

HERSENSTAMIMPLANTATIE BIJ KINDEREN: WAT WETEN WE (NIET) EN WAT IS HET EFFECT DAARVAN IN DE PRAKTIJK?

Auteurs

Jolien Faes

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

Hersenstamimplantatie is een relatief recent hoorhulpmiddel voor kinderen. Kinderen met een misvormde of verbeende cochlea en/of met een afwezige of beschadigde gehoorzenuw, kunnen sinds begin deze eeuw een hersenstamimplantaat krijgen. Studies toonden al aan dat er een verbetering van de geluids- en spraakperceptie verwacht kan worden na implantatie. Ook voor spraakproductie tonen de eerste studies aan dat het implantaat een positief effect heeft. Maar, uit deze studies blijkt ook dat er een aanzienlijke individuele variatie is en dat die positieve gevolgen voor spraakperceptie –en productie slechts voor een beperkt deel van de kinderen te bereiken lijkt. Verder lijkt de literatuur aan te tonen dat de spreekvaardigheden van kinderen met een hersenstamimplantaat ver onder die van kinderen zonder gehoorverlies en kinderen met een cochleair implantaat blijven. Tot slot is het noodzakelijk om voorzichtig te zijn met deze vaststellingen, aangezien er nog heel erg veel *niet* geweten is over de taalontwikkeling van kinderen met een hersenstamimplantaat. In dit overzichtsartikel gaan we in op wat we wel en niet weten en op de impact daarvan op de logopedische begeleiding van deze kinderen.

Trefwoorden: Hersenstamimplantatie, ABI, logopedie, spraakperceptie, spraakproductie

Gemiddeld gezien worden er 2 per 1000 kinderen geboren met een gehoorverlies van meer dan 40 dB, wat overeenkomt met een matig gehoorverlies of meer (Clark, 1981; De Raeve, 2016; Kind en Gezin, 2015). Ongeveer de helft van deze kinderen heeft een ernstig tot zeer ernstig gehoorverlies van meer dan 70 dB (De Raeve, 2016), wat een grote invloed heeft op hun gesproken taalontwikkeling. Dankzij neonatale hoortesten wordt het gehoorverlies van de meeste van deze kinderen erg vroeg gedetecteerd. Voor Vlaanderen, bijvoorbeeld, testte Kind en Gezin in 2019 94.2% van alle pasgeborenen. Doordat 3.7% van de pasgeborenen elders getest werden, werden er maar 2.1% van de pasgeborenen niet bereikt (Kind en Gezin, 2020).

Door de vroege detectie van gehoorverlies kan er ook meteen gekeken worden naar hulpmiddelen ter ondersteuning. De plaats waar het gehoorverlies zich situeert in het oor, bepaalt in grote mate welke types hoortoestellen in aanmerking komen. Wanneer we spreken over een (ernstig tot zeer ernstig) gehoorverlies dat zich in het binnenoor situeert (sensorineuraal gehoorverlies), dienen cochleaire implantaten (CI) en hersenstamimplantaten (*auditory brainstem implants*, ABI) zich aan. In dit overzicht zullen we ingaan op wat we weten over hersenstamimplantatie bij volwassenen en kinderen en het effect daarvan op de logopedische praktijk.

HERSENSTAMIMPLANTATIE: VAN 'VROEGER' TOT NU Hersenstamimplantaat (ABI) of cochleair implantaat (CI)?

In het binnenoor kunnen verschillende afwijkingen zorgen voor sensorineuraal gehoorverlies. De precieze plaats waar het probleem zich situeert, bepaalt ook welk type implantaat in aanmerking komt voor remediatie. Wanneer het gehoorverlies veroorzaakt wordt door een misvorming of afwezigheid van de trilhaartjes in het slakkenhuis (cochlea), is cochleaire implantatie een mogelijk therapie. Wanneer het gehoorverlies een gevolg is van een afwezige gehoorzenuw of van een verbeend of misvormde cochlea, is een hersenstamimplantaat een mogelijkheid.

Cochleaire implantaten en hersenstamimplantaten bestaan uit 2 delen: (1) een uitwendige, externe deel, dat identiek is voor beide types implantaten, en (2) een intern gedeelte, wat voor elk type implantaat uniek is, maar een gelijksoortige werking heeft. Het externe deel van beide implantaten bestaat uit een microfoon die het geluid opvangt en het doorgeeft aan een spraakprocessor. Bij een cochleair implantaat worden vervolgens elektroden in de cochlea geactiveerd, die de functie van de afwezige of beschadigde trilhaartjes overnemen. Die elektroden zorgen voor een rechtstreeks stimulatie van de gehoorzenuw. Bij een hersenstamimplantatie worden de elektroden rechtstreeks op de hersenstam geplaatst, waarbij dus de volledige cochlea en gehoorzenuw omzeild worden (Puram & Lee, 2015). De elektroden zorgen dan voor een rechtstreekse stimulatie van de cochleaire nucleus van de hersenstam.

