. (2005). Speech and melody recognition in binaurally combined acoustic and electric hearing. *Journal of the Acoustical Society of America, 117*(3), 1351-1361.
- Lee, S. H., Lee, K. Y., Huh, M. J., & Jang, H. S. (2008). Effect of bimodal hearing in Korean children with profound hearing loss. *Acta Otolaryngologica, 128*(11), 1227-1232. doi:10.1080/00016480801901758
- Leigh, J., Dettman, S., Dowell, R., & Sarant, J. (2011). Evidence-based approach for making cochlear implant recommendations for infants with residual hearing. *Ear and Hearing, 32*(3), 313-322. doi:10.1097/AUD.0b013e3182008b1c
- Litovsky, R. Y., & Gordon, K. (2016). Bilateral cochlear implants in children: Effects of auditory experience and deprivation on auditory perception. *Hearing Research, 338*, 76-87. doi:10.1016/j.heares.2016.01.003
- Litovsky, R. Y., Johnstone, P. M., & Godar, S. P. (2006). Benefits of bilateral cochlear implants and/or hearing aids in children. *International Journal of Audiology, 45*, 78-91. doi:10.1080/14992020600782956
- Looi, V., McDermott, H., McKay, C., & Hickson, L. (2007). Comparisons of quality ratings for music by cochlear implant and hearing aid users. *Ear and Hearing, 28*(2), 59-61. doi:10.1097/AUD.0b013e31803150cb
- Looi, V., & Radford, C. J. (2011). A comparison of the speech recognition and pitch ranking abilities of children using a unilateral cochlear implant, bimodal stimulation or bilateral hearing aids. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, 75*(4), 472-482. doi:10.1016/j.ijporl.2010.12.023
- Lovett, R. E., Kitterick, P. T., Hewitt, C. E., & Summerfield, A. Q. (2010). Bilateral or unilateral cochlear implantation for deaf children: an observational study. *Archives of Disease in Childhood, 95*(2), 107-112. doi:10.1136/adc.2009.160325

