

Hersenstamimplantatie bij kinderen: wat is het effect op de vroege spraakproductie?

Auteurs

Jolien Faes

Affiliatie: Computational Linguistics & Psycholinguistics Research Center (CLiPS),
Universiteit Antwerpen

Nathalie Boonen

Affiliatie: Computational Linguistics & Psycholinguistics Research Center (CLiPS),
Universiteit Antwerpen

Steven Gillis

Affiliatie: Computational Linguistics & Psycholinguistics Research Center (CLiPS),
Universiteit Antwerpen

Correspondentiegegevens

Naam: Jolien Faes

Adres: Prinsstraat 13, 2000 Antwerpen

Telefoonnummer: +32 03 265 5231

E-mail: jolien.faes@uantwerpen.be

ABSTRACT

Kinderen met een zeer ernstig sensorineuraal gehoorverlies komen meestal in aanmerking voor een cochleair implantaat. Maar wanneer het gehoorverlies te wijten is aan de afwezigheid van de gehoorzenuwen, kan enkel een hersenstamimplantaat een oplossing bieden. Deze techniek is echter nog relatief recent en het onderzoek naar de effecten van dit hoorimplantaat op de taalontwikkeling van kinderen staat nog in zijn kinderschoenen. Tot dusver is al aangetoond dat hersenstamimplantatie een gunstig effect heeft op de spraakperceptie van deze kinderen, maar over spraakproductie is zeer weinig gekend. Deze studie wil een aanvulling zijn op de eerste indicaties in de literatuur. Concreet toont deze studie aan dat kinderen met hersenstamimplantaat (N = 2) de eerste twee mijlpalen in de taalontwikkeling kunnen bereiken: ze brabbelen en produceren hun eerste woorden anderhalf tot twee jaar na implantatie. In vergelijking met kinderen zonder gehoorproblemen en kinderen met cochleaire implantaten bereiken de kinderen met hersenstamimplantaat deze mijlpalen weliswaar significant later.

Trefwoorden: Hersenstamimplantatie, brabbelonset, woordonset, ABI

INLEIDING

In Vlaanderen wordt het gehoor van kinderen kort na de geboorte getest door Kind en Gezin. Volgens de meest recente cijfers wordt ongeveer 96% van de pasgeborenen bereikt door Kind en Gezin en wordt ongeveer 1.5% van deze kinderen doorverwezen op basis van afwijkende resultaten (Kind en Gezin, 2019). Tussen 2010 en 2015 lag de prevalentie van kinderen met een aangeboren doofheid of slechthorendheid op gemiddeld 2 per 1000 geteste kinderen. De helft van deze kinderen heeft een ernstig tot zeer ernstig gehoorverlies van meer dan 70 dB waarbij het probleem zich situeert in het binnenoor, ook wel aangeduid als sensorineuraal gehoorverlies (Kind en Gezin, 2015). (Sensorineuraal) gehoorverlies bemoeilijkt de taalontwikkeling van kinderen.

Sensorineuraal gehoorverlies: cochleaire implantatie en hersenstamimplantatie

De laatste decennia zijn er heel wat hulpmiddelen ontwikkeld voor personen met gehoorverlies. Bij sensorineuraal gehoorverlies zijn dat bijvoorbeeld cochleaire implantaten en hersenstamimplantaten. De precieze oorzaak van het gehoorverlies bepaalt voor welk type implantaat iemand in aanmerking komt. Cochleaire implantaten zijn ontworpen om de functie van beschadigde of afwezige trilhaartjes in het slakkenhuis over te nemen. De elektroden van een cochleair implantaat (CI) worden in het slakkenhuis ingebracht en stimuleren rechtstreeks de gehoorzenuw. In bepaalde gevallen is het gehoorverlies te wijten aan andere oorzaken, zoals de afwezigheid van de gehoorzenuwen of een deformatie van het slakkenhuis, waardoor een CI geen oplossing kan bieden. Hersenstamimplantaten kunnen dat in deze gevallen echter wel. Bij hersenstamimplantatie, ook wel auditory brainstem implants (ABI), worden de elektroden rechtstreeks op de cochleaire nucleus van de hersenstam geplaatst (Puram & Lee, 2015).

Cochleaire implantatie bij kinderen kent intussen een lange traditie. In België werden er bijvoorbeeld tussen begin 2015 en oktober 2018 303 cochleaire implantaties uitgevoerd bij kinderen jonger dan 5 jaar. Het effect van een CI op de taalontwikkeling van kinderen werd al veelvuldig bestudeerd. Over het algemeen kunnen goede resultaten voor spraakperceptie, spraakproductie en algemene taalontwikkeling verwacht worden (o.m. Faes, Gillis, & Gillis, 2016; Faes & Gillis, 2016a; Gillis, 2017; Svirsky, Teoh, & Neuburger, 2003; Toe, Beattie, & Barr, 2007; Tye-Murray, Spencer, & Gilbert-Bedia, 1995; Watson, Archbold, & Nikolopoulos, 2006).

Hersenstamimplantatie daarentegen is een veel recentere techniek en wordt nog maar sinds het begin van deze eeuw toegepast bij kinderen, en dat enkel in Europa (Puram & Lee, 2015). In de V.S. werden de eerste klinische onderzoeken naar hersenstamimplantatie bij kinderen pas goedgekeurd in 2013 (Noij et al., 2015; Puram & Lee, 2015). Sinds 2015 kregen slechts 8 kinderen een hersenstamimplantaat in België. Als gevolg daarvan staat het onderzoek naar taalontwikkeling na hersenstamimplantatie nog in zijn kinderschoenen.

Hersenstamimplantatie en taalontwikkeling

Studies tonen aan dat postlinguaal dove volwassenen een duidelijk voordeel hebben van hun hersenstamimplantaat. De perceptie van omgevingsgeluid en spraak verbetert aanzienlijk na implantatie en sommige volwassenen kunnen zelfs spraak begrijpen zonder liplezen (Otto, Brackmann, Hitselberger, Shannon, & Kuchta, 2002; Otto et al., 2008; Vincenti, Pasanisi, Guida, Di Trapani, & Sanna, 2008). Ook voor kinderen is reeds aangetoond dat hun perceptie verbetert na hersenstamimplantatie. Kinderen met een hersenstamimplantaat kunnen hoordrempels bereiken tussen 30 dB en 60 dB (Sennaroglu, Colletti, et al., 2016). Dat komt overeen met een matig gehoorverlies (Clark, 1981). Met hersenstamimplantaat zijn deze kinderen in staat om omgevingsgeluid op te pikken, te discrimineren en te identificeren. Daarenboven kunnen ze fonetische contrasten, zoals /u/-/i/ of /m/-/s/, onderscheiden (V. Colletti et al., 2002; V. Colletti et al., 2004; Eisenberg et al.,

2018; Lundin, Stillesjö, Nyberg, & Rask-Andersen, 2016; Sennaroglu, Colletti, et al., 2016; Sennaroglu, Sennaroglu, et al., 2016). De meeste kinderen met een hersenstamimplantaat kunnen op zijn minst korte zinnen verstaan (L. Colletti, Shannon, & Colletti, 2014). Over het algemeen is de perceptie van kinderen met een hersenstamimplantaat beter wanneer ze het implantaat langer dragen, wanneer ze hun implantaat op jongere leeftijd kregen, wanneer de hoordrempels na de operatie lager liggen en wanneer deze kinderen geen bijkomende problemen hebben (L. Colletti et al., 2014; L. Colletti, Wilkinson, & Colletti, 2013; Sennaroglu, Colletti, et al., 2016; Sennaroglu, Sennaroglu, et al., 2016).