Hersenstamimplantatie: een geschiedenis

Aan het einde van de jaren '80 van de vorige eeuw werd het hersenstamimplantaat ontwikkeld. De eerste implantatie gebeurde bij een volwassen vrouw met neurofibromatosis type II (NF2) als gevolg van het verwijderen van een tumor ter hoogte van de gehoorzenuw (Edgerton, House, & Hitselberger, 1982). Sinds de jaren '90 werden steeds meer volwassenen met andere binnenoopathologieën geïmplantieerd met een hersenstamimplantaat (V. Colletti, Shannon, Carner, Veronese, & Colletti, 2009; Moeller, 2006). Het gaat dan onder meer over volwassenen met een cochleaire aplasie of aplasie van de gehoorzenuw. Onderzoek wees vervolgens zelfs uit dat spraakperceptie na hersenstamimplantatie beter is bij volwassenen zonder een NF2 diagnose (V. Colletti et al., 2005; V. Colletti et al., 2009; Sennaroglu, Colletti, et al., 2016). De meeste volwassenen met een hersenstamimplantaat kunnen spraak en geluid detecteren en identificeren, en zijn in staat tot open-set spraakperceptie, eventueel gecombineerd met liplezen (onder meer V.

Colletti et al., 2004; V. Colletti et al., 2009; Matthies et al., 2013; Nevison et al., 2002; Otto, Brackmann, Hitselberger, Shannon, & Kuchta, 2002; Sanna, Khrais, Guida, & Falcioni, 2006; Schwartz, Otto, Shannon, Hitselberger, & Brackmann, 2008).

In 2001 vonden de eerste twee hersenstamimplantaties bij kinderen (3 en 4 jaar oud) plaats in Italië (V. Colletti, Fiorino, Sacchetto, Miorelli, & Carner, 2001). Er werden sindsdien enkele honderden kinderen geïmplantieerd in Europa, voornamelijk in Italië en Turkije (L. Colletti, Shannon, & Colletti, 2014; Puram & Lee, 2015; Sennaroglu, Sennaroglu, et al., 2016). In de VS gebeurde de eerste implantatie bij een kind in 2012 en worden er sindsdien klinische studies uitgevoerd in 4 geselecteerde centra (Puram & Lee, 2015).

Volgens de cijfers van het RIZIV waren er in België in de periode 2015-2018 acht kinderen jonger dan 5 jaar die een ABI kregen. Exacte cijfers over het aantal kinderen die in aanmerking komen voor ABI in Vlaanderen zijn er bij ons weten niet voorhanden. Maar volgens Kaplan et al. (2015) komt ongeveer 2.1% van de pasgeborenen met een bilateraal gehoorverlies van minimaal 70 dBHL in aanmerking voor een ABI. Met een gemiddeld aantal geboortes in Vlaanderen van 65,000 per jaar, kunnen we dus tentatief aannemen dat ongeveer 0.012 pasgeborenen per jaar in aanmerking komen voor ABI. Ter vergelijking: ongeveer 37 pasgeborenen komen per jaar in aanmerking voor een CI.

Hersenstamimplantatie bij kinderen is een nog tamelijke recente evolutie. Het hersenstamimplantaat is vaak een alternatief dat pas bekeken wordt na cochleaire implantatie, onder meer omwille van de grotere risico's van de chirurgische ingreep bij een hersenstamimplantatie (Vincenti, Pasanisi, Guida, Di Trapani, & Sanna, 2008). Wanneer blijkt dat kinderen weinig tot geen effect hebben van hun cochleair implantaat – op vlak van gehoor en/of taalontwikkeling –, kunnen zij in aanmerking komen voor een hersenstamimplantaat (Buchman et al., 2011; L. Colletti & Zoccante, 2008; V. Colletti et al., 2004; Farhood et al., 2017; Vincenti et al., 2008). Wanneer de binnenooraanatomie cochleaire implantatie uitsluit, kan er wel meteen gekeken worden naar een hersenstamimplantaat (Hammes Ganguly, Schrader, & Martinez, 2019). Verder zijn er ook heel wat gevallen bekend waarin kinderen zowel een cochleair implantaat hebben als een hersenstamimplantaat. Sennaroglu, Colletti, et al. (2016) wijzen er in hun consensus statement op dat kinderen met een cochleair implantaat die wel goede hoordrempels bereiken, maar weinig vooruitgang lijken te boeken in hun gesprokene taalontwikkeling, gebaat kunnen zijn met een hersenstamimplantaat. Volgens Friedman, Asfour, Shapiro, Thomas Roland, & Waltzman (2018) lijkt er zelfs een samenwerking te zijn tussen beide implantaten, al is er nog veel onderzoek nodig om het precieze effect van beide implantaten te begrijpen.

