



Faculteit der Geneeskunde



# DE DOVEMANSOREN VAN DE AUDIoloog

**Cas Smits**



# De dovemansoren van de audioloog

*Rede*

uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van  
hoogleraar Klinische en Experimentele Audiologie  
aan de faculteit der Geneeskunde  
van de Universiteit van Amsterdam  
op woensdag 7 september 2022

door

Cas Smits

*Mevrouw de Rector Magnificus,  
Mijnheer de decaan,  
Leden van de Raad van Bestuur van het Amsterdam UMC,  
Beste collega's, familie en vrienden,*

U kent het wel. U staat op een borrel en de onvermijdelijke vraag wordt gesteld: 'wat doe jij eigenlijk voor werk?'<sup>1</sup> 'Ik ben audioloog', antwoord ik dan natuurlijk. Vaak is er dan nog wel wat meer uitleg nodig en daarna proberen de aanwezige simulanten grappig te zijn met 'hè wat zeg je?'. Maar de laatste jaren valt op dat er steeds meer mensen zijn die het écht niet hebben verstaan. En daar gaat deze oratie over: slechthorendheid.

## Audiologie

Audiologie is een relatief jong vakgebied. De term audiologie is pas een jaar of honderd in gebruik<sup>2,3</sup>. Daarvoor bestond er ook al slechthorendheid zult u begrijpen<sup>4</sup>, maar gebruikte men de term 'gehoorkunde'. De introductie van de term audiologie hangt samen met de technische mogelijkheden die ontstonden in het begin van de vorige eeuw. Met name de ontwikkelingen vanuit de telefonie lagen aan de basis van de diagnostiek en revalidatie van het gehoor<sup>5</sup>.



Dames en heren, ik wil u graag meenemen op een reis door het veelzijdige vakgebied waarin ik als klinisch fysicus audioloog inmiddels al ruim 20 jaar heb mogen vertoeven. Deze reis door de audiologie start dus circa een eeuw geleden toen de eerste echte publicaties binnen het vakgebied verschenen. Veel van wat in deze honderdjaar oude literatuur staat beschreven is nog hoogst relevant. Uiteraard was de kennis over de werking van het gehoor nog beperkt en waren er enorme technische beperkingen bij het gehooronderzoek en de gehoorrevalidatie. Ook zal ik u een reisbrochure tonen over de volgende trip: waar gaan we naartoe met de audiologie? U zult zien dat deze glossy reisbrochure u schitterende ontwikkelingen voorspiegelt en is gevuld met veel pretenties en uitmuntende ideeën. De wetenschappelijke onderzoekers zullen zo'n brochure kennen onder de naam projectaanvraag.

De audiologie houdt zich bezig met het gehoor. Dit kan zijn in de vorm van wetenschappelijk onderzoek, maar in de audiologische centra betreft het met name diagnostiek en revalidatie van het gehoor. De audioloog ziet op zijn spreekuur volwassenen en kinderen met slechthorendheid. Meestal zijn dit geen eenmalige afspraken maar blijven we patiënten hun leven lang terug zien. Persoonlijk vind ik dat wel gezellig, maar het probleem is natuurlijk dat we in de meeste gevallen de slechthorendheid niet kunnen oplossen. Sterker nog, meestal is slechthorendheid progressief en neemt dus toe in de tijd. De ultieme wens is natuurlijk dat we het probleem wel op kunnen lossen. Tot voor kort leek dit een utopie maar onder andere onderzoeken naar specifieke medicatie, gentherapie die zich op de defecte genen richt en stamceltherapie zijn veelbelovend en zouden dit in de toekomst wél mogelijk kunnen maken<sup>6,7</sup>. Vergeet echter niet dat het predicaat 'veelbelovend' weinig garanties biedt en het zeker niet belooft dat het binnen enkele jaren breed toepasbaar zal zijn<sup>8</sup>. Ik verwacht de komende jaren dan ook geen volledige verandering van de inhoud van het vakgebied. Het begrijpen en karakteriseren van gehoorverlies zal namelijk essentieel blijven.