In tegenstelling tot de spraakperceptie is de spraakproductie van kinderen met een hersenstamimplantaat veel minder onderzocht. Sommige studies hebben al aangetoond dat deze kinderen naast gebarentaal ook gesproken taal beginnen te gebruiken, gaande van vocalisaties en woorden tot zinnen (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; V. Colletti et al., 2004; Eisenberg et al., 2018; Eisenberg et al., 2008; Faes & Gillis, 2019; Puram & Lee, 2015). Deze studies, met uitzondering van Eisenberg et al. (2018) en Faes & Gillis (2019), geven echter amper tot geen gedetailleerde informatie hierover. Het gevolg daarvan is dat medici, onderzoekers, logopedisten en ouders weinig tot geen zicht hebben op de te verwachten evolutie in spraakproductie na implantatie (Noij et al., 2015). Voor ouders is dit echter een zeer belangrijk aspect in de overweging voor de operatie. Voorts zet deze onduidelijkheid zich door in de logopedische begeleiding van kinderen met een hersenstamimplantaat. De spraak- en taaltherapie wordt veelal gestoeld op die voor kinderen met een CI, aangezien deze kinderen een gelijkaardige achtergrond qua (mate van) gehoorverlies hebben. Maar tot dusver is het koffiedik kijken of taalontwikkeling van kinderen met een hersenstamimplantaat dezelfde kenmerken vertoont als die van kinderen met een CI.

Recent zijn er twee studies die een eerste stap in de goede richting hebben gezet. Voor het Nederlands bestudeerden Faes & Gillis (2019) het verloop van de spontane spraakproducties van twee kinderen met een hersenstamimplantaat geïmplantieerd op tweejarige leeftijd. Zij toonden aan dat deze twee kinderen een gelijkaardig proces in hun spontane gesproken taalgebruik doorlopen als wat er in de literatuur terug te vinden is over kinderen met een CI en kinderen zonder gehoorproblemen. Eerst zijn er vooral vocalisaties aanwezig in hun spraak, daarna produceren ze meer en meer canonieke brabbels (vb. *bababa, dadada*) en vervolgens beginnen deze kinderen steeds meer woorden te gebruiken. Dit ontwikkelingspatroon, van vocalisatie naar brabbel naar woordgebruik, is dus gelijkaardig aan dat van kinderen met een CI en kinderen zonder gehoorproblemen. Precieze vergelijkingen tussen de verschillende groepen voor het aantal vocalisaties, brabbels en woorden en de leeftijd waarop die verschijnen, werden echter niet gemaakt.

Eisenberg et al. (2018) presenteren de resultaten van 4 Engelstalige kinderen met een hersenstamimplantaat in een benoemingstaak (gemiddelde implantatieleeftijd 3 jaar en 4 maanden, SD = 10 maanden). De kinderen produceerden twee jaar na implantatie mono- en disyllabische woorden en hun accuraatheid lag daarbij tussen 40 en 100%. Wanneer het doelwoord een woordinitiële consonant had, produceerden de kinderen meestal ook een initiële consonant, maar deze consonant was vaak nog incorrect. Hetzelfde geldt voor woordfinale consonanten, maar slechts bij een minderheid van de kinderen. Wat betreft articulatiwijze, produceerden 2 kinderen de nasalen en liquidae en de andere 2 kinderen gebruikten alle verschillende consonanttypes. Voor articulatieplaats van consonanten waren er labiale en coronale consonanten aanwezig in de spraakproducties van alle kinderen en bij één kind verschenen er ook enkele dorsale consonanten. Twee tot drie jaar na implantatie produceerden alle kinderen tot slot een aantal volle vocalen.

Doel van deze studie

In deze studie gaan we na of en wanneer kinderen met een hersenstamimplantaat (verder: kinderen met ABI) twee mijlpalen in hun ontwikkeling bereiken: de brabbelonset en de

worddonset. We maken ook een vergelijking met kinderen zonder gehoorverlies (verder: kinderen met normaal gehoor (NH)) en kinderen met cochleair implantaat (CI).

De start van het canoniek brabbelen wordt algemeen beschouwd als dé eerste mijlpaal in de spraak- en taalontwikkeling van een kind. Kinderen zullen op dat moment welgevormde consonant-vocaalsyllaben produceren, die erg lijken op de doeltaal, maar voorlopig nog betekenisloos zijn (Oller, 2000; Stoel-Gammon & Cooper, 1984). Ze worden dan ook beschouwd als de voorlopers van de eerste woorden. Alvorens kinderen canonieke brabbels produceren, verschijnen er eerst verschillende prelexicale uitingen, ook wel vocalisaties genoemd. In de loop van het eerste levensjaar zullen die vocalisaties dan evolueren naar canonieke brabbels (Koopmans-van Beinum & van der Stelt, 1986; Oller, 2000). De aanvang van het brabbelen (brabbelonset) situeert zich tussen 6 en 11 maanden bij kinderen met een typische ontwikkeling (Molemans, Van den Berg, Van Severen, & Gillis, 2012; Oller, 2000). Een verlate brabbelonset wordt beschouwd als een eerste signaal van een mogelijke taalontwikkelingsachterstand. Zo heeft onderzoek aangetoond dat kinderen met het Downsyndroom later beginnen brabbelen (Lynch et al., 1995). Ook kinderen met gehoorproblemen kennen een verlate brabbelonset (Koopmans-van Beinum, Clement, & van den Dikkenberg-Pot, 2001; Oller, 2000), ook na vroege cochleaire implantatie (Molemans, 2011). Voor kinderen met ABI is tot dusver enkel aangetoond dat canonieke brabbels verschijnen in hun productie (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; V. Colletti et al., 2004; Eisenberg et al., 2018; Eisenberg et al., 2008; Faes & Gillis, 2019; Puram & Lee, 2015), maar de precieze leeftijd en een kwantificatie van de brabbelonset is tot dusver nog niet onderzocht. Ons eerste doel in deze studie is dan ook om in kaart te brengen of en wanneer kinderen met ABI deze eerste cruciale mijlpaal in de taalontwikkeling bereiken.

Een volgende belangrijke stap in de taalontwikkeling is de productie van de eerste woorden. Gemiddeld genomen verschijnen de eerste woordjes tussen 1 jaar en 1,5 jaar bij kinderen met NH (Molemans, Van Severen, Van den Berg, Govaerts, & Gillis, 2010). Voor kinderen met CI blijkt dat de lexicale ontwikkeling een van de sterktes is in hun taalontwikkeling (Boons et al., 2013; Duchesne, Sutton, & Bergeron, 2009). Net zoals voor de brabbelonset is er voor de worddonset van kinderen met ABI weinig informatie beschikbaar. Verschillende studies rapporteren dat er woorden aanwezig zijn in de productie, maar de meeste studies gaan niet in op de details of geven geen kwantificatie van de gegevens (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; V. Colletti et al., 2004; Eisenberg et al., 2018; Eisenberg et al., 2008; Faes & Gillis, 2019; Puram & Lee, 2015). Deze studie pikt in op deze lacune in de literatuur en onderzoekt de worddonset van kinderen met ABI.