- MED-EL. (2018). [Binaural summation] [Photo]. Retrieved on 3 juli 2018, from <https://www.medel.com/ssd-approved/>
- Middlebrooks, J. C., & Green, D. M. (1991). Sound localization by human listeners. *Annual Review of Psychology*, 42, 135-159. doi:10.1146/annurev.ps.42.020191.001031
- Mok, M., Galvin, K. L., Dowell, R. C., & McKay, C. M. (2010). Speech perception benefit for children with a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears and children with bilateral cochlear implants. *Audiology and Neurotology*, 15(1), 44-56. doi:10.1159/000219487
- Nederlandse Vereniging voor Audiologie. (2018). Nederlands leerboek audiologie. Retrieved from www.audiologieboek.nl
- Nicholas, J. G., & Geers, A. E. (2006). Effects of early auditory experience on the spoken language of deaf children at 3 years of age. *Ear and Hearing*, 27(3), 286-298. doi:10.1097/01.aud.0000215973.76912.c6
- Niparko, J. K., Tobey, E. A., Thal, D. J., Eisenberg, L. S., Wang, N. Y., Quittner, A. L., . . . Team, C. D. I. (2010). Spoken language development in children following cochlear implantation. *Journal of the American Medical Association*, 303(15), 1498-1506. doi:10.1001/jama.2010.451
- Noble, W., Byrne, D., & Ter-Horst, K. (1997). Auditory localization, detection of spatial separateness, and speech hearing in noise by hearing impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102(4), 2343-2352.
- Noordeloos, S.E. (2017). *Registratie van het richtinghoren met behulp van elektro-encefalografie* (master thesis).
- Otte, R. J., Agterberg, M. J. H., Van Wanrooij, M. M., Snik, A. F. M., & Van Opstal, A. J. (2013). Age-related hearing loss and ear morphology affect vertical but not horizontal sound-localization performance. *Jaro-Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 14(2), 261-273. doi:10.1007/s10162-012-0367-7
- O'Halpin, R., Faulkner, A., Rosen, S., & Viani, L. (2005). The perception of stress and intonation by children with cochlear implants. Conference on Implantable Auditory Prostheses, Asilomar, CA.
- Peters, B. R., Wyss, J., & Manrique, M. (2010). Worldwide trends in bilateral cochlear implantation. *Laryngoscope*, 120(2), 17-44. doi:10.1002/lary.20859
- Polonenko, M. J., Giannantonio, S., Papsin, B. C., Marsella, P., & Gordon, K. A. (2017). Music perception improves in children with bilateral cochlear implants or bimodal devices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 141(6), 4494. doi:10.1121/1.4985123
- Potts, L. G., & Litovsky, R. Y. (2014). Transitioning from bimodal to bilateral cochlear implant listening: speech recognition and localization in four individuals. *American Journal of Audiology*, 23(1), 79-92. doi:10.1044/1059-0889(2013/11-0031)
- Rietveld, A. C. M., & Van Heuven, V. J. (2009). *Algemene fonetiek*. Bussum: Coutinho.
- Scorpecci, A., Giannantonio, S., Pacifico, C., & Marsella, P. (2016). Bimodal stimulation in prelingually deaf children: Lessons from a cross-sectional survey. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 155(6), 1028-1033. doi:10.1177/0194599816661705
- Shannan, B. (2010). [Interaural level difference] [Photo]. Retrieved on 3 juli 2018, from <http://www.ssc.education.ed.ac.uk/courses/deaf/dnov10i.html>
- Snik, A. F., Vermeulen, A. M., Geelen, C. P., Brokx, J. P., & van den Broek, P. (1997). Speech perception performance of children with a cochlear implant compared to that of children with conventional hearing aids. II. Results of prelingually deaf children. *Acta Otolaryngologica*, 117(5), 755-759.
- Sparreboom, M. (2013). Cochleaire implantatie bij kinderen: Achtergronden en mogelijkheden. *Logopedie*, 85(9), 8-14.

- Sparreboom, M., Langereis, M. C., Snik, A. F., & Mylanus, E. A. (2015). Long-term outcomes on spatial hearing, speech recognition and receptive vocabulary after sequential bilateral cochlear implantation in children. *Research in Developmental Disabilities*, 36, 328-337.
- Sparreboom, M., Snik, A. F., & Mylanus, E. A. (2011). Sequential bilateral cochlear implantation in children: development of the primary auditory abilities of bilateral stimulation. *Audiology and Neurotology*, 16(4), 203-213. doi:10.1159/000320270
- Staab, W. (2015). [Binaural squelch] [Photo]. Retrieved on 3 juli 2018, from <http://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2015/binaural-loudness-squelch/>
- Straatman, L.V., Rietveld, A.C.M., Beijen, J., Mylanus, E.A.M., & Mens, L.H.M. (2010). Advantage of bimodal fitting in prosody perception for children using a cochlear implant and a hearing aid. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(4), 1884-1895.
- Van den Bogaert, T., Klasen, T. J., Moonen, M., Van Deun, L., & Wouters, J. (2006). Horizontal localization with bilateral hearing aids: without is better than with. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(1), 515-526.
- Van Deun, L., van Wieringen, A., Scherf, F., Deggouj, N., Desloovere, C., Offeciers, F. E., . . . Wouters, J. (2010). Earlier intervention leads to better sound localization in children with bilateral cochlear implants. *Audiology and Neurotology*, 15(1), 7-17. doi:10.1159/000218358
- Van Eindhoven, M.J.A., Gaasbeek-Janzen, M.H., Heymans, J. (2012). *Herbeoordeling standpunt bilaterale cochleaire implantaten bij kinderen*. Diemen: College voor Zorgverzekeringen.
- Van Eindhoven, M.J.A., Gaasbeek-Janzen, M.H., Heymans J. (2014). *Verstrekkingsgeschiedenis: tweede cochleair implantaat voor kinderen tussen 5 en 18 jaar*. Diemen: College voor Zorgverzekeringen.
- Zheng, Y., Godar, S. P., & Litovsky, R. Y. (2015). Development of sound localization strategies in children with bilateral cochlear implants. *Public Library of Science One*, 10(8), e0135790. doi:10.1371/journal.pone.0135790