## Meten

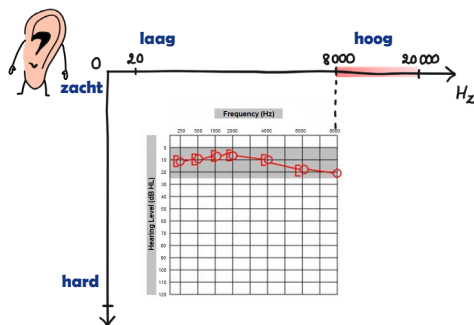
Dit brengt mij bij het begrip 'meten'. Audiologen houden namelijk van meten. 'Meten is weten' roept menigeen dan onmiddellijk, terwijl dat natuurlijk een nogal onnozele uitdrukking is. De oorspronkelijke uitdrukking is anders en luidt: 'door meten tot weten'. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Kamerlingh Onnes introduceerde deze uitdrukking



in zijn inaugurele rede in 1882<sup>9</sup>. ‘Door meten tot weten’ is een prachtige uitdrukking. In zowel de klinische als experimentele audiologie houden we ons veel bezig met meten. Inmiddels gebruiken we een breed scala aan meetinstrumenten en vormen deze nog steeds de basis in de audiologische zorg en het wetenschappelijk onderzoek.

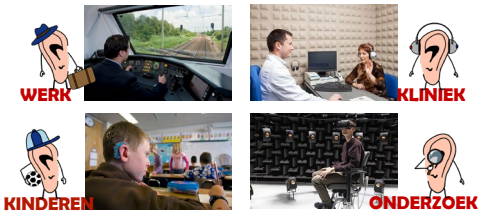
In 1925 publiceerde de Amerikaan Harvey Fletcher een artikel in the *Laryngoscope*<sup>10</sup>. Dat is een internationaal wetenschappelijk tijdschrift voor keel-, neus- en oorheelkunde. Harvey Fletcher was een briljant onderzoeker<sup>11</sup> van Bell Labs, de onderzoeksafdeling van het Amerikaanse nationale telefoniebedrijf<sup>12</sup>. In deze wetenschappelijke publicatie gaat hij in op apparatuur om het gehoor te meten, de audiometer, en het testen van het gehoor, de audiometrie. De toonaudiometer die beschreven wordt, was toen pas heel recent commercieel beschikbaar gekomen<sup>13</sup>. Met deze toonaudiometer kon een toonaudiogram worden bepaald.

Ruwweg kan het menselijk gehoor frequenties van 20 tot 20.000 Hz waarnemen. Het menselijk gehoor heeft dus een enorm bereik: de hoogste frequentie is 1000 keer hoger dan de laagste frequentie. Daarnaast kunnen zowel heel zachte als heel harde geluiden worden waargenomen. De maximale geluidsintensiteit is zelfs een biljoen keer groter dan de minimaal waarneembare geluidsintensiteit: dat is een 1 met 12 nullen. Om de weergave in het audiogram enigszins in lijn te brengen met de wijze waarop het menselijk gehoor geluiden waarneemt zijn beide assen in het audiogram logaritmisch<sup>14,15</sup>. In de figuur hieronder ziet u het toonaudiogram weergegeven.



Het valt u wellicht op dat het toonaudiogram stopt bij 8000 Hz, ver vóór de grens van het menselijk gehoor. Eén van de redenen was dat men ervan uit ging dat de frequenties boven de 8000 Hz niet of nauwelijks bijdragen aan het verstaan van spraak. Recent hebben wij<sup>16</sup> en een aantal andere onderzoeksgroepen<sup>17</sup> laten zien dat de bijdrage van deze frequenties er wel degelijk is en in sommige gevallen zelfs aanzienlijk is. Het toonaudiogram dat u hier ziet is nu nog steeds, een eeuw later, de internationale standaard om gehoorverlies te kwantificeren. Misschien iets om trots op te zijn, maar misschien ook wel een sneue constatering. Ik kom hier later nog op terug.

Fletcher geeft in het artikel aan dat hoortesten in vier categorieën onderverdeeld kunnen worden naar gelang het doel van de test<sup>10</sup>. Deze indeling is inzichtelijk en nog steeds zeer bruikbaar. Hij onderscheidt hoortesten om de geschiktheid voor bepaald werk te kunnen bepalen; hoortesten voor kinderen, om de juiste wijze van onderwijs te bepalen; hoortesten voor klinisch gebruik en hoortesten voor wetenschappelijk onderzoek.



Zoals ik u al vertelde zijn hoortesten essentieel bij vrijwel alle onderdelen van de klinische en experimentele audiologie. Daarom wil ik enkele van de categorieën die Fletcher in 1925 al noemde graag wat uitgebreider met u bespreken en plaatsen binnen de huidige context. Allereerst de audiologische testen voor wetenschappelijk onderzoek. Dit betreft testen om onze kennis te vergroten over alle aspecten van het goedgehoorde en slechthorende oor. Vaak gebruiken we hiervoor psychofysische testen waarbij de relatie tussen een bepaald geluid en de waarneming van de proefpersoon wordt bepaald, maar het kan b.v. ook een MRI-

scan zijn om hersenactiviteit in kaart te brengen. Een belangrijke rol is er ook voor vragenlijsten en testen die andere aspecten of gevolgen van slechthorendheid meten. Een aansprekend voorbeeld is het werk van collega's professor Sophia Kramer en Adriana Zekveld om de pupildiameter te gebruiken om de mate van luisterinspanning te meten<sup>18</sup>.