Voor beide onderzoeksvragen (wanneer bereiken kinderen met ABI de brabbelonset, en wanneer de worddonset?) maken we een vergelijking met kinderen met NH en kinderen met CI. Kinderen met ABI zullen onlosmakelijk een verlate brabbel- en worddonset hebben in vergelijking met kinderen met NH, aangezien deze kinderen pas gemiddeld rond tweejarige leeftijd hun implantaat krijgen en dan pas beginnen horen. Maar, is er ook een verschil tussen beide groepen kinderen wanneer ze op hoorleeftijd gematcht worden? M.a.w., is er een verschil tussen beide groepen kinderen (ABI-NH) wanneer ze even lang horen? Kinderen met een CI hebben, in tegenstelling tot kinderen met NH, ook een periode van zeer ernstig gehoorverlies achter de rug, net als kinderen met ABI. Het gehoorverlies is bij beide groepen kinderen echter elders te situeren. De implantaten werken dan ook op andere wijze: daar waar een cochleair implantaat de gehoorzenuw stimuleert, stimuleert een hersenstamimplantaat de hersenstam rechtstreeks. Bovendien worden cochleaire implantaten doorgaans vroeger geactiveerd, i.e. voor het eerste levensjaar. De vraag rijst dan ook of deze kinderen zomaar vergeleken kunnen worden. In deze studie zal er tot slot ook gekeken worden naar de vergelijking ABI-CI voor brabbel- en worddonset en dat zowel op basis van (chronologische) leeftijd als hoorleeftijd.

METHODE

Participanten

Deze studie vergelijkt de longitudinale taalontwikkeling van 2 kinderen met een hersenstamimplantaat (ABI) met die van kinderen met een cochleair implantaat (CI) en met die van normaalhorende kinderen (NH).

In België zijn er tussen 2015 en 2019 acht kinderen jonger dan 5 jaar geïmplanteerd met een hersenstamimplantaat. In het kader van een grootschaliger onderzoek naar de taalontwikkeling van kinderen na hersenstamimplantatie worden drie van deze kinderen maandelijks opgevolgd. In deze studie rapporteren we over de ontwikkeling van twee kinderen met een hersenstamimplantaat. De derde participant werd niet opgenomen in de studie, aangezien de follow-upperiode van dit kind nog geen jaar bedroeg.

Beide kinderen met ABI werden geïmplanteerd op tweejarige leeftijd (Med-EI, 24 en 25 maanden respectievelijk). Hun sensorineuraal gehoorverlies is het gevolg van het ontbreken van de gehoorzenuwen en het gemiddeld gehoorverlies (PTA) bedroeg 120 en 116 dB HL voor implantatie. Het implantaat werd bij beide kinderen geactiveerd 2 maanden na de operatie, waarbij 9 van de 12 elektrodes konden geactiveerd worden. Twee jaar na implantatie bedroeg het gemiddeld gehoorverlies nog 37.5 en 43 dB HL. Zowel ABI1 als ABI2 worden opgevoed met gesproken Nederlands, met ondersteuning van Vlaamse Gebarentaal (VGT). VGT was prominenter aanwezig in het taalaanbod van ABI1. Beide kinderen krijgen meerdere keren per week logopedische begeleiding (thuis en/of op school). De dataverzameling van ABI1 startte ongeveer een jaar na de fitting (op 38 maanden) en die van ABI2 ongeveer twee jaar na de fitting (op 49 maanden). Beide kinderen werden 2 jaar opgevolgd tot dusver.

Negen kinderen met een CI (Nucleus-24) vormen de eerste controlegroep. Deze kinderen werden maandelijks gevolgd vanaf implantatie (gemiddeld 1 jaar, SD = 5 maanden) tot 30 maanden na implantatie. Het gemiddeld gehoorverlies (PTA) voor implantatie bedroeg 112.56 dB HL. De gemiddelde leeftijd van activatie van het implantaat bedroeg 1 jaar en 1 maand (SD = 5 maanden). Twee jaar na implantatie was het gemiddeld gehoorverlies gedaald tot 32.33 dB HL (SD = 7.11). Alle kinderen worden opgevoed met gesproken Nederlands, met slechts een beperkt aantal lexicale gebaren ter ondersteuning. Alle kinderen kregen twee tot drie keer per week logopedische begeleiding. Tabel 1 toont de individuele data van de kinderen met een CI.

Dertig Nederlandstalige kinderen met NH vormen tot slot de tweede controlegroep. Deze kinderen werden maandelijks gevolgd tussen 6 en 24 maanden. In Faes & Gillis (2016a) werd er een vergelijking gemaakt van de fonologische en morfosyntactische ontwikkeling van deze groep kinderen en bovenstaande groep kinderen met een CI. ~~Meer informatie daarover kan u daar nalezen.~~

De corpora van kinderen met CI en NH zijn bestaande corpora. Gedetailleerde informatie is te vinden in Schauwers (2006), Molemans (2011), van den Berg (2012) en Van Severen (2012).

Gelieve Tabel 1 hier in te voegen.

Dataverzameling en -transcriptie

De dataverzameling bestaat uit maandelijks video-opnames van spontane interacties tussen het kind en (één van) de ouders. Soms zijn er ook nog broers of zussen aanwezig. Alle opnames duurden ongeveer een uur. Om de tijdrovende verwerking van de data binnen de perken te houden, werden opnames van de kinderen met CI en NH daarna gereduceerd

tot 20 minuten. Deze procedure hebben we niet toegepast bij de kinderen met ABI, omdat we hier over minder data beschikten.

Alle opnames werden getranscribeerd in CLAN volgens de CHAT-conventies (MacWhinney, 2000). De transcripties bevatten – per uiting – informatie over het type uiting (prelexicaal of lexicaal) en een verdere codering van deze uitingen. Lexicale uitingen werden zowel orthografisch als fonetisch getranscribeerd. Fonetische transcripties bestonden uit 2 delen: een transcriptie van de kindproductie en een transcriptie van het doelwoord. Prelexicale uitingen werden gecodeerd volgens het systeem voorgesteld door Koopmans-van Beinum & van der Stelt (1986). Daarbij krijgt een uiting een codering voor zowel fonatie als articulatie. Fonatie kan afwezig (0), ononderbroken (U) of onderbroken (I) zijn. Articulatie wordt beschouwd als het aantal articulatiebewegingen: er is ofwel geen articulatiebeweging (0), één articulatiebeweging (1) of twee (of meer) articulatiebewegingen (2). In een matrix ziet dat er als volgt uit:

(1)

		Articulatie		
		0	1	2
Fonatie	0		01	02
	U	U0	U1	U2
	I	I0	I2	I2

Canoniek brabbelen wordt gedefinieerd als een opeenvolging van CV-syllaben (codes U2 en I2).

De betrouwbaarheid van de ABI-transcripties werd op verschillende niveaus getest. De eerste transcriptie van ABI2 en de eerste 5 transcripties van ABI1 werden opnieuw getranscribeerd. Zoals zal blijken uit de resultaten, zijn dit alle noodzakelijke data voor het bereiken van de brabbel- en woordonset. Het percentage overeenkomst voor wat betreft de status van een uiting (prelexicaal of lexicaal), bedraagt 86,14%. Voor prelexicale uitingen berekenden we ook de overeenkomst voor canonieke brabbels. De gemiddelde overeenkomst bedraagt 91,61% (range: 87,02% - 95,76%). Voor 1 datafile is er tot slot nog gekeken naar de overeenkomst in de bepaling van de doelwoorden op lexicaal niveau. Die bedraagt 90,40%. Betrouwbaarheidsscores voor de NH- en CI-data zijn terug te vinden in Schauwers (2006), Molemans (2011), van den Berg (2012) en Van Severen (2012).