KINDEREN MET EEN HERSENSTAMIMPLANTAAT (ABI)

Sinds begin deze eeuw krijgen steeds meer kinderen een hersenstamimplantaat (eventueel na een periode van cochleaire implantatie). Net zoals bij volwassenen, is er bij kinderen heel wat variatie in de resultaten op vlak van spraakperceptie en spraakproductie. Deze variatie valt voorlopig slechts heel gedeeltelijk te verklaren (Lundin, Stillesjö, Nyberg, & Rask-Andersen, 2016). Factoren waarvan wel al geweten zijn dat ze een positieve invloed hebben op zowel spraakperceptie als spraakproductie, zijn gelijkaardig aan die bij kinderen met een cochleair implantaat: vroege implantatie, een lagere gehoordrempel met implantaat en de afwezigheid van bijkomende motorische en/of cognitieve problemen.

Effect op spraakperceptie

Kinderen met een hersenstamimplantaat bereiken gemiddeld een gehoordrempel (*Pure Tone Average PTA*) tussen 30 en 60 dB HL (Sennaroglu, Colletti, et al., 2016). Zo liggen de gehoordrempels bijvoorbeeld tussen 30 en 50 dB in Choi, Song, Jeon, Lee, & Chang (2011), tussen 30 en 40 dB in Eisenberg et al. (2018), tussen 20 en 50 dB in Teagle, Henderson, He, Ewend, & Buchman (2018) en tussen 30 en 45 dB in van der Straaten et al. (2019). Een

literatuuroverzicht van da Costa Monsanto et al. (2014) wijst uit dat 112 van de 120 kinderen en jongeren onder de 18 jaar (93%) omgevingsgeluid waarnemen. Perceptie van spraak en omgevingsgeluid kan in het algemeen verwacht worden in het eerste jaar na implantatie, maar dat verschilt toch erg per individu, gaande van 2 weken na implantatie tot zelfs pas 18 maanden implantatie (Sung et al., 2018; Teagle et al., 2018).

Spraakperceptie van kinderen (en volwassenen) wordt vaak in kaart gebracht door middel van CAP scores (*Categories of Auditory Performance*) (Archbold, Lutman, & Marshall, 1995). CAP is een zeven-punten schaal waarop perceptuele mogelijkheden worden uitgezet:

score 0	geen gewaarwording van omgevingsgeluid
score 1	gewaarwording van omgevingsgeluid
score 2	reactie op spraak
score 3	herkennen van omgevingsgeluid
score 4	onderscheiden van ten minste 2 spraakklanken
score 5	begrijpen van simpele zinnen, zonder liplezen
score 6	begrijpen van conversatie met een bekende spreker, zonder liplezen
score 7	telefoneren met een bekende spreker

Studies wijzen uit dat een aantal kinderen met een hersenstamimplantaat een CAP-score 5 tot 7 kunnen bereiken, wat overeenstemt met open-set spraakperceptie. De tijd om deze score te bereiken is wel aanzienlijk. Zo noteerden Aslan et al. (2020) vijf jaar na implantatie een gemiddelde CAP-score van 5. Ook Yucel, Aslan, Ozkan, & Sennaroglu (2015) vonden CAP-scores 5 of 6 na meer dan 6 jaar gebruik van het hersenstamimplantaat. Sommige kinderen kunnen echter al vroeger open-set spraakperceptie bereiken: twee kinderen drieënhalftot vijf jaar na implantatie (van der Straaten et al., 2019), 7 kinderen na 3 jaar implantatiegebruik (L. Colletti et al., 2014), en 1 kind zelfs na 18 maanden (Bayazit et al., 2014).

Het is belangrijk om te weten dat het hier echter alleen gaat over kinderen in de meest gunstige situatie. Dat zijn kinderen met een vroege implantatieleeftijd, een lage gehoordrempel na implantatie en zonder extra motorische en/of cognitieve beperkingen. Uit onderzoek van Aslan et al. (2020) bleek immers dat kinderen die vroeg geïmplanteerd werden (voor hun derde verjaardag) open-set spraakperceptie bereiken en dus woorden en zinnen kunnen verstaan zonder liplezen. De groep kinderen met een hersenstamimplantaat geïmplanteerd na hun derde verjaardag was 5 jaar later enkel in staat om omgevingsgeluid te identificeren. Verder is de spraakperceptie van kinderen met een hersenstamimplantaat sterk gecorreleerd met hun gehoordrempels met implantaat. Sennaroglu, Sennaroglu, et al. (2016) toonden aan dat kinderen met gehoordrempels onder 40 dB met hersenstamimplantaat allemaal een CAP-score van 5 en zelfs meer bereiken, terwijl kinderen met gehoordrempels boven 40 dB hoogstens CAP-score 5 behalen. Tot slot toonden L. Colletti et al. (2014) aan dat de aan- of afwezigheid van bijkomende motorische en/of cognitieve problemen bepalend zijn voor de ontwikkeling van spraakperceptie na implantatie.