De afgelopen eeuw heeft het wetenschappelijk onderzoek naar de anatomie, fysiologie en werking van het gehoor gedetailleerde kennis van het goedgehoorde en slechthorende oor opgeleverd. Ook is er een breed scala aan audiologische testen ontwikkeld om specifieke eigenschappen van het gehoor te kunnen meten. Nu zou u kunnen denken dat de zorg voor mensen met een gehoorverlies hier enorm van heeft geprofiteerd. Dat is, dames en heren, slechts beperkt het geval. Het is daarom ook niet voor niets dat Fletcher een aparte categorie noemde voor klinisch audiologische testen. Ik zou dit willen definiëren als testen die direct klinische relevantie hebben. Het doel van zulke testen is vaak anders of zou anders moeten zijn: de nauwkeurigheid van de test moet in de juiste verhouding staan tot klinisch relevante verschillen en de uitkomst moet nuttig zijn voor diagnostiek of revalidatie. Het is zelden zinnig om te gaan zoeken naar klinische toepassingen van testen die we vanuit wetenschappelijk oogpunt hebben ontwikkeld. Nog minder zinnig is het om te gaan jammeren over de weinige testen die hun wetenschappelijke nut hebben bewezen, maar niet gebruikt worden in de kliniek. Testen voor gehoorscreening zijn misschien wel het beste voorbeeld van hoortesten waarvan de klinische relevantie zeer hoog is, maar die nagenoeg geen specifieke informatie geven over het slechthorende oor. De neonatale gehoorscreening is een mooi voorbeeld. In Nederland is de neonatale gehoorscreening heel goed en efficiënt georganiseerd. Meer dan 99% van de baby's wordt in de eerste weken na hun geboorte gescreend op gehoorverlies<sup>19</sup>. Jaarlijks worden ruim 800 baby's naar een audiologisch centrum verwezen vanwege het vermoeden op slechthorendheid. De gehoorscreening op schoolleeftijd of bij mensen die in schadelijk lawaai werken is van beduidend mindere kwaliteit. Een programma om het gehoor bij volwassenen op een zekere leeftijd te screenen bestaat zelfs nog helemaal niet. Dat is jammer, zeker als ik u vertel dat we de afgelopen jaren veel onderzoek hebben gedaan op het gebied van Digital Health en hebben laten zien dat de techniek en benodigde testen voor grootschalige screening klaar zijn<sup>20-24</sup>. Daarin hoop ik de komende jaren een bijdrage te kunnen leveren zodat gehoorscreening bij kinderen en ouderen net zo goed en vanzelfsprekend wordt als bij jonge baby's.

## Digits-in-noise test

In mijn promotieonderzoek<sup>25</sup> rond het jaar 2000 heb ik onder begeleiding van mijn opleider Theo Kapteyn, en promotor prof. Tammo Houtgast een telefonische hoortest ontwikkeld waarmee volwassenen zelf thuis hun gehoor kunnen screenen. eHealth of Digital Health avant la lettre zou je kunnen zeggen. Het principe van de test berust op het gegeven dat het verstaan van spraak in achtergrondruis lastiger wordt als men een gehoorverlies heeft. In deze test bestaat de spraak uit drie-cijfer combinaties. De test bepaalt de verhouding tussen de sterkte van de spraak en de sterkte van de ruis waarbij de beller de helft van de cijfercombinaties goed verstaat. Dit is een goede maat voor hoe goed iemand in staat is om spraak te kunnen verstaan in rumoer. Het grote voordeel van deze test is dat hij uitstekend geschikt is om zelf te doen en dat er geen dure speciale apparatuur en meetruimte nodig zijn. Deze test werd gelanceerd als de Nationale Hoortest en bleek zeer succesvol<sup>26</sup>. Ik heb de test destijds de naam digits-in-noise test of kortweg DIN test gegeven<sup>27</sup>.