Data-analyses

De brabbelonset bepaalden we op 2 verschillende manieren: de ratio van canonieke brabbels (canonical babbling ratio, CBR^{syl}) en de ratio van echte canonieke brabbels (true canonical babbling ratio, $tCBR^{syl}$) (Oller & Eilers, 1988). Beide maten worden berekend door het aantal canonieke syllaben te delen door het totaal aantal syllaben. De brabbelonset wordt bereikt wanneer een drempelwaarde van 0,15 is overschreden. In tegenstelling tot de CBR^{syl} , worden in $tCBR^{syl}$ glottale consonanten (zoals [h]) en wrijfklanken ([w] en [j]) niet meegeteld bij de canonieke syllaben (Chapman, Hardin-Jones, Schulte, & Halter, 2001; Stoel-Gammon, 1989). Wordonset werd gedefinieerd als de leeftijd waarop het kind zijn of haar eerste tien verschillende woorden kent. Dit werd cumulatief geteld (Huttenlocher, Haight, Bryk, Seltzer, & Lyons, 1991). Dat wil zeggen: in een eerste transcriptie worden alle verschillende woorden (doelwoorden van de kindproducties) bepaald. In de daaropvolgende transcriptie worden daar de woorden bijgenomen die nog niet voorkwamen in de vorige transcriptie, en zo verder tot er tien verschillende woorden verschijnen.

Het corpus is gebaseerd op data van verschillende groepen kinderen. De transcripties van de groep ABI-kinderen zijn gebaseerd op de volledige opnames (± 1 uur), terwijl die van de andere twee groepen kinderen gebaseerd zijn op selecties van 20 minuten. Verder verschilt het aantal deelnemers binnen de groepen en zijn er onvermijdelijke verschillen tussen elke

opname aangezien we met spontane data werken (vb. aan- of afwezigheid van broer(s)/zus(sen)). Om dit te normaliseren, werd een standaardprocedure toegepast, namelijk bootstrapping. Zoals voorgesteld door Molemans et al. (2012), werden er voor elke data file (i.c. elke transcriptie) 1000 random selecties genomen. Voor de brabbelonset werden er 1000 samples van 25 prelexicale uitingen geselecteerd. Telkens werden zowel CBR^{syl} als $tCBR^{syl}$ berekend. Wanneer de waarde van deze maten in 95% van alle samples (950/1000) de drempelwaarde van 0,15 overschreed, werd de brabbelonset door het kind op dat moment bereikt. Voor de woordonset werden 1000 samples van 100 uitingen genomen. Telkens werd de woordenschatgrootte bepaald (cumulatief). Wanneer een kind in 95% van alle samples 10 of meer verschillende woorden kende, cumulatief geteld, werd de woordonset bereikt.

Statistische analyses werden uitgevoerd in R (R Core Team, 2013). De kinderen met ABI werden vergeleken met kinderen met CI en kinderen met NH. De vergelijking met kinderen met NH gebeurde enkel op hoorleeftijd, aangezien er geen overlap in de data aanwezig is wat betreft chronologische leeftijd (NH max. 24 maanden, ABI min. 38 maanden). De vergelijking met de kinderen met CI gebeurde zowel op chronologische leeftijd als op hoorleeftijd, aangezien er hier wel overlappende data waren voor beide vergelijkingmaten. De (hoor)leeftijd waarop de kinderen de brabbelonset (zowel CBR^{syl} als $tCBR^{syl}$) en woordonset bereikten, zijn de afhankelijke variabelen in de lineaire regressies. De onafhankelijke variabele is telkens hoorstatus (ABI vs. CI en vs. NH).

RESULTATEN

Brabbelonset

Brabbelonset is later bij kinderen met ABI dan bij kinderen met CI en NH. ABI1 bereikt de drempelwaarde voor CBR^{syl} op een leeftijd van 41 maanden, wat overeenkomt met een hoorleeftijd van 15 maanden (gemiddelde CBR^{syl} 0,23). ABI2 bereikt de CBR^{syl} -onset meteen in de eerste opname, i.e. op een leeftijd van 49 maanden en een hoorleeftijd van 22 maanden. Aangezien de gemiddelde CBR^{syl} op deze leeftijd bij ABI2 reeds 0,32 bedraagt, is de kans reëel dat zij haar brabbelonset vroeger bereikte, maar daarover hebben we geen gegevens. Wat betreft $tCBR^{syl}$, overschrijdt ABI1 de drempelwaarde op een leeftijd van 43 maanden (hoorleeftijd 17 maanden, gemiddelde $tCBR^{syl}$ 0,33). ABI2 overschrijdt de drempelwaarde eveneens in de eerste opname (leeftijd 49 maanden, hoorleeftijd 22 maanden). Hier ligt de gemiddelde $tCBR^{syl}$ -waarde op 0,17, net boven de drempelwaarde van 0,15.

De gemiddelde hoorleeftijd waarop kinderen met NH CBR^{syl} en $tCBR^{syl}$ bereiken, ligt respectievelijk op 6,63 maanden (range: 6 – 9 maanden) en 7,27 maanden (range: 6 – 10 maanden). Dit is significant lager dan de hoorleeftijd waarop kinderen met ABI de brabbelonset bereiken ($p < 0.0001$ in beide analyses). Figuur 2 geeft de verschillen weer.

De gemiddelde hoorleeftijd waarop kinderen met CI CBR^{syl} en $tCBR^{syl}$ bereiken, ligt respectievelijk op 3,67 maanden (range: 0 – 7 maanden) en 4,33 maanden (range: 0 – 9 maanden). De gemiddelde chronologische leeftijd waarop kinderen met CI CBR^{syl} en $tCBR^{syl}$ bereiken, ligt respectievelijk op 16,89 maanden (range: 11 – 24 maanden) en 17,56 maanden (range: 11 – 28 maanden). Dit is significant lager dan de kinderen met ABI ($p < 0.0001$ in alle analyses). Figuren 1 en 2 geven de verschillen weer.

Gelieve Figuur 1 en Figuur 2 hier in te voegen.

Woordonset

De leeftijd waarop de kinderen met ABI de woordonset bereiken, is 41 maanden voor ABI1 en 49 maanden voor ABI2 (hoorleeftijden 15 en 22 maanden). Net zoals bij de brabbelonset, geldt voor ABI2 dat zij de woordonset meteen in de eerste opname bereikt, met een

gemiddelde cumulatieve woordenschatgrootte van 37 woorden. De kans is dus ook hier reëel dat zij de wordonset nog voor de start van onze dataverzameling bereikte.

Kinderen met NH bereiken de wordonset op een gemiddelde hoorleeftijd van 15,77 maanden (range: 13 – 19 maanden). Dit is lager dan de kinderen met ABI, maar de statistische analyses wijzen uit dat het verschil niet significant is ($p=0.0782$).

Kinderen met CI bereiken de wordonset op een gemiddelde hoorleeftijd van 6,33 maanden (range: 2 – 12 maanden) en een gemiddelde chronologische leeftijd van 19,56 maanden (range: 15 – 24 maanden). Deze leeftijden liggen significant lager dan die van de kinderen met ABI ($p<0.0001$ in alle analyses). In Figuur 3 worden de precieze verschillen tussen alle groepen kinderen weergegeven.

Gelieve Figuur 3 hier in te voegen.

BESPREKING

In deze studie onderzochten we de aanvang van brabbelen en woordproductie bij kinderen met een hersenstamimplantaat (ABI) in vergelijking met kinderen met een cochleair implantaat (CI) en kinderen zonder gehoorproblemen (NH). De aanvang van het canoniek brabbelen (brabbelonset) werd berekend op 2 verschillende manieren: CBR^{syI} en $tCBR^{syI}$. De aanvang van woordproductie (wordonset) werd beschouwd als de leeftijd waarop kinderen hun eerste tien verschillende woorden produceerden.

Onze resultaten toonden aan dat de kinderen met ABI anderhalf tot twee jaar na implantatie zowel de brabbelonset als de wordonset bereiken. Hun chronologische leeftijd is op dat moment tussen drieënhalve en vier jaar. In de literatuur werd tot dusver reeds, zonder meer, gesteld dat canonieke brabbels en woorden verschijnen in de spraakproductie van kinderen met ABI (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; V. Colletti et al., 2004; Eisenberg et al., 2008; Puram & Lee, 2015). Faes & Gillis (2019) hebben dit dan verder gekwantificeerd door te kijken naar de proportie gesproken producties en producties met gebaren en de proporties van lexicale, prelexicale en canonieke uitingen in de gesproken producties van deze kinderen. De resultaten van deze studie voegen hier een precieze bepaling van de eerste twee mijlpalen in de vroege taalontwikkeling aan toe alsook een vergelijking met kinderen met NH en CI.