Effect op spraakproductie

Het mag duidelijk zijn dat het voor kinderen met een hersenstamimplantaat niet evident is om open-set spraakperceptie te bereiken. Enkel de *better performing* kinderen lijken hiertoe in staat te zijn en dat heeft ook ontegensprekelijke gevolgen voor de spraakproductie. De vraag is: waartoe zijn kinderen met een hersenstamimplantaat in staat wat betreft gesproken taalontwikkeling. Hoewel het erop lijkt dat de kinderen met hersenstamimplantaat een redelijke taal- en spraakontwikkeling doormaken, blijft voorzichtigheid zeker geboden. Er is nog maar beperkt onderzoek gebeurd tot dusver, en er zijn veel aspecten van de taalontwikkeling waarover we weinig tot niets weten.

Kinderen met hersenstamimplantaten (zonder bijkomende beperkingen, vroeg geïmplanteerd en met lage gehoordrempels na implantatie) starten met vocaliseren en brabbelen enige tijd

na hun implantatie en beginnen vervolgens woorden en soms zelfs korte zinnestelsels te produceren (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; Faes, Boonen, & Gillis, 2019; Faes & Gillis, 2019a; Puram & Lee, 2015). Faes & Gillis (2019a) tonen aan dat twee kinderen met hersenstamimplantaat minstens even vaak gesproken uitingen dan gebaarde uitingen gebruiken in alledaagse situaties. Bovendien blijken diezelfde kinderen binnen de 2 jaar na implantatie al te brabbelen en minstens 10 woorden te produceren (Faes et al., 2019). Wanneer er verder naar hun gesproken woordenschatontwikkeling gekeken werd, bleek dat zij een sterke expansie van gesproken woordenschat doormaken in hun spontane taalproducties (Faes & Gillis, 2019b). Naarmate ze hun implantaat langer dragen, meer woorden kennen en ouder worden, trachten ze ook steeds vaker complexere woorden te produceren: zowel op vlak van het aantal fonemen als het aantal syllaben zijn de doelwoorden die kinderen met een hersenstamimplantaat beogen steeds complexer (Faes & Gillis, in press).

Wanneer deze ontwikkelingen worden vergeleken met kinderen zonder gehoorverlies en met kinderen met een cochleair implantaat, wordt het weliswaar duidelijk dat de gesproken taalontwikkeling van kinderen met een hersenstamimplantaat veel stroever verloopt. Zo tonen Faes et al. (2019) aan dat de hoorleeftijd waarop de brabbelfase en de eerste woordjes bereikt worden significant later ligt bij kinderen met een hersenstamimplantaat. En, zelfs 4 jaar na implantatie is de woordenschatomvang van kinderen met een hersenstamimplantaat nog steeds systematisch kleiner dan 95% van de kinderen zonder gehoorverlies en kinderen met een cochleair implantaat met eenzelfde hoorleeftijd (Faes & Gillis, 2019b). Dit geldt voor kinderen zonder bijkomende motorische en/of cognitieve problemen. Als er gekeken wordt naar de expressieve taalvaardigheden van kinderen met een hersenstamimplantaat met bijkomende problemen, liggen de resultaten nog een aanzienlijk stuk lager (van der Straaten et al., 2019). Volgens van der Straaten et al. (2019) situeert de expressieve taalvaardigheden van kinderen met een hersenstamimplantaat zonder bijkomende problemen zich tussen die van kinderen met een cochleair implantaat met en zonder bijkomende beperkingen.

Als we naar de fonologische ontwikkeling gaan kijken, is er al een en ander geweten. Kinderen met een hersenstamimplantaat produceren woorden met een tot twee syllabes en verschillende consonanten en vocalen (Eisenberg et al., 2018; Faes & Gillis, Submitted; Teagle et al., 2018). Voor vocalen is er voorlopig weinig lijn te trekken in de bevindingen: de individuele verschillen overheersen, en enige systematiek over kinderen heen kon tot dusver amper gevonden worden (Faes & Gillis, Submitted; Teagle et al., 2018). Voor de consonanten lijkt het erop dat voornamelijk labiale en coronale consonanten, en occlusieven, nasalen en halfvocalen verworven worden door kinderen met hersenstamimplantaten (Eisenberg et al., 2018; Faes & Gillis, Submitted; Teagle et al., 2018). Daarin lijken deze kinderen op kinderen zonder gehoorverlies en kinderen met een cochleair implantaat: ook bij deze groepen komen vooral deze types consonanten eerst voor (Beers, 1995; Schauwers, Gillis, & Govaerts, 2008; Serry & Blamey, 1999; Van Severen et al., 2013).