**DIN TEST**

2 7 4



De DIN test heeft een hoge vlucht genomen. Hij wordt nu internationaal als een standaard gezien en heeft zijn waarde als test voor gehoorscreening bewezen op andere platformen zoals internet. De DIN test blijkt ook uitermate geschikt voor gebruik in de audiologische centra. Bijvoorbeeld bij kinderen<sup>28</sup> en mensen met een cochleair implantaat<sup>29</sup>. Ongeveer tien jaar geleden ben ik een vruchtbare samenwerking gestart met de onderzoeksgroep van prof. De Wet Swanepoel in Pretoria, waarbij later ook de groep van prof. David Moore in Cincinnati zich voegde. We brachten de DIN test naar de smartphone<sup>30</sup> en verbeterden de gevoeligheid van de test<sup>23</sup>. Enkele jaren geleden heeft de Wereldgezondheidsorganisatie WHO ons gevraagd om de test wereldwijd



beschikbaar te maken als de hearWHO app in diverse talen, hetgeen inmiddels het geval is<sup>31</sup>. Eén van de redenen waarom we destijds een zelftest voor het gehoor hebben ontwikkeld was het lage percentage volwassenen dat hulp zocht voor hun gehoorverlies. De Nationale Hoortest bleek een goed middel om het bewustzijn rondom slechthorendheid te vergroten en om twijfelaars over de streep te trekken. Helaas blijkt het probleem van niet-gedetectede en niet-gerevalideerde gehoorverlies nog steeds heel erg groot. De Wereldgezondheidsorganisatie heeft gehoorverlies hoog op de agenda staan<sup>32</sup> en stelt, mijns inziens terecht, dat volwassenen vanaf een bepaalde leeftijd op gehoorverlies gescreend moeten worden<sup>33</sup>. Het is met enige trots dat ik u kan vertellen dat de door ons ontwikkelde DIN test nu door de WHO wordt aanbevolen als screeningstest voor dat doel<sup>33</sup>.

## Digital health

Het lezen van de oude wetenschappelijke publicaties, ik memoreerde de publicatie van Fletcher al, roept geen stoffig beeld op van lang vervlogen tijden, want de inhoud past nog zeer in de audiologie van vandaag de dag. Deze publicaties waren kennelijk niet aan dovemansoren gericht, zou men optimistisch kunnen concluderen. Maar ik kijk hier toch anders naar: ze waren juist wel gericht aan dovemansoren omdat ze anders na honderd jaar niet meer urgent zouden zijn. Dames en heren, laat ik duidelijk zijn, de audiologie kan en moet veranderen, versnellen en veel meer gebruik maken van de digitale en technische mogelijkheden van de huidige tijd. Ook de rol van de slechthorende of ouders verandert, wat iemand zelf kan en wil doen, moet mogelijk gemaakt worden terwijl we de traditionele vorm van de zorg beschikbaar houden voor degene die dat nodig hebben. In de gezondheidszorg is men inmiddels gaan beseffen dat de technologische ontwikkelingen razendsnel gaan en dat we daar ons voordeel mee zouden kunnen doen. Sinds beleidsmakers eurotekens zagen bij het begrip ‘voordeel doen’ kwam er geen strategisch document of call voor onderzoeksvoorstellen meer uit zonder dat het vol stond met verwijzingen naar eHealth, digitalisering en artificiële intelligentie. Het enthousiasme zal wel weer gaan afnemen als men zich gaat realiseren dat er toch eerst extra geld nodig is voordat er eventueel besparingen uit volgen. Dit neemt niet weg dat ik veel kansen en mogelijkheden zie voor digital health binnen het vakgebied van de audiologie. Ik noem enkele voorbeelden van waar we mee bezig zijn rondom dit thema.

Veel van onze audiologische testen maken gebruik van spraakmateriaal. Het maken van geschikt spraakmateriaal is een tijdrovend proces. Daarom onderzoeken we of synthetische spraak, d.w.z. spraakmateriaal dat door een computerprogramma wordt gegenereerd, ook geschikt is. De kwaliteit van deze zogenaamde text-to-speech engines is enorm verbeterd sinds ze gebruik maken van artificiële intelligentie en vanwege de interesse van de grote technologiebedrijven. Onderzoek van promovendus Sigrid Polspoel laat zien dat we hiermee spraakmateriaal kunnen genereren wat vergelijkbaar is met het standaard spraakmateriaal dat we in de kliniek gebruiken<sup>34</sup>. Dit biedt ons mogelijkheden om heel snel specifiek spraakmateriaal te ontwikkelen voor diagnostiek of hoortraining. Ons doel is om binnenkort met één druk op de knop een betrouwbare DIN test in een willekeurige taal te kunnen maken. Van alle ontwikkelingen wordt artificiële intelligentie momenteel als de heilige graal voor ongeveer elk probleem in de gezondheidszorg gezien. Dat zal het uiteindelijk niet blijken te zijn, maar ondanks dat zijn er in de audiologie al vele bruikbare toepassingen en dit zal alleen maar toenemen<sup>35</sup>. Wij willen het bijvoorbeeld gebruiken om de antwoorden van patiënten automatisch te scoren. Hierdoor zou er thuis of in de kliniek volledig automatisch een spraakaudiogram gemeten kunnen worden. Met behulp van deze technieken en onze ervaringen met het ontwikkelen van testen voor screening en diagnostiek willen we in de toekomst ook testen ontwikkelen voor specifieke patiëntgroepen en geautomatiseerde hoortrainingsprogramma's. De vraag welke informatie relevant is voor diagnostiek of revalidatie is daarbij leidend en de betrouwbaarheid, eenvoud en snelheid staan in het pakket van eisen.