Kinderen met ABI bereiken de brabbelonset significant later dan kinderen met NH die even lang horen. De wordonset is bovendien vroeger bij kinderen met NH die even lang horen als kinderen met ABI, maar die trend is niet statistisch significant. Er zijn een aantal mogelijke verklaringen voor deze bevindingen. Eerst en vooral is er een groot verschil wat betreft de chronologische leeftijd van de kinderen op het moment dat ze de wordonset bereiken: ABI1 is 41 maanden oud, ABI2 49 maanden en de kinderen met NH gemiddeld slechts 15,77 maanden oud. De motorische en cognitieve ontwikkeling is veel priller bij de kinderen met NH dan bij de kinderen met ABI, wat kan verklaren waarom er geen verschil is tussen de twee groepen kinderen voor wat betreft de wordonset. Ten tweede, de resultaten toonden aan dat de kinderen met ABI significant later beginnen brabbelen, maar dat hun wordonset gelijkend is aan die van kinderen met NH met dezelfde hoorleeftijd. Molemans (2011) heeft laten zien dat kinderen met een CI bepaalde fasen in hun prelexicale ontwikkeling (zo goed als) “overslaan”, waardoor ze sneller de brabbelonset bereiken en op die manier in mindere mate verschillen wat betreft de leeftijd waarop ze canonieke brabbels beginnen produceren. Het zou kunnen dat een gelijkaardige trend aanwezig is bij de kinderen met ABI, maar dan op woordniveau en dat de periode tussen canoniek brabbelen en eerste woorden korter is bij deze kinderen in vergelijking met kinderen met NH.

Wat betreft de vergelijking met kinderen met CI, toonden onze resultaten aan dat kinderen met ABI significant later de brabbel- én wordonset bereiken, en dat zowel wanneer de

kinderen vergeleken werden op hoorleeftijd als op chronologische leeftijd. Een verklaring voor de verschillen op chronologische leeftijd zouden te vinden kunnen zijn in de gemiddeld één jaar latere implantatieleeftijd van de kinderen met ABI. Maar, ook bij de vergelijking op hoorleeftijd zien we voor alle analyses een significant verschil opduiken. Een andere verklaring zou kunnen liggen in het type implantaat en de input daarvan. Voorlopig is er nog te weinig geweten over de precieze impact van het type implantaat op de taalontwikkeling. Nog een andere mogelijke verklaring zou kunnen liggen in het gebruik van gebarentaal. Aangezien ze later geïmplantieerd werden, zijn de kinderen met ABI veel bedrevener in gebarentaal dan de kinderen met CI. Echter, in een vergelijking tussen kinderen met CI die in meer of mindere mate gebarentaal gebruiken, overtreffen de kinderen met minder gebarentaal hun gebarende leeftijdsgenootjes wat bijvoorbeeld de gesproken woordenschatontwikkeling betreft (Geers et al., 2017; Geers, Nicholas, & Sedey, 2003). Het zou kunnen dat een gelijkaardig effect zich voordoet bij de kinderen met ABI.

Er is nog veel meer onderzoek nodig om inzicht te krijgen in de taalontwikkeling van kinderen met ABI. In vergelijking met de literatuur over kinderen met CI vormt deze studie samen met de bestaande literatuur slechts de eerste aanzetten. Onze resultaten moeten dan ook voorzichtig geïnterpreteerd worden. Het zou goed zijn om in de toekomst grotere groepen kinderen met ABI op te volgen om op die manier meer verschillende aspecten van hun taalontwikkeling (in meer detail) te bestuderen. Verder is het belangrijk om in het achterhoofd te houden dat ABI2 de brabbelonset en woordonset meteen in de eerste video-opname bereikte. De kans is dus reëel dat zij de brabbelonset en woordonset vroeger bereikt heeft dan op een hoorleeftijd van 22 maanden (chronologische leeftijd 49 maanden), net zoals ABI1. Toch kunnen de resultaten van deze paper alvast indicatief zijn. Kinderen met ABI bereiken wel degelijk de eerste twee mijlpalen in taalontwikkeling. Hoewel ze deze later bereiken in vergelijking met kinderen met NH en CI, kan dit voorzichtig positief zijn. In de logopedische begeleiding kunnen deze vaardigheden dan ook ingezet worden. We weten uit de literatuur van kinderen met NH en CI dat bijvoorbeeld woordenschatontwikkeling en fonologische ontwikkeling sterk gelinkt zijn (Faes & Gillis, 2016b; Stoel-Gammon, 2011; van den Berg, 2012). Door in te zetten op de woordenschatontwikkeling van kinderen met ABI, kan er op die manier bijvoorbeeld meteen ook een positief effect op fonologische ontwikkeling uitgedragen worden.

DANKWOORD

Veel dank aan de kinderen en hun ouders voor de vrijwillige deelname aan deze studie. Onze dank gaat ook uit naar L. Swinnen voor de informatie omtrent het aantal implantaties in België. Deze studie werd mogelijk gemaakt door het FWO (Fonds Wetenschappelijk Onderzoek) in Vlaanderen, met als fondsnummer 12Q6318N.

REFERENTIES

- Bayazit, Y., Kosaner, J., Cicek Cinar, B., Atac, A., Tutar, H., Gunduz, B., Altinyay, S., Gokdogan, C., Ant, A., Ozdek, A., & Goksu, N. (2014). Methods and preliminary outcomes of pediatric auditory brainstem implantation. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 123(8), 529 - 536. doi: 10.1177/0003489414525123
- Boons, T., De Raeve, L., Langereis, M., Peeraer, L., Wouters, J., & Van Wieringen, A. (2013). Expressive vocabulary, morphology, syntax and narrative skills in profoundly deaf children after early cochlear implantation. *Research in Developmental Disabilities* 34, 2008 - 2022. doi: 10.1016/j.ridd.2013.03.003
- Chapman, K.L., Hardin-Jones, M., Schulte, J., & Halter, K.A. (2001). Vocal development of 9-month-old babies with cleft palate. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44, 1268 - 1283.
- Clark, J. (1981). Uses and abuses of hearing loss classification. *American Speech-Language-Hearing Association*, 23, 493 - 500.