Echter, de accuraatheid van deze consonant- en vocaalproducties ligt relatief laag (Eisenberg et al., 2018; Faes & Gillis, Submitted; Teagle et al., 2018). Zelfs als er gekeken wordt naar correctheid van klankkenmerken, zoals wijze of plaats van articulatie bij consonanten, ligt de accuraatheid lager dan 25% twee jaar na implantatie en rond 50% bij 1 kind na drie jaar implantatiegebruik (Teagle et al., 2018). Faes & Gillis (Submitted) stelden foneeminventarissen op en komen op gelijkaardige resultaten uit wanneer accuraatheid meegenomen werd als criterium. Veel consonanten en vocalen die in de foneeminventaris opgenomen kunnen worden als de grens van accuraatheid op 50% wordt getrokken, verdwijnen uit de foneeminventaris wanneer de grens naar minstens 75% wordt opgetrokken.

Ook op woordniveau is de accuraatheid van de spraakproducties van kinderen met een hersenstamimplantaat laag en aanzienlijk lager in vergelijking met kinderen met een cochleair implantaat en kinderen zonder gehoorverlies (Faes, Gillis, & Gillis, Submitted; Faes & Gillis, in press). Die lage accuraatheid op zowel foneem- als woordniveau wordt ook weerspiegeld in de verstaanbaarheid van kinderen met een hersenstamimplantaat. Onderzoek wijst uit dat kinderen met een hersenstamimplantaat pas 5 tot 6 jaar na implantatie verstaanbaar bevonden worden door familie en vrienden en verstaanbaar zijn voor onbekenden lijkt zeer moeilijk tot bijna onhaalbaar (Aslan et al., 2020; Sennaroglu, Sennaroglu, et al., 2016; van der Straaten et al., 2019; Yucel et al., 2015).

NAAR DE LOGOPEDISCHE PRAKTIJK

Het is duidelijk dat expressieve taalontwikkeling veel vergt van kinderen met een hersenstamimplantaat. Zelfs voor kinderen in de meest gunstige situatie is er vele jaren na implantatie een aanzienlijk verschil met kinderen met een cochleair implantaat en kinderen zonder gehoorverlies. Bovendien lijkt het erop dat de visuele ondersteuning voor kinderen met een hersenstamimplantaat nodig blijft, en dus ook in de logopedische begeleiding van deze kinderen versterkt moet worden (Hammes Ganguly et al., 2019).

Over de woordenschatontwikkeling en de fonologische ontwikkeling van kinderen met een hersenstamimplantaat zijn er intussen al wetenschappelijke rapporten verschenen. Maar het gaat telkens over studies met kleine groepen en over een relatief beperkte periode in de ontwikkeling. Dat is niet te verwonderen aangezien hersenstamimplantatie nu eenmaal een recente ontwikkeling is en minder vaak voorkomt dan bijvoorbeeld cochleaire implantatie. Ook heeft de literatuur al aangetoond dat er erg veel variatie is tussen de kinderen met een hersenstamimplantaat. Slechts een beperkt aantal verklarende factoren zijn voorlopig geïdentificeerd, namelijk implantatieleeftijd, hoordrempels na implantatie en de verdere cognitieve en motorische ontwikkeling (Lundin et al., 2016; Sennaroglu, Colletti, et al., 2016). Maar ook deze factoren kunnen niet alle geobserveerde variatie verklaren, waardoor het moeilijk blijft om prognoses te maken. Dat bemoeilijkt ook de begeleiding van deze kinderen: er is tot op heden geen uitgewerkt protocol om als logopedist te werken met deze kinderen. En gezien de geringe kennis die we tot dusver hebben, zou dat ook nog even op zich kunnen laten wachten.