## Hoorrevalidatie

Dames en heren, tot nu toe heb ik veel over hoortesten en diagnostiek gesproken. Hoortesten zijn echter ook van groot belang bij de hoorrevalidatie. U zag het vast al aankomen, ook bij dit onderwerp neem ik u even mee terug in de tijd. Door velen, maar vooral door Amerikanen, wordt Raymond Carhart gezien als 'the father of audiology'<sup>36</sup>. Nu is het zo dat Amerikanen nogal snel met een Amerikaan op de proppen komen als ze the father van het een of ander zoeken, maar dat Carhart veel eerder toekomt is niet meer dan terecht. De meeste collega's zullen hem vooral kennen van de zogenoemde Carhart-notch, een typisch patroon in het audiogram wat indicatief is voor otosclerose<sup>37</sup>. Otosclerose is een botziekte die tot slechthorendheid leidt. In 1946, kort na de tweede wereldoorlog, hield Carhart een

lezing op de jaarlijkse bijeenkomst van de American Otological Society. De tekst van de lezing werd in dat jaar gepubliceerd in the Laryngoscope en richt zich op een specifiek aspect van de audiologie: de revalidatie met hoortoestellen<sup>38</sup>. Carhart schrijft: het is niet mogelijk om details van toekomstige ontwikkelingen te voorspellen, maar er kan een aantal leidende principes genoemd worden.



Het eerste principe betreft de testbatterij voor de evaluatie van hoortoestelaanpassingen. Deze reeks van hoortesten bestaat uit de maximale score die gehaald wordt bij het verstaan van woorden, het niveau waarbij iemand 50% van de woorden verstaat, het niveau van de woorden waarbij het geluid onaangenaam wordt en tenslotte het verstaan in ruis, gemeten door de signaal-ruis verhouding te bepalen. Dit is eigenlijk toch een heel verrassend lijstje als ik u vertel dat tot op de dag van vandaag in aanbevelingen en richtlijnen en door internationaal vooraanstaande audiologen steeds opnieuw wordt gepleit om spraakaudiometrie én spraak-in-ruismetingen te gebruiken bij de evaluatie van hoortoestellen omdat dat vaak nog niet gebeurt. Wat dat betreft horen we in Nederland bij de braafste jongetjes van de klas en ben ik blij dat we in Amsterdam UMC bij de evaluatie van de hoortoestelaanpassing bij de meeste kinderen het spraakverstaan zowel in stilte als in ruis meten. Overigens is de evaluatie door middel van real-earmetingen een enorm belangrijke aanvulling op dit lijstje geweest. Mijn voorganger prof. Wouter Dreschler heeft een leidende rol gespeeld om dit in Nederland tot standaard praktijk te maken, in ieder geval in de audiologische centra.

Wat betreft hoortoestellen komt de commercie superlatieven tekort om de kwaliteiten te benoemen van de continue stroom aan nieuwe hoortoestellen. Veel

is er onbewezen, maar pre-processing strategieën hebben hun waarde al wel bewezen, zowel bij hoortoestellen als bij cochleaire implantaten<sup>39</sup>. Het doel is meestal om de signaal-ruisverhouding te verbeteren, b.v. door slimme richtinggevoelige microfoons of ruisonderdrukking. Traditioneel verbeterde het spraakverstaan niet met ruisonderdrukking in hoortoestellen, maar werd het luisteren soms wat comfortabeler voor de slechthorende. Voor gebruikers van een cochleair implantaat en ook door gebruik te maken van moderne machinelearning technieken worden nu wel verbeteringen in het spraakverstaan gevonden<sup>40</sup>. Het verbeteren van deze pre-processing technieken behoort tot de core-business van producenten van mobiele telefoons. De ontwikkelingen gaan daardoor snel en hoortoestellen kunnen hier hopelijk op meeliften. Ik verwacht dat in de nabije toekomst er een belangrijke rol voor de audioloog zal zijn om deze technieken, die vaak verpakt zijn als een black box, zo goed mogelijk in te zetten voor de individuele patiënt in zijn specifieke dagelijkse omstandigheden.