- Colletti, L., Shannon, R., & Colletti, V. (2014). The development of auditory perception in children following auditory brainstem implantation. *Audiology and Neurotology*, 19(6), 386 - 394. doi: 10.1159/000363684
- Colletti, L., Wilkinson, E., & Colletti, V. (2013). Auditory brainstem implantation after unsuccessful cochlear implantation of children with clinical diagnosis of cochlear nerve deficiency. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 122(10), 605 - 612. doi: 10.1177/0194599813495815a175
- Colletti, V., Carner, M., Fiorino, F., Sacchetto, L., Miorelli, V., Orsi, A., Cilurzo, F., & Pacini, L. (2002). Hearing restoration with auditory brainstem implant in three children with cochlear nerve aplasia. *Otology & Neurotology*, 23(5), 682 - 693. doi: 10.1097/00129492-200209000-00014
- Colletti, V., Fiorino, F., Carner, M., Miorelli, V., Guida, M., & Colletti, L. (2004). Perceptual outcomes in children with auditory brainstem implants. *International Congress Series*, 1273, 425 - 428. doi: 10.1016/j.ics.2004.07.047
- Duchesne, L., Sutton, A., & Bergeron, F. (2009). Language achievement in children who received cochlear implants between 1 and 2 years of age: Group trend and individual patterns. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(4), 465 - 485. doi: 10.1093/deafed/enp010
- Eisenberg, L., Hammes Gangly, D., Martinez, A., Fisher, J.M., Winter, M., Glater, J., Schrader, D.K., Loggins, J., Wilkinson, E., & The Los Angeles Pediatric ABI Team. (2018). Early communication development of children with auditory brainstem implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 23(3), 249 - 260. doi: 10.1093/deafed/eny010
- Eisenberg, L., Johnson, K., Martinez, A., DesJardin, J., Stika, C., Dzubak, D., Mahalak, M., & Rector, E. (2008). Comprehensive evaluation of a child with an auditory brainstem implant. *Otology & Neurotology*, 29(2), 251 - 257. doi: 10.1097/mao.0b013e31815a352d
- Faes, J., Gillis, J., & Gillis, S. (2016). Phonemic accuracy development in children with cochlear implants up to five years of age by using levenshtein distance. *Journal of Communication Disorders*, 59, 40 - 58. doi: 10.1016/j.jcomdis.2015.09.004
- Faes, J., & Gillis, S. (2016a). Taalontwikkeling na vroege cochleaire implantatie: Uitkomsten op lange termijn in vergelijking met normaalhorende leeftijdsgenoten. *Logopedie*, 29(3), 15 - 26.
- Faes, J., & Gillis, S. (2016b). Word initial fricative production in children with cochlear implants and their normally hearing peers matched on lexicon size. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 30(12), 959 - 982. doi: 10.1080/02699206.2016.1213882
- Faes, J., & Gillis, S. (2019). Auditory brainstem implantation in children: Effect on speech production. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 119, 103 - 112. doi: 10.1016/j.ijporl.2019.01.014
- Geers, A., Mitchell, C., Warner-Czyz, A., Wang, N., Eisenberg, L., & Team, C.I. (2017). Early sign language exposure and cochlear implantation benefits. *Pediatrics*, 140(1), e20163489. doi: 10.1542/peds.2016-3486
- Geers, A., Nicholas, J., & Sedey, A. (2003). Language skills of children with early cochlear implantation. *Ear and Hearing*, 24, 46S - 58S. doi: 10.1097/01.AUD.0000051689.57380.1B
- Gillis, S. (2017). Speech and language in congenitally deaf children with a cochlear implant. In A. Bar-On & D. Ravid (Eds.), *Handbook of communication disorders: Theoretical, empirical and applied linguistic perspectives*. Berlin: Mouton De Gruyter.
- Huttenlocher, J., Haight, W., Bryk, A., Seltzer, M., & Lyons, T. (1991). Early vocabulary growth: Relation to language input and gender. *Developmental Psychology*, 27(2), 236 - 248. doi: 10.1006/pmed.1998.0301
- Kind en Gezin. (2015). Het kind in vlaanderen 2015 - retrieved from <http://www.Kindengezin.Be/img/kiv2015.Pdf>.
- Kind en Gezin. (2019). <https://http://www.Kindengezin.Be>. 05/04/2019

- Koopmans-van Beinum, F., Clement, C., & van den Dikkenberg-Pot, I. (2001). Babbling and the lack of auditory speech perception: A matter of coordination? *Developmental Science*, 4, 61 - 70.
- Koopmans-van Beinum, F., & van der Stelt, J. (1986). Early stages in the development of speech movements. In B. Lindblom & R. Zetterström (Eds.), *Precursors of early speech* (pp. 37 - 50). New York: Stockton.
- Lundin, K., Stillesjö, F., Nyberg, G., & Rask-Andersen, H. (2016). Experiences from auditory brainstem implantation (abis) in four paediatric patients. *Cochlear Implants International*, 17(2), 109 - 115. doi: 10.1080/14670100.2016.1142693
- Lynch, M.P., Oller, K., Steffens, M.L., Levine, S.L., Basinger, D.L., & Umbel, V. (1995). Onset of speech-like vocalizations in infants with down syndrome. *American Journal of Mental Retardation*, 100, 68 - 86.
- MacWhinney, B. (2000). *The childe project: Tools for analyzing talk*. Mahwah: NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Molemans, I. (2011). *A longitudinal investigation of aspects of the prelexical speech repertoire in young children acquiring dutch: Normally hearing children and hearing-impaired children with a cochlear implant*. (PhD), University of Antwerp, Antwerp.
- Molemans, I., Van den Berg, R., Van Severen, L., & Gillis, S. (2012). How to measure the onset of babbling reliably? *Journal of Child Language*, 39(3), 523 - 552. doi: 10.1017/S0305000911000171
- Molemans, I., Van Severen, L., Van den Berg, R., Govaerts, P., & Gillis, S. (2010). Spraakzaamheid van nederlandstalige baby's en peuters: Longitudinale spontane spraakdata. *Logopedie*, 23(1), 12 - 23.
- Noij, K., Kozin, E., Sethi, R., Shah, P., Kaplan, A., Herrmann, B., Remenschneider, A., & Lee, D. (2015). Systematic review of nontumor pediatric auditory brainstem implant outcomes. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 153(5), 739 - 750. doi: 1.1177/0194599815596929
- Oller, K. (2000). The grounding of vocal and gestural development in biology and experience: Physical foundations for speech and sign language. In K. Oller (Ed.), *The emergence of the speech capacity* (pp. 112 - 121). London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Oller, K., & Eilers, R.E. (1988). The role of audition in infant babbling. *Child Development*, 59, 441 - 449.
- Otto, S., Brackmann, D., Hitzelberger, W., Shannon, R., & Kuchta, J. (2002). Multichannel auditory brainstem implant: Update on performance in 61 patients. *Journal of Neurosurgery*, 96(6), 1063 - 1071. doi: 10.3171/jns.2002.96.6.1063
- Otto, S., Shannon, R., Wilkinson, E., Hitzelberger, W., McCeery, R., Moore, J., & Brackmann, D. (2008). Audiological outcomes with the penetrating electrode auditory brainstem implant. *Otology & Neurotology*, 29(8), 1147 - 1154. doi: 10.1097/MAO.0b013e31818becb4
- Puram, S., & Lee, D. (2015). Pediatric auditory brainstem implant surgery. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 48, 1117 - 1148. doi: 10.1016/j.otc.2015.07.013
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Vienne, Austria: R foundation for statistical computing. Retrieved from <http://www.R-project.org/>
- Schauwers, K. (2006). *Early speech and language development in deaf children with a cochlear implant: A longitudinal investigation*. (PhD), University of Antwerp, Antwerp.
- Sennaroglu, L., Colletti, V., Lenarz, T., Manrique, M., Laszig, R., Rask-Andersen, H., Gösku, N., Offeciers, E., Saeed, S., Behr, R., Bayazit, Y., Casselman, J., Freeman, S., Kileny, P., Lee, D., Shannon, R., Kameswaran, M., Hagr, A., Zarowski, A., Schwartz, M., Bilginer, B., Kishore, A., Sennaroglu, G., Yücel, E., Sarac, S., Atas, A., Colletti, L., O'Driscoll, M., Moon, I., Gärtner, L., Huarte, A., Nyberg, G., Özgen Mocan, B., Atay, G., Demir Bajin, M., Cicek Cinar, B., Özbal Batuk, M., Yarali, M., Aydinli, F., Aslan, F., Kirazli, M., Özkan, B., Hans, J., Kosaner, J., & Polak, M. (2016). Consensus statement: Long-term results of abi in children with complex inner ear malformations