Bijlagen

Bijlage 1: Proefpersooninformatie en toestemmingsverklaring

Voorafgaand aan het onderzoek is de volgende informatie omtrent het onderzoek uitgedeeld en is de toestemmingsverklaring getekend. Deze informatie is per onderzoeksgroep verschillend. Hieronder wordt alleen de informatie voor de normaalhorende proefpersonen toegevoegd. De informatie voor de bimodale en bilaterale studiegroep kan hiervan afwijken en kunt u eventueel opvragen. Er zijn in totaal vijf onderzoeken uitgevoerd per kind, maar de twee onderzoeken die niet meegenomen zijn in deze thesis zijn uit de huidige bijlage verwijderd.

Proefpersoneninformatie voor deelname aan medisch-wetenschappelijk onderzoek voor normaalhorenden

Horen met twee oren als je doof / slechthorend bent: hoe kunnen we het verbeteren?

Bilateraal of bimodaal: fitting optimalisatie en de invloed op primaire auditieve uitkomstmaten bij kinderen met cochleaire implantaten

Inleiding

Geachte heer/mevrouw,

Wij vragen u om uw kind om mee te laten doen aan een medisch-wetenschappelijk onderzoek. Het onderzoek is gericht op het verbeteren van het horen van slechthorende / dove kinderen. Meedoen is vrijwillig. Om mee te doen is wel uw schriftelijke toestemming nodig.

Voordat u beslist of uw kind meedoet aan dit onderzoek, krijgt u uitleg over wat het onderzoek inhoudt. Lees deze informatie rustig door en vraag de onderzoeker uitleg als u vragen heeft. U kunt ook de onafhankelijk deskundige, die aan het eind van deze brief genoemd wordt, om aanvullende informatie vragen. Uiteraard kunt u er ook over praten met uw partner, vrienden of familie.

Verdere informatie over meedoen aan zo'n onderzoek staat in de bijgevoegde brochure 'Medisch-wetenschappelijk onderzoek'.

1. Algemene informatie

Dit onderzoek wordt gedaan door het Radboudumc, Hearing & Implants. De kosten van dit onderzoek worden deels door de fabrikant Cochlear vergoed. Het onderzoek wordt uitgevoerd door een taal- en spraakpatholoog en een klinisch fysicus – audioloog van het Radboudumc, Hearing & Implants. Voor dit onderzoek zijn zoveel mogelijk kinderen van 8 jaar en ouder nodig.

De medisch ethische toetsingscommissie CMO Regio Arnhem-Nijmegen heeft dit onderzoek goedgekeurd. Algemene informatie over de toetsing van onderzoek vindt u in de brochure 'Medisch-wetenschappelijk onderzoek'.

2. Achtergrond en doel van het onderzoek

Kinderen die doof of ernstig slechthorend zijn, krijgen meestal een cochleair implantaat (CI). Met een CI is het voor deze kinderen mogelijk om de meeste geluiden te horen. Veel van deze kinderen kunnen daardoor spraak redelijk goed verstaan en kunnen vaak (eventueel met extra begeleiding) naar een reguliere school. Vroeger kregen kinderen altijd maar één CI. Tegenwoordig hebben de meeste dove en ernstig slechthorende kinderen twee CI's, of ze gebruiken naast hun CI ook nog een hoortoestel. Bij kinderen met een CI en een hoortoestel, bestaat soms de vraag of ze meer mogelijkheden zouden hebben wanneer ze twee CI's zouden dragen. Uiteraard is dit mede afhankelijk van hoeveel ze nog horen met hun hoortoestel. Het doel van het onderzoek is om uit te zoeken of kinderen met een CI en een hoortoestel, die nog redelijk wat kunnen horen met hun hoortoestel, dezelfde mogelijkheden hebben als kinderen met twee CI's. Om de beperkingen van de slechthorende kinderen goed in kaart te brengen is het belangrijk om te weten hoe goedhorende leeftijdsgenoten presteren op dezelfde onderzoeken. Er wordt onderzoek gedaan naar het horen van verschillen in luidheid tussen de oren, verstaan in rumoer, richtinghoren, toonhoogte onderscheiden en luisterinspanning (hoeveel moeite kost het om te luisteren).