Zoals aangehaald, er zijn ook nog erg veel onopgeloste vragen. We weten bijvoorbeeld dat accuraatheid in foneem- en woordproductie laag is, maar wat zijn de foutenpatronen? Hoe zit het met de fonetiek van de klank- en woordproducties? Er zijn ook nog heel wat taalontwikkelingsgebieden waar er helemaal geen onderzoek over gebeurd is. Wat bijvoorbeeld met morfologische ontwikkeling van deze kinderen? Gebruiken ze meervouden en/of verkleinwoorden, al dan niet correct? Vervoegen zij hun werkwoorden of gebruiken ze 1 vorm per werkwoord? Is het, net zoals bij kinderen met cochleaire implantaten (Szagun, 2004), zo dat de weinig opvallende suffixen in het spraaksignaal niet opgepikt en dan ook niet geproduceerd worden? Wat met syntactische vaardigheden? Sommige kinderen produceren korte, eenvoudige zinnen (Bayazit et al., 2014; V. Colletti et al., 2002; Faes et al., 2019; Faes & Gillis, 2019a; Puram & Lee, 2015). Welke woordgroepen verschijnen wel? Welke niet? Houden de kinderen zich aan syntactische regels zoals woordvolgorde? Enz.

Alleen al het feit dat er nog zo veel vragen zijn over de ontwikkeling van kinderen met een hersenstamimplantaat, bemoeilijkt de therapie enorm. Toch zijn er uit het onderzoek al enkele voorzichtige lessen te trekken. Zo lijken kinderen met een hersenstamimplantaat zich te beperken tot mono- en disyllabische woorden (Eisenberg et al., 2018; Faes & Gillis, in press). In eerste instantie lijkt het dus aangewezen om zich daartoe te beperken. De vraag is ook: worden woorden met meer syllaben gepercipieerd? Het is belangrijk om daar niet zomaar vanuit te gaan en dus bij multisyllabische woorden ook op de perceptie ervan te werken. Bovendien lijkt er een sterke link te zijn tussen woordenschatuitbreiding (lexicale ontwikkeling) en accuraatheid in woordproductie (fonologische ontwikkeling) (Faes & Gillis, in

press), zoals dat ook voor kinderen zonder gehoorverlies en kinderen met cochleaire implantaten het geval is (Faes & Gillis, 2016; Stoel-Gammon, 2011). Hier zit een grote mogelijkheid om via lexicale ontwikkeling dus meteen ook in te spelen op fonologische ontwikkeling.

Alles samengenomen is voorlopig echter nog steeds erg onduidelijk wat er algemeen verwacht kan worden van een kind met een hersenstamimplantaat. Bepaalde aspecten van de spraak- en taalontwikkeling van kinderen met aan ABI zijn al in beperkte mate onderzocht, maar er blijven nog veel blinde vlekken over in de wetenschappelijke kennis op veel domeinen. Dat geldt echter niet alleen voor de taal en de spraak, maar bijvoorbeeld ook voor de fysiologische en neurologische fundering van ABI. De tonotopische organisatie van de cochlea is intussen grondig onderzocht en is goed in kaart gebracht. Dat is echter niet zo voor de auditieve hersenstam. In een review van de recente literatuur komt C. Vincent tot de volgende conclusie (p. 1986): “We do not know how ABIs work but they work” Vincent (2012). Voor logopedisten vatten Hamme Gangluly en collega’s (Hammes Ganguly et al., 2019) de huidige kennis van de wetenschap als volgt samen: gebruik je kennis over werken met kinderen met gehoorverlies, maar temper je verwachtingen. Er is immers uit onderzoek gebleken dat deze kinderen minder goede resultaten behalen dan kinderen met een cochleair implantaat (Faes et al., 2019; Faes et al., Submitted; Faes & Gillis, 2019b, in press, Submitted; van der Straaten et al., 2019).

DANKWOORD

Onze dank gaat 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

- Archbold, S., Lutman, M.E., & Marshall, D.H. (1995). Categories of auditory performance. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 106(Suppl), 312 - 314.
- Aslan, F., Burcu Ozkan, H., Yücel, E., Sennaroglu, G., Bilginer, B., & Sennaroglu, L. (2020). Effects of age at auditory brainstem implantation: Impact on auditory perception, language development, speech intelligibility. *Otology & Neurotology*, 41(1), 11 - 20. doi: 10.1097/MAO.0000000000002455
- 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 Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 123(8), 529 - 536. doi: 10.1177/0003489414525123
- Beers, M. (1995). *The phonology of normally developing and language-impaired children*. Amsterdam University, Unpublished doctoral dissertation.
- Buchman, C.A., Teagle, H.F.B., Roush, P.A., Park, L.R., Hatch, D., Woodard, J., Zdanski, C., & Adunka, O.F. (2011). Cochlear implantation in children with labyrinthine anomalies and cochlear nerve deficiency: Implications for auditory brainstem implantation. *The Laryngoscope*, 121, 1979 - 1988. doi: 10.1002/lary.22032
- Choi, J., Song, M., Jeon, J., Lee, W., & Chang, J. (2011). Early surgical results of auditory brainstem implantation in nontumor patients. *The Laryngoscope*, 121, 2610 - 2618. doi: 10.1002/lary.22137
- 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., & Zocante, L. (2008). Nonverbal cognitive abilities and auditory performance in children fitted with auditory brainstem implants: Preliminary report. *The Laryngoscope*, 118, 1443 - 1448. doi: 10.1097/MLG.0b013e318173a011