De andere leidende principes van Carhart wil ik ook nog noemen vanwege de relevantie: het is belangrijk om de specifieke problemen van een individuele patiënt te bepalen. Hier zijn ook grote stappen gezet de afgelopen jaren. Ik noem opnieuw het werk van mijn voorganger prof. Wouter Dreschler die hier in zijn afscheidsrede ook nog een mooie wensballon over op liet<sup>41</sup>. Daarnaast noem ik de ontwikkeling en het gebruik van vragenlijsten waar collega prof. Sophia Kramer een prominente rol in speelt en tenslotte de ontwikkeling van specifieke hoortesten. Dan noemt Carhart het gebruik van kwantitatieve maten zodat je resultaten met elkaar kunt vergelijken en misschien wel de belangrijkste: klinische routines moeten zo eenvoudig mogelijk zijn. Ten slotte: elke hoortoestelgebruiker kan profiteren van hoortraining. Hier ben ik het ook volledig mee eens, maar helaas zijn we daar de afgelopen honderd jaar nog even niet aan toegekomen

Is het dus alleen maar kommer en kwel in de audiologie? Nee, verre van. Om u enig beeld te geven van ons prachtige vakgebied en waar we inmiddels staan ga ik een pasgeboren baby introduceren. Om privacy redenen noem ik hem gemakshalve kleine Cas, een leuk jongetje. Enkele dagen na de geboorte krijgt hij de hielprik en bij hetzelfde thuisbezoek wordt een hoortest gedaan door de jeugdgezondheidszorg. Dit is de neonatale gehoorscreening zoals ik u eerder al vertelde. Kleine Cas krijgt een dopje in het oor en enkele seconden later geeft het apparaat automatisch de uitslag: het gehoor van kleine Cas is onvoldoende. De test wordt enkele dagen later herhaald en omdat de test nog steeds een onvoldoende

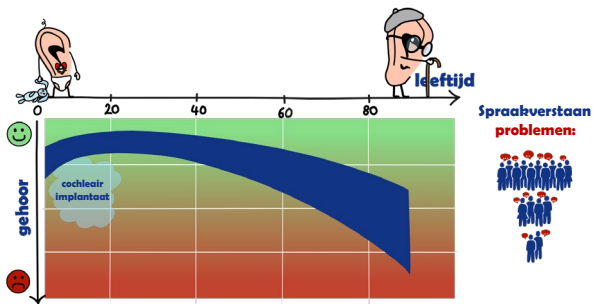
gehoor aangeeft, wordt de baby naar het audiologisch centrum verwezen. Baby wordt patiëntje. De ouders van kleine Cas maken zich uiteraard veel zorgen. Binnen enkele weken wordt op het audiologisch centrum uitgebreid gehooronderzoek uitgevoerd en bespreekt de audioloog het slechte nieuws met ouders: zeer ernstige slechthorendheid. De wereld stort in voor de jonge ouders. Daarna gaat het allemaal snel. Het gezin krijgt begeleiding van de maatschappelijk werker en een gezinsbegeleider. Een afspraak bij de KNO arts volgt, er worden scans gemaakt, de klinisch geneticus en kinderarts zien kleine Cas en we starten met hoortoestellen. Helaas blijkt het horen met hoortoestellen onvoldoende te zijn en er worden cochleaire implantaten geadviseerd. Ouders kiezen voor een cochleair implantaat in beide oren en op de leeftijd van 10 maanden volgt de operatie. Links en rechts plaatst de KNO arts een implantaat en enkele weken later start de revalidatie. Inmiddels is de genetische oorzaak van het gehoorverlies ook bekend. In die periode zijn er vrijwel wekelijks afspraken bij een logopedist en een heel aardige en uitermate kundige audioloog die toevallig dezelfde naam heeft als het kindje.



Dames en heren, ik ben niet slechthorend geboren. Was dit destijds, in de jaren 70, wel het geval geweest, dan had ik waarschijnlijk geen universitaire studie gevolgd en had ik hier nu niet gestaan. Inmiddels zijn de kansen en vooruitzichten voor dove en slechthorende kinderen veel beter en volgt bijna de helft van de doofgeboren kinderen regulier onderwijs<sup>42</sup>. Uiteraard zegt dat niet alles, maar het is een positief perspectief voor veel jonge ouders.