3. Wat meedoen inhoudt

Als uw kind meedoet, zal dit één bezoek aan het Radboudumc betekenen.

Bezoeken en metingen

Een uitgebreide beschrijving van de metingen kunt u vinden in **bijlage B**

Het bezoek zal in het Radboudumc plaatsvinden. Er zijn dan mogelijk ook andere kinderen en hun ouders aanwezig die deelnemen aan dit onderzoek. Bij dit bezoek wordt via standaard audiometrie geverifieerd of uw kind inderdaad normaalhorend is. Vervolgens zullen een vijftal onderzoeken worden verricht. De testtijd inclusief pauzes zal ongeveer 4 uur zijn.

4. Wat wordt er van u verwacht

Om het onderzoek goed te doen verlopen, is het belangrijk dat u de afspraken voor het bezoek nakomt.

Verder is het belangrijk dat u contact opneemt met de onderzoeker:

- als uw kind plotseling klachten heeft met betrekking tot zijn/haar gehoor.
- als u of uw kind niet meer wil(t) meedoen aan het onderzoek.
- als de contactgegevens van uw kind wijzigen.

5. Mogelijke nadelige effecten

Meedoen aan het onderzoek zal naar verwachting geen nadelige effecten voor uw kind opleveren.

6. Mogelijke voor- en nadelen

Het is belangrijk dat u de mogelijke voor- en nadelen goed afweegt voordat u besluit uw kind mee te laten doen. Het onderzoek draagt nagenoeg geen risico's met zich mee en het zal een minimale belasting zijn voor uw kind.

Mogelijke voordelen:

Geen

Mogelijke nadelen:

Deelname aan het onderzoek betekent:

- een bezoek dat ongeveer 4 uur in beslag neemt

7. Als u niet wilt meedoen of wilt stoppen met het onderzoek

U beslist zelf of uw kind meedoet aan het onderzoek. Deelname is vrijwillig. Als u wel meedoet, kunt u zich altijd bedenken en toch stoppen, ook tijdens het onderzoek. U hoeft niet te zeggen waarom u stopt. Wel moet u dit direct melden aan de onderzoeker. De gegevens die tot dat moment zijn verzameld, worden gebruikt voor het onderzoek. Als er nieuwe informatie over het onderzoek is die belangrijk voor u is, laat de onderzoeker dit aan u weten. U wordt dan gevraagd of uw kind blijft meedoen.

8. Deelname van kinderen

Het kan zijn dat uw kind zich tijdens het onderzoek verzet (niet meewerkt). De onderzoeker moet het onderzoek dan direct stoppen. Het is moeilijk om precies te omschrijven wat verzet is. Voor de start van het onderzoek wordt met u overlegd wat als verzet wordt gezien.

De onderzoeker zal zich houden aan de Gedragscode verzet minderjarige patiënten.

9. Einde van het onderzoek

Uw deelname aan het onderzoek stopt als

- het bezoek voorbij is
- u of uw kind zelf kiest om te stoppen

- de onderzoeker het beter voor uw kind vindt om te stoppen
- het Radboudumc, de overheid of de beoordelende medisch ethische toetsingscommissie, besluit om het onderzoek te stoppen.

Het hele onderzoek is afgelopen als alle deelnemers klaar zijn.