- and decision making between ci and abi. *Cochlear Implants International*, 17(4), 163 - 171. doi: 10.1080/14670100.2016.1208396
- Sennaroglu, L., Sennaroglu, G., Yücel, E., Bilginer, B., Atay, G., Demir Bajin, M., Özgen Mocan, B., Yarali, M., Aslan, F., Cicek Cinar, B., Özkan, B., Özbal Batuk, M., Ekin Kirazli, C., Karakaya, J., Atas, A., Sarac, S., & Ziyal, I. (2016). Long-term results of abi in children with severe inner ear malformations. *Otology & Neurotology*, 37, 865 - 872. doi: 10.1097/MAO.0000000000001050
- Stoel-Gammon, C. (1989). Prespeech and early speech development of two late talkers. *First language*, 9, 207 - 224.
- Stoel-Gammon, C. (2011). Relationships between lexical and phonological development in young children. *Journal of Child Language*, 38, 1 - 34. doi: 10.1017/S0305000910000425
- Stoel-Gammon, C., & Cooper, J. (1984). Patterns of early lexical and phonological development. *Journal of Child Language*, 11, 247 - 271. doi: 10.1017/S0305000900005766
- Svirsky, M., Teoh, S., & Neuburger, H. (2003). Development of language and speech perception in congenitally, profoundly deaf children as a function of age at cochlear implantation. *Audiology Neuro-Otology*, 9. doi: 10.1159/000078392
- Toe, D., Beattie, R., & Barr, M. (2007). The development of pragmatic skills in children who are severely and profoundly deaf. *Deafness and Education International*, 9(2), 101 - 117. doi: 10.1002/dei.215
- Tye-Murray, N., Spencer, L., & Gilbert-Bedia. (1995). Relationships between speech production and speech perception skills in young cochlear-implant users. *Journal of Acoustic Society of America*, 98(5), 2454 - 2460.
- van den Berg, R. (2012). *Syllables inside out: A longitudinal study of the development of syllable types in toddlers acquiring dutch: A comparison between hearing impaired children with a cochlear implant and normally hearing children.* (PhD), University of Antwerp, Antwerp.
- Van Severen, L. (2012). *A large-scale longitudinal survey of consonant development in toddlers' spontaneous speech.* (PhD), University of Antwerp, Antwerp.
- Vincenti, V., Pasanisi, E., Guida, M., Di Trapani, G., & Sanna, M. (2008). Hearing rehabilitation in neurofibromatosis type 2 patients: Cochlear versus auditory brainstem implantation. *Audiology and Neurotology*, 13, 273 - 280. doi: 10.1159/000115437
- Watson, L., Archbold, S., & Nikolopoulos, T. (2006). Children's communication mode five years after cochlear implantation: Changes over time according to age at implant. *Cochlear Implants International*, 7, 77 - 91. doi: 10.1179/146701006807508061