Ik vertelde u zojuist dat ik niet slechthorend ben geboren, maar ik word het wel. U wordt het ook of bent het al. In deze figuur ziet u hoe het gehoor verslechtert met de leeftijd. Het wordt steeds lastiger om gesprekken te volgen in groepen en ten slotte zelfs in 1-op-1 situaties. Naar schatting zijn er in Nederland 1 tot 2 miljoen

mensen met slechthorendheid, het merendeel daarvan zijn mensen van boven de 65 jaar.



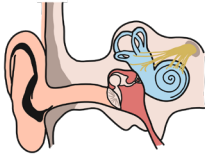
De consequenties van slechthorendheid zijn groot omdat het de communicatie belemmert. De consequenties van ernstige slechthorendheid of doofheid kunnen uiteraard nog groter zijn. Positieve ontwikkelingen in de afgelopen tientallen jaren zijn de erkenning van de Nederlandse Gebarentaal als officiële taal en de ontwikkeling van het cochleaire implantaat wat de toegang tot gesproken taal voor deze groep mogelijk heeft gemaakt.

## Cochleaire implantaten

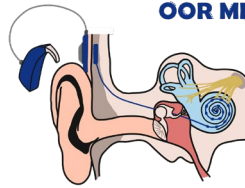
Cochleaire implantaten zijn waarschijnlijk de meest succesvolle neuroprothesen die tot dusver zijn ontwikkeld. Oneerbiedig gezegd zijn het de elektrische dovemansoren van de audioloog. De impact op de audiologie en oorheelkunde is enorm geweest en zelfs de grootste optimist kon zich destijds niet voorstellen wat voor resultaten momenteel behaald kunnen worden.

U ziet in de linker figuur een schematische weergave van het oor. Het geluid komt via de oorschelp en de gehoorgang bij het trommelvlies. De trilling wordt daarna via het trommelvlies en de gehoorbeenketen omgezet in een vloeistoftrilling in het binnenoer, de cochlea. In de cochlea wordt de trilling omgezet in elektrische activiteit in de gehoorzenuw waarna het signaal uiteindelijk het brein bereikt. Bij de meeste vormen van slechthorendheid werkt de omzetting van de trilling in zenuwactiviteit in de cochlea, niet, of niet goed meer.

## NORMAAL OOR



## OOR MET CI



Het cochleaire implantaat neemt deze functie van de cochlea over. In de rechter figuur ziet u schematisch een elektrodenbundel die in de cochlea is geplaatst. De elektrodenbundel is verbonden met het interne deel dat achter het oor onder de huid is geplaatst. Het externe deel bevat de microfoon, batterij en geluidsprocessor. De energie en informatie wordt via een externe spoel naar de interne spoel gezonden.

Het succes van cochleaire implantatie is uiteraard te danken aan het fantastische werk van de pioniers in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw<sup>43</sup>. Er was destijds veel kritiek van gerenommeerde fysiologen en KNO artsen zoals Schuknecht<sup>44</sup>. De kritiek vat ik gemakshalve samen met: als je denkt dat dit werkt dan snap je niet hoe het menselijk oor werkt. Hier zit nu juist de essentie: als je de complexiteit van de cochlea kent met de tienduizenden haarcellen en zenuwvezels dan vraagt een niet goed functionerende cochlea om een device wat technisch niet te verwezenlijken is en chirurgisch niet te plaatsen is. In dat opzicht was de kritiek dus goed te begrijpen. Gelukkig heeft het de onderzoekers er destijds niet van weerhouden om het onderzoek en de ontwikkeling door te zetten daarbij geholpen door een aantal gelukkige omstandigheden. Ten eerste de tonotopie van de cochlea. Opeenvolgende frequenties worden op opeenvolgende posities in de cochlea geregistreerd. Daarnaast geeft de cochlea de KNO chirurg de mogelijkheid om de elektrodenbundel op de juiste plek en dicht genoeg bij de zenuwvezels te plaatsen. En tenslotte leidt ernstige slechthorendheid of doofheid in het algemeen niet tot een volledig verlies van de functionaliteit van de zenuwvezels waardoor elektrische stimulatie mogelijk blijft. In Amsterdam UMC vond 20 jaar geleden de eerste cochleaire implantatie plaats. Dit was bij een volwassen patiënt; enkele jaren later volgde het eerste kind. Inmiddels zijn er in Amsterdam UMC ongeveer 900 cochleaire implantaten bij volwassenen geplaatst en 450 bij kinderen. Cochleaire

implantatie is ingrijpend voor de patiënt of ouders. Ingrijpend vanwege de beslissing en de noodzaak van een operatie, maar veelal ook ingrijpend vanwege het resultaat: het kan levens veranderen omdat gesproken communicatie mogelijk wordt.