Na het verwerken van alle gegevens informeert de onderzoeker u over de belangrijkste uitkomsten van het onderzoek. Als u dit niet wilt, dan kunt u dit tegen de onderzoeker zeggen. Hij/zij mag het u dan niet vertellen.

10. Gebruik en bewaren van uw gegevens

Voor dit onderzoek is het nodig dat de medische en persoonsgegevens van uw kind worden verzameld en gebruikt. Elke proefpersoon krijgt een code die op de gegevens komt te staan. De naam van uw kind en andere persoonsgegevens worden weggelaten.

Uw gegevens

Al uw gegevens blijven vertrouwelijk. Alleen de onderzoekers weten welke code uw kind heeft. Wij geven uw gegevens door aan de opdrachtgever van het onderzoek, maar alleen met die code, nooit met uw naam. De sleutel voor de code blijft bij de onderzoekers. Ook in rapporten over het onderzoek wordt alleen die code gebruikt.

Sommige mensen mogen uw medische en persoonsgegevens inzien. Dit is om te controleren of het onderzoek goed en betrouwbaar uitgevoerd is. Algemene informatie hierover vindt u in de brochure 'Medisch-wetenschappelijk onderzoek'.

Mensen die uw gegevens kunnen inzien zijn: het onderzoeksteam, de monitor die het onderzoek in de gaten houdt en de Inspectie voor de Gezondheidszorg. Zij houden uw gegevens geheim. Als u de toestemmingsverklaring ondertekent, geeft u toestemming voor het verzamelen, bewaren en inzien van de medische en persoonsgegevens van uw kind.

De onderzoeker bewaart uw gegevens 15 jaar.

11. Verzekering voor proefpersonen

Als u deelneemt aan het onderzoek, loopt u geen extra risico's. De onderzoekers hoeven daarom van CMO Regio Arnhem – Nijmegen geen extra verzekering af te sluiten.

12. Vergoeding voor meedoen

De testen voor het onderzoek kosten u verder niets. U wordt niet betaald voor het meedoen aan dit onderzoek. Wel krijgt u een vergoeding voor uw reiskosten.

13. Heeft u vragen?

Bij vragen kunt u contact opnemen met het onderzoeksteam. Voor onafhankelijk advies over meedoen aan dit onderzoek kunt u terecht bij de onafhankelijke arts. Zij weet veel over het onderzoek, maar heeft niets te maken met dit onderzoek.

Bij klachten kunt u het beste terecht bij de klachtencommissie van het Radboudumc. Alle gegevens vindt u in **bijlage A**: Contactgegevens.

14. Ondertekening toestemmingsformulier

Wanneer u voldoende bedenktijd heeft gehad, wordt u gevraagd te beslissen over deelname van uw kind aan dit onderzoek. Indien u toestemming geeft, zullen wij u vragen deze op de bijbehorende toestemmingsverklaring schriftelijk te bevestigen. Door uw schriftelijke toestemming geeft u aan dat u de informatie heeft begrepen en instemt met deelname aan het onderzoek.

Het handtekeningblad wordt door uw behandelaar bewaard. U krijgt een kopie of een tweede exemplaar van deze toestemmingsverklaring.

Dank voor uw aandacht.

16. Bijlagen bij deze informatie

- A. Contactgegevens
- B. Overzicht metingen
- C. Toestemmingsformulier minderjarig proefpersonen van 12 t/m 17 jaar
- D. Toestemmingsformulier ouder of voogd
- E. Brochure 'Medisch-wetenschappelijk onderzoek. Algemene informatie voor de proefpersoon' (versie september 2014)

Bijlage A: contactgegevens voor Radboudumc

Onderzoekers:

Mw. dr. M. Sparreboom

Radboudumc, afdeling Keel-, Neus-, Oorheelkunde, Hearing & Implants

Telefoon: (024) 361 35 06 (2x keuze 2 voor secretariaat)