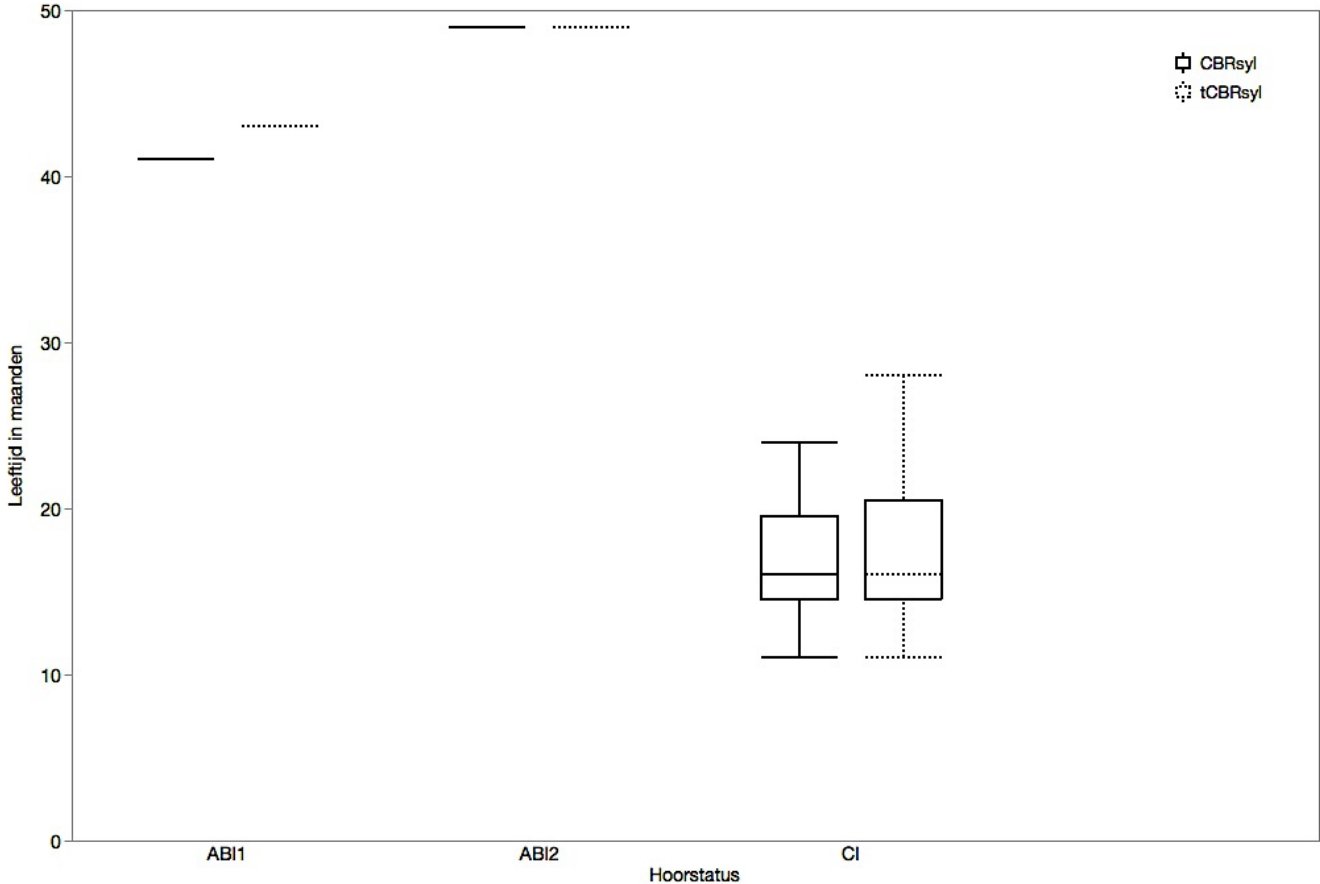
TABELLEN

Tabel 1. Individuele kenmerken kinderen met een CI

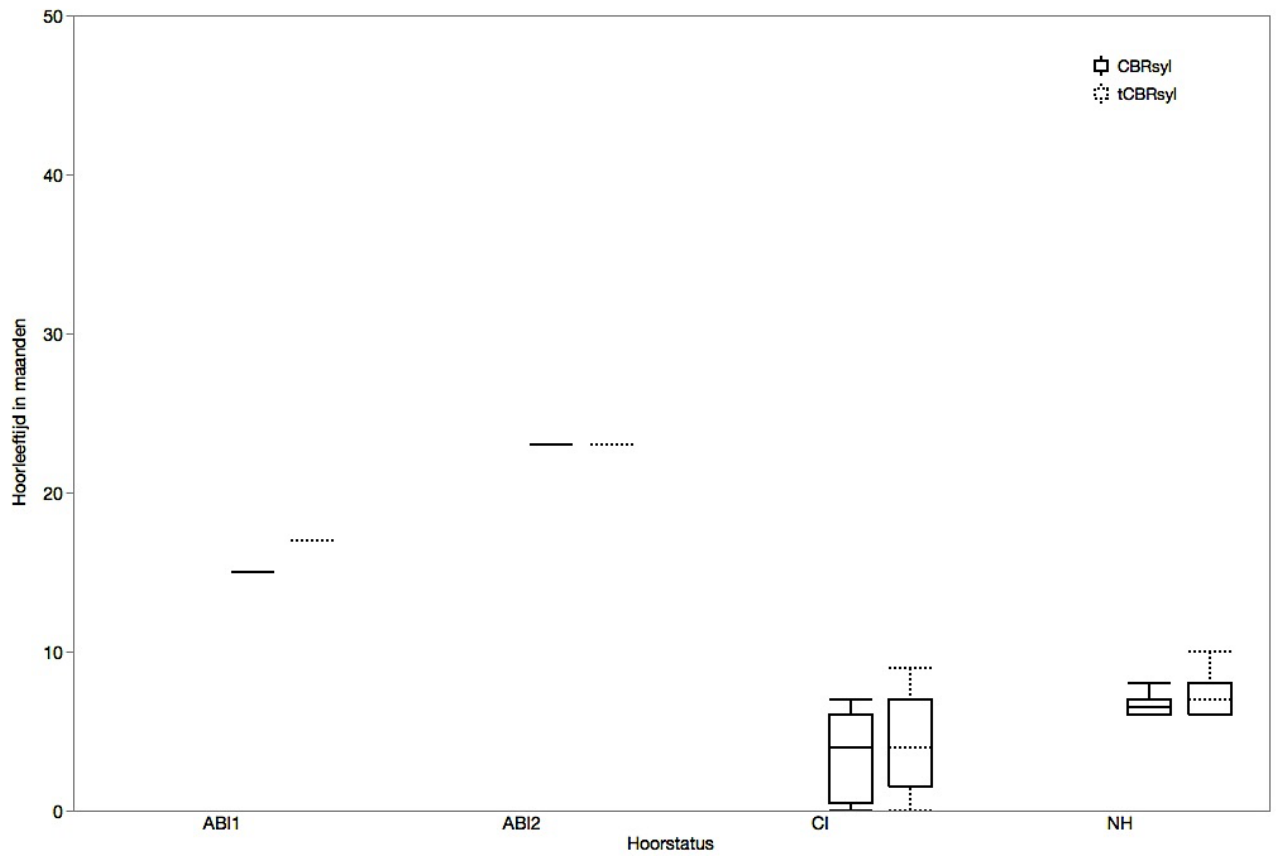
ID	Gehoorverlies (PTA)	PTA met 2 jaar na CI	Leeftijd 1 ^e CI	Leeftijd activatie 1 ^e CI	Leeftijd 2 ^e CI
CI1	120	35	1;1	1;3	6;3
CI2	120	27	0;6	0;8	4;8
CI3	115	25	0;10	1;0	5;10
CI4	113	42	1;6	1;7	-
CI5	93	32	1;5	1;6	6;4
CI6	120	37	0;9	0;10	-
CI7	117	23	0;5	0;6	1;3
CI8	112	42	1;7	1;9	-
CI9	103	28	0;9	0;10	1;11
<i>Gemiddelde</i>	<i>112.56</i>	<i>32.33</i>	<i>1;0</i>	<i>1;1</i>	<i>4;4</i>
<i>SD</i>	<i>9.12</i>	<i>7.11</i>	<i>0;5</i>	<i>0;5</i>	<i>2;3</i>

PTA = Pure Tone Average (in dB HL = decibel hearing level)
 Leeftijden worden voorgesteld als jaren;maanden
 - = geen 2^e implantaat

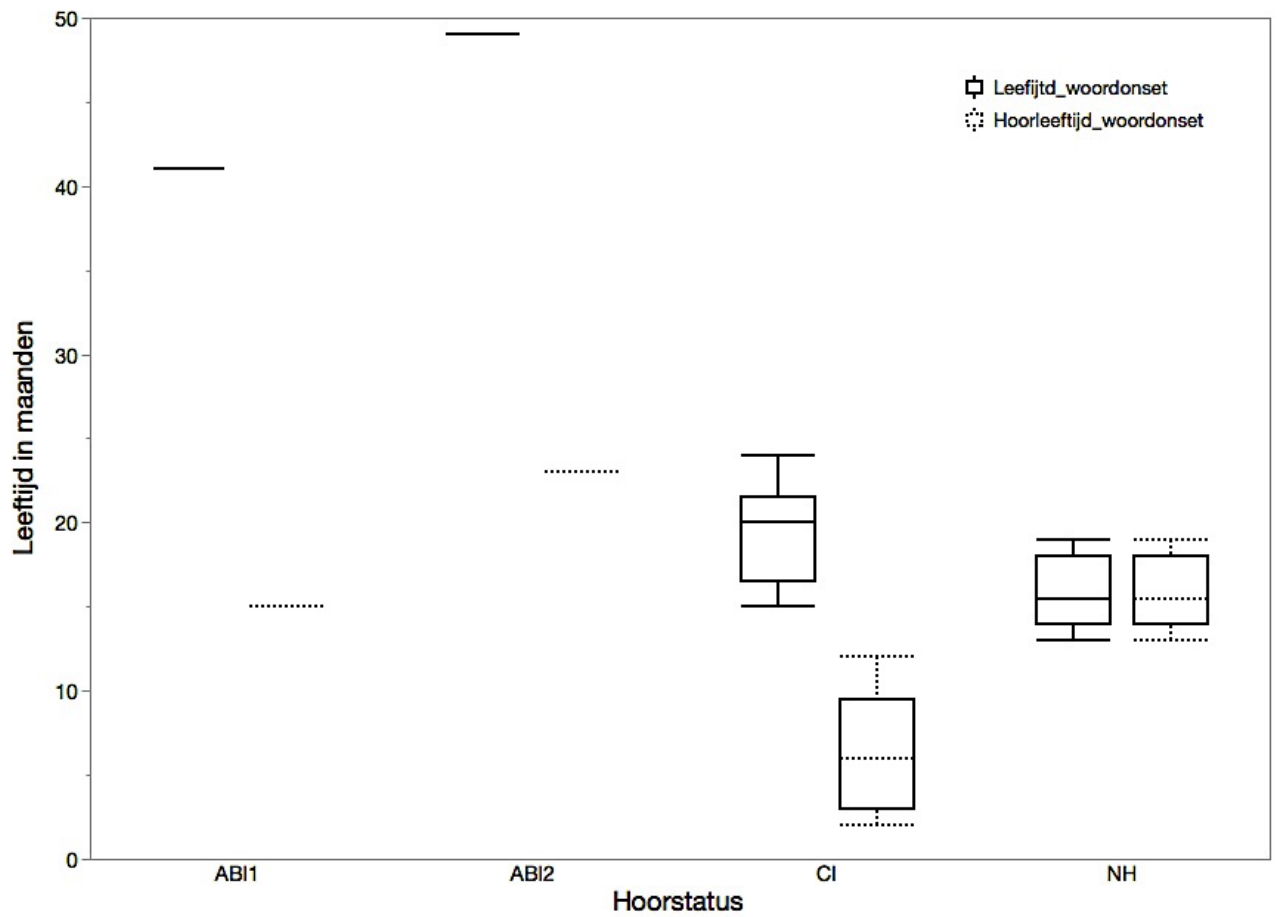
FIGUREN



Figuur 1. CBR^{syl} en tCBR^{syl} – vergelijkingen op chronologische leeftijd



Figuur 2. CBR^{syI} en tCBR^{syI} – vergelijkingen op hoorleeftijd



Figuur 3. Woordonset – vergelijking op leeftijd en hoorleeftijd