Ter illustratie ziet u in de eerdere figuur de resultaten van de kinderen met een cochleair implantaat. Ruwweg komt het gehoor van deze kinderen overeen met het gemiddelde gehoor van een 60-70 jarige zonder hoortoestel. Verre van perfect, maar in tegenstelling tot het gehoor van de 70 jarige wordt het niet meer slechter.

Een goed functionerend team voor cochleaire implantatie is essentieel en we mogen wat dat betreft trots zijn hoe deze zorg in Nederland is georganiseerd. De rollen van CION en de patiëntenorganisatie OPCI zijn een uitstekend voorbeeld van het gezamenlijk blijven werken aan kwaliteitsverbetering. Om een goed resultaat te bereiken is goede kwaliteit van zorg nodig. Dit betekent kennis en ervaring bij logopedisten, linguïsten, psychologen, maatschappelijk werkers, audiologen en KNO artsen. Overleg, communicatie en een fijne samenwerking zijn ook noodzakelijk. Gelukkig is dat allemaal het geval binnen onze KNO afdeling. De patiënt moet ook aan het werk. Opnieuw leren horen of zelfs voor het eerst leren horen als het om jonge kinderen gaat.

Een patiënt waarbij een cochleair implantaat is geplaatst moet een intensief revalidatietraject doorlopen met veel afspraken voor hoortrainingen en hoortesten. Daarom zijn we ons een aantal jaren geleden gaan richten op digitale mogelijkheden om de voortgang zelf thuis te testen. Uitgangspunt daarbij was dat het voordelen moest hebben voor de patiënt, de zorgverlener en de zorgverzekeraar. Feike de Graaff heeft in haar promotieonderzoek een betrouwbare methode ontwikkeld om de standaard spraakverstaantesten thuis, door patiënten met een cochleair implantaat, zelf te laten afnemen<sup>45-47</sup>. De resultaten waren voor de audioloog in het ziekenhuis direct zichtbaar. Deze studie was onderdeel van een groot Europees project waar ook een grote fabrikant van cochleaire implantaten in participeerde<sup>48</sup>. Inmiddels is deze methode door hen in een app geïntegreerd die wereldwijd wordt uitgerold om op afstand de audiologische zorg voor patiënten met een cochleair implantaat te ondersteunen.

Jammer genoeg heeft het vele en vooral ook leuke en interessante onderzoek om het individuele slechthorende oor te karakteriseren ons nog betrekkelijk weinig geleerd over het optimaal en individueel instellen van cochleaire implantaten en



hoortoestellen. Mogelijk ontbreekt de juiste vertaalslag, of mogelijk is de te behalen winst op dit punt gewoon niet zo groot. Een benadering waarbij we empirisch proberen af te leiden wat de optimale instelling is, vind ik wetenschappelijk gezien minder elegant dan dat we dit vanuit fundamentele kennis en principes afleiden. Toch heeft deze aanpak zijn waarde in de audiologie bewezen en past hij bij het eerder genoemde onderscheid tussen hoortesten voor wetenschappelijk onderzoek en hoortesten voor klinische toepassingen. Op deze wijze hebben wij enkele jaren gelden eenvoudige regels bepaald voor het instellen van het cochleaire implantaat<sup>49</sup>.

Dat de vertaalslag van gedetailleerde kennis van het slechthorende oor naar bruikbare handvatten bij de revalidatie grotendeels ontbreekt zal ik tenslotte illustreren met een fictief voorbeeld. Stelt u zich voor dat u bij een audioloog komt om uw hoortoestel in te laten stellen. In uw linkerhand heeft u, heel wonderlijk, een compleet overzicht van uw gehoorprobleem, dus een beschrijving van het functioneren van elke haarcel, zenuwvezel, tectoriaal membraan, stria vascularis en alles wat er verder maar te vragen is over uw cochlea. In uw andere hand heeft u slechts een toonaudiogram, dezelfde informatie die u een eeuw geleden van een audioloog zou hebben gekregen. Ik weet uit welke hand de audioloog van vandaag de informatie wil om uw hoortoestel in te stellen. Na vanmiddag denk ik dat u het ook kunt raden.

## Dankwoord

Dames en heren, ik ben hiermee bijna aan het einde gekomen van mijn oratie. Het is een voorrecht dat ik hier mag staan en het is dankzij de steun van velen van jullie.

Allereerst dank ik het College van Bestuur van de Universiteit van Amsterdam, de Decaan van