E-mail: cog.kno@Radboudumc.nl

Maandagen afwezig

Dhr. dr. ir. R.J.J.H.M. Miserus

Radboudumc, afdeling Keel-, Neus-, Oorheelkunde, Hearing & Implants

Telefoon: (024) 361 35 06 (2x keuze 2 voor secretariaat)

E-mail: cog.kno@Radboudumc.nl

Vrijdagen afwezig

Onafhankelijk arts:

Mw. Dr. M.K.S. Hol

Radboudumc, afdeling Keel-, Neus-, Oorheelkunde, Hearing & Implants

Telefoon: 024-3614934

E-mail: Sarah.Conings@Radboudumc.nl

Klachten:

Radboudumc

Huispost 660

Klachtencommissie

Antwoordnummer 540

6500 VC Nijmegen

Telefoon: (024) 361 91 05

Bijlage B: overzicht metingen

Hieronder vindt u een beschrijving van de metingen.

Spraakverstaan in rumoer

Eén van onderstaande testen zal gebruikt worden voor het meten van het spraakverstaan in rumoer:

1. Uw kind zit vóór een luidspreker waaruit korte woorden aangeboden worden. Er komt tegelijkertijd ook rumoer (stoorgeluid) uit dezelfde of een andere luidspreker. Er wordt uw kind gevraagd de woorden na te zeggen. Aan de hand van het aantal goed nagezegde klanken wordt het spraakverstaan getest.
2. Uw kind zit vóór een luidspreker waaruit korte woorden aangeboden worden in een zin. Er komt tegelijkertijd ook rumoer (stoorgeluid) uit dezelfde of een andere luidspreker. Er wordt uw kind gevraagd de woorden na te zeggen. Na elk goed antwoord wordt de volgende zin zachter aangeboden. Bij een fout antwoord wordt het geluidsniveau weer luider. Bij deze test wordt een spraakverstaanbaarheidsdrempel bepaald.

Richtinghoren

Uw kind bevindt zich voor een boog met luidsprekers met een hoofdbewegingssensor op. De luidsprekers zijn onzichtbaar gemaakt door middel van een doek. Er komt steeds een geluid uit één van de luidsprekers en uw kind moet door middel van een hoofdbeweging (kijken in de richting van het geluid) aangeven waar het geluid vandaan komt. Met deze test wordt dan bepaald hoe nauwkeurig uw kind kan richtinghoren.

Toonhoogte onderscheiden

Uw kind zit voor een luidspreker. Uit de luidspreker wordt steeds één nietszeggend woord met twee lettergrepen (/baba/) gezegd. Uw kind wordt gevraagd om steeds aan te geven of de twee lettergrepen in toonhoogte verschillen. Dit wordt zowel bij een mannen- als een vrouwenstem getest. Op deze manier wordt bepaald wat het kleinste verschil in toonhoogte is dat uw kind kan onderscheiden.

Bijlage C: toestemmingsformulier volwassenen en minderjarige proefpersonen van 12 t/m 17 jaar

Horen met twee oren als je doof / slechthorend bent: hoe kunnen we het verbeteren?

- Ik heb de informatiebrief gelezen. Ook kon ik vragen stellen. Mijn vragen zijn voldoende beantwoord. Ik had genoeg tijd om te beslissen of ik meedoe.
- Ik weet dat meedoen vrijwillig is. Ook weet ik dat ik op ieder moment kan beslissen om toch niet mee te doen of te stoppen met het onderzoek. Daarvoor hoef ik geen reden te geven.
- Ik weet dat sommige mensen mijn gegevens kunnen inzien. Die mensen staan vermeld in deze informatiebrief.
- Ik geef toestemming voor het verzamelen en gebruiken van mijn gegevens op de manier en voor de doelen die in de informatiebrief staan.
- Ik geef toestemming om mijn gegevens op de onderzoekslocatie nog 15 jaar na dit onderzoek te bewaren.
- Ik geef ☐ **wel**
☐ **geen** toestemming om mij na dit onderzoek opnieuw te benaderen voor een vervolgonderzoek.
- Ik wil meedoen aan dit onderzoek.