- 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., Carner, M., Miorelli, V., Guida, M., Colletti, L., & Fiorino, F. (2005). Auditory brainstem implant (abi): New frontiers in adults and children. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 133, 126 - 138. doi: 10.1016/j.otohns.2005.03.022
- Colletti, V., Fiorino, F., Carner, M., Miorelli, V., Guida, M., & Colletti, L. (2004). Auditory brainstem implant as a salvage treatment after unsuccessful cochlear implantation. *Otology & Neurotology*, 25, 485 - 496. doi: 10.1097/00129492-200407000-00016
- Colletti, V., Fiorino, F., Sacchetto, L., Miorelli, V., & Carner, M. (2001). Hearing habilitation with auditory brainstem implantation in two children with cochlear nerve aplasia. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 60, 99 - 111. doi: 10.1016/S0165-5876(01)00465-7
- Colletti, V., Shannon, R., Carner, M., Veronese, S., & Colletti, L. (2009). Outcomes in nontumor adults fitted with the auditory brainstem implant: 10 years' experience. *Otology & Neurotology*, 30, 614 - 618. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181a864f2
- da Costa Monsanto, R., Bittencourt, A., Bobato Neto, N., Beilke, S., Lima, N., Lorenzetti, F., & Salomone, R. (2014). Auditory brainstem implants in children: Results based on a review of the literature. *The Journal of International Advanced Otology*, 10(3), 284 - 290. doi: 10.5152/iao.2014.135
- De Raeve, L. (2016). Cochlear implants in Belgium: Prevalence in paediatric and adult cochlear implantation. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck diseases*, 133S, S57 - S60. doi: 10.1016/j.anorl.2016.04.018
- Edgerton, B.J., House, W.F., & Hitselberger, W. (1982). Hearing by cochlear nucleus stimulation in humans. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 91, 117 - 124.
- 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
- Faes, J., Boonen, N., & Gillis, S. (2019). Hersenstamimplantatie bij kinderen: Wat is het effect op de vroege spraakproductie? *Logopedie*, 32, 9 - 19.
- Faes, J., Gillis, J., & Gillis, S. (Submitted). The speech production of children with auditory brainstem implants: How far is it from the adult equivalent?
- Faes, J., & Gillis, S. (2016). 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. (2019a). 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
- Faes, J., & Gillis, S. (2019b). Expressive vocabulary growth after pediatric auditory brainstem implantation in two cases' spontaneous productions: A comparison with children with cochlear implants and typical hearing. *Frontiers in Pediatrics*. doi: 10.3389/fped.2019.00191
- Faes, J., & Gillis, S. (in press). Word characteristics and speech production accuracy in children with auditory brainstem implants: A longitudinal triple case report. *Clinical Linguistics & Phonetics*. doi: 10.1080/02699206.2020.1838613
- Faes, J., & Gillis, S. (Submitted). Consonant and vowel production in the spontaneous speech productions of children with auditory brainstem implants.
- Farhood, Z., Nguyen, S.A., Miller, S.C., Holcomb, M.A., Meyer, T.A., & Rizk, H.G. (2017). Cochlear implantation in inner ear malformations: Systematic review of speech perception outcomes and intraoperative findings. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 156, 783 - 793. doi: 10.1177/0194599817696502