Naam proefpersoon:

Handtekening:

Datum : __ / __ / __

Ik verklaar dat ik deze proefpersoon volledig heb geïnformeerd over het genoemde onderzoek.

Als er tijdens het onderzoek informatie bekend wordt die de toestemming van de proefpersoon zou kunnen beïnvloeden, dan breng ik hem/haar daarvan tijdig op de hoogte.

Naam onderzoeker (of diens vertegenwoordiger):

Handtekening:

Datum: __ / __ / __

* Doorhalen wat niet van toepassing is.

De proefpersoon krijgt een volledige informatiebrief mee, samen met een kopie van het getekende toestemmingsformulier.

Bijlage D: Toestemmingsformulier ouders of voogd

Horen met twee oren als je doof / slechthorend bent: hoe kunnen we het verbeteren?

Ik ben gevraagd om toestemming te geven voor deelname van de volgende persoon/mijn kind aan dit medisch-wetenschappelijke onderzoek:

Naam proefpersoon (kind):

Geboortedatum: __ / __ / __

- Ik heb de informatiebrief voor de ouders/verzorgers gelezen. Ook kon ik vragen stellen. Mijn vragen zijn voldoende beantwoord. Ik had genoeg tijd om te beslissen of ik wil dat mijn kind meedoet.
- Ik weet dat meedoen vrijwillig is. Ook weet ik dat ik op ieder moment kan beslissen dat mijn kind toch niet meedoet. Daarvoor hoef ik geen reden te geven.
- Ik weet dat sommige mensen de gegevens van mijn kind kunnen inzien. Die mensen staan vermeld in deze informatiebrief.
- Ik geef toestemming voor gebruik van de gegevens op de manier en voor de doelen die in de informatiebrief staan.
- Ik geef toestemming om de gegevens van mijn kind op de onderzoekslocatie nog 15 jaar na dit onderzoek te bewaren.
- Ik geef ☐ **wel**
☐ **geen** toestemming om deze persoon/mijn kind na dit onderzoek opnieuw te benaderen voor een vervolgonderzoek

- Ik ga ermee akkoord dat mijn kind meedoet aan dit onderzoek.

Naam ouder/voogd**:

Handtekening:

Datum: __ / __ / __

Naam ouder/voogd**:

Handtekening:

Datum: __ / __ / __

Ik verklaar hierbij dat ik bovengenoemde persoon/personen volledig heb geïnformeerd over het genoemde onderzoek.

Als er tijdens het onderzoek informatie bekend wordt die de toestemming van de ouder of voogd zou kunnen beïnvloeden, dan breng ik hem/haar daarvan tijdig op de hoogte.

Naam onderzoeker (of diens vertegenwoordiger):

Handtekening:

Datum: __ / __ / __

* Doorhalen wat niet van toepassing is.

** Als het kind jonger dan 18 jaar is, ondertekenen de ouders die het gezag uitoefenen of de voogd dit formulier. Kinderen van 12 t/m 17 jaar die zelfstandig beslissingen kunnen nemen (wilsbekwaam zijn), moeten daarnaast zelf een formulier ondertekenen.

De proefpersoon krijgt een volledige informatiebrief mee, samen met een kopie van het getekende toestemmingsformulier.

Bijlage 2: Testinstructies

Spraakverstaan in ruis

Je krijgt zo dadelijk ruis te horen uit de luidspreker. Ook laat ik je woorden horen uit de luidspreker. Wil je proberen deze zo goed mogelijk na te zeggen? Ook als je het niet hoort, probeer te zeggen wat je hoort, al is het maar 1 klank. Dit gaan we eerst even oefenen. Zijn er nog vragen? Dan gaan we nu beginnen. Het is belangrijk dat je probeert zo stil mogelijk te zitten. Ronde 2: Nu gaan we precies hetzelfde doen, alleen komt de ruis nu uit een andere luidspreker. Ronde 3: Nu komt de ruis weer uit een andere luidspreker.

Lokalisatiemogelijkheden

Je krijgt straks geluiden te horen. Die geluiden komen van verschillende plekken; links-rechts, hoog-laag. Het is de bedoeling dat jij aangeeft waar het geluid vandaan komt. Dat doen we met deze tracker. Deze zet ik alvast op je hoofd. Zo, nu ga ik de stoel goed zetten.

Zie je het groene lampje hier? Daarmee ga jij wijzen. Wanneer we geluiden horen, bewegen we ons hoofd wel iets, maar kijken wij erna vooral met onze ogen. Dit apparaat meet alleen de beweging die wij met ons hoofd maken. Dus je moet dadelijk helemaal met je hoofd naar het geluid draaien, zodat het groene lampje naar de plek wijst waar jij het geluid hoorde. Voordat we beginnen, gaan we eerst nog de tracker afstellen. Je ziet dadelijk hier een rood lampje en hier een groen lampje. Je mag eerst met jouw groene lampje naar het rode lampje wijzen, totdat er twee rode lampjes ontstaan. Jouw groene lampje komt daar precies tussen. Als je dit hebt, mag je het zeggen. Dan gaat nu het rode lampje uit en mag jij in 1 rechte lijn naar het groene lampje rechts bewegen. Hier doe je hetzelfde als bij het rode lampje.

Dan gaan we nu eerst nog even oefenen. Je mag weer naar het rode lampje in het midden kijken. Als je een geluid hoort, beweeg dan richting het geluid en kom altijd weer terug naar het rode lampje in het midden.

Nu gaan we echt beginnen. Je krijgt zelf de afstandsbediening. Wanneer je op de knop duwt, hoor je het volgende geluid. Zijn er nog vragen?

Prosodie

Je krijgt uit de luidspreker telkens twee keer het woord /baba/ te horen. Jij moet op de laptop aangeven of deze verschillend of hetzelfde klinken. Het gaat hierbij niet om hoe hard ze klinken, maar om hoe hoog/laag ze klinken (eventueel voordoen). Als ze hetzelfde klinken, duw je op de linkermuisknop, de kant met twee dezelfde olifanten. Als ze verschillend klinken, duw je op de rechtermuisknop, de kant met twee verschillende olifanten. Dit gaan we eerst even oefenen. Als er geen vragen zijn, dan kunnen we beginnen.

Bijlage 3: Gebruikte NVA woordlijsten

Onderstaande selectie woordlijsten zijn tijdens het huidige onderzoek gebruikt. Lijst 23 was een oefenlijst. Verder werden de volgende combinaties gebruikt: 8 en 10, 5 en 2, 19 en 13, 22 en 18.

2	Rood	Hoek	Loop	Dam	Huis	Maai	Kok	Fout	Geeuw	Bel	Zich	Tien
5	Roos	Nep	Boeg	Kom	Wees	Vuil	Hang	Toon	Lied	Gif	Dijk	Zaai
8	Beer	Zeef	Boei	Kam	Wiel	Fijn	Lek	Hout	Doos	Gong	Tip	maag
10	Rat	Veel	Kop	Dooi	Muis	Wijn	Hem	Zoet	Gaaf	Big	Lang	Piek
13	Raam	Buit	Pech	Long	Vies	Haai	Meel	Zijn	Goed	Boom	Kip	Tak
18	Vuur	Boek	Lach	Men	Nieuw	Kaas	Geit	Hoop	Geef	Tol	Duim	Zing
19	Rood	Kieuw	Goud	Sap	Laag	Hooi	Jong	Bed	Neef	Zin	Pijl	Doek
22	Raam	Heg	Feit	Ziek	Teen	Bof	Naam	Kooi	Ging	Map	Doel	Luis
23	Bus	Lek	Boei	Fijn	Gong	Maag	Hout	Tip	Zeef	Doos	Kam	Wiel