- Friedman, D.R., Asfour, L., Shapiro, W., Thomas Roland, J., & Waltzman, S. (2018). Performance with an auditory brainstem implant and contralateral cochlear implant in pediatric patients. *Audiology and Neurotology*, 23, 216 - 221. doi: 10.1159/000493085
- Hammes Ganguly, D., Schrader, D.K., & Martinez, A. (2019). Planning for and working with children with an auditory brainstem implant: What therapists need to know. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 4, 149 - 166. doi: 10.1044/2018_PERS-SIG-2018-0002
- Kaplan, A., Kozin, E., Puram, S., Owoc, M., Shah, P., Hight, A., Sethi, R., Remenschneider, A., & Lee, D. (2015). Auditory brainstem implant candidacy in the united states in children 0-17 years old. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 79, 310 - 315. doi: 10.1016/1.ijporl.2014.11.023
- Kind en Gezin. (2015). Het kind in vlaanderen 2015 - retrieved from <http://www.Kindengezin.Be/img/kiv2015.Pdf>.
- Kind en Gezin. (2020). <https://http://www.Kindengezin.Be>. 21/09/2020
- Lundin, K., Stillesjö, F., Nyberg, G., & Rask-Andersen, H. (2016). Self-reported benefit, sound perception, and quality-of-life in patients with auditory brainstem implants (abis). *Acta Oto-Laryngologica*, 136(1), 62 - 67. doi: 10.3109/00016489.2015.1079925
- Matthies, C., Brill, S., Kaga, K., Morita, A., Kumakawa, K., Skarzynski, H., Claasen, A., Hui, Y., Chiong, C., Müller, J., & Behr, R. (2013). Auditory brainstem implantation improves speech recognition in neurofibromatosis type ii patients. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery*, 75(5), 282 - 295. doi: 10.1159/000350568
- Moeller, A. (2006). History of cochlear implants and auditory brainstem implants. In A. Moeller (Ed.), *Cochlear and brainstem implants* (Vol. 64, pp. 1 - 10). Basel: Karger.
- Nevison, B., Laszig, R., Sollmann, W., Lenarz, T., Sterkers, O., Ramsden, R., Fraysse, B., Manrique, M., Rask-Andersen, H., Garcia-Ibanez, E., Colletti, V., & van Wallenberg, E. (2002). Results from a european clinical investigation of the nucleus multichannel auditory brainstem implants. *Ear and Hearing*, 23(3), 170 - 183. doi: 10.1097/00003446-200206000-00002
- Otto, S., Brackmann, D., Hitselberger, 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
- 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
- Sanna, M., Khrais, T., Guida, M., & Falcioni, M. (2006). Auditory brainstem implant in a child with severely ossified cochlea. *The Laryngoscope*, 116, 1700-1703. doi: 10.1097/01.mlg.0000231739.79208.97
- Schauwers, K., Gillis, S., & Govaerts, P. (2008). The characteristics of prelexical babbling after cochlear implantation between 5 and 20 months of age. *Ear and Hearing*, 29(4), 627 - 637. doi: 10.1097/AUD.0b013e318174f03c
- Schwartz, M., Otto, S., Shannon, R., Hitselberger, W., & Brackmann, D. (2008). Auditory brainstem implants. *Neurotherapeutics*, 5(1), 128 - 136. doi: 10.1016/j.nurt.2007.10.068
- 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
- Serry, T., & Blamey, P. (1999). A 4-year investigation into phonetic inventory development in young cochlear implant users. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *42*, 141 - 154. doi: 10.1044/jslhr.4201.141
- Stoel-Gammon, C. (2011). Relationships between lexical and phonological development in young children. *Journal of Child Language*, *38*, 1 - 34. doi: 10.1017/S0305000910000425
- Sung, J., Luk, B., Wong, T., Thong, J., Wong, H., & Tong, M. (2018). Pediatric auditory brainstem implantation: Impact on audiological rehabilitation and tonal language development. *Audiology and Neurotology*, *23*, 126 - 134. doi: 10.1159/000491991
- Szagan, G. (2004). Learning by ear: On the acquisition of case and gender marking by german-speaking children with normal hearing and with cochlear implants. *Journal of Child Language*, *31*(1), 1 - 30. doi: 10.1017/S0305000903005889
- Teagle, H.F.B., Henderson, L., He, S., Ewend, M.G., & Buchman, C.A. (2018). Pediatric auditory brainstem implantation: Surgical, electrophysiologic, and behavioral outcomes. *Ear & Hearing*, *39*, 326 - 336. doi: 10.1097/AUD.0000000000000501
- van der Straaten, T., Netten, A., Boermans, P., Briaire, J., Scholing, E., Koot, R., Malessy, M., van der Mey, A., Verbist, B., & Frijns, J. (2019). Pediatric auditory brainstem implant users compared with cochlear implant users with additional disabilities. *Otology & Neurotology*, *40*(7), 936 - 945. doi: 10.1097/MAO.0000000000002306
- Van Severen, L., Gillis, J., Molemans, I., Van den Berg, R., De Maeyer, S., & Gillis, S. (2013). The relation between order of acquisition, segmental frequency and function: The case of word-initial consonants in dutch. *Journal of Child Language*, *40*, 703 - 740. doi: 10.1017/S0305000912000219
- Vincent, C. (2012). Auditory brainstem implants: How do they work? *The Anatomical Record*, *295*, 1981 - 1986. doi: 10.1002/ar.22588
- 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
- Yucel, E., Aslan, F., Ozkan, H., & Sennaroglu, L. (2015). Recent rehabilitation experience with pediatric abi users. *The Journal of International Advanced Otology*, *11*, 110 - 113. doi: 10.5152/iao.2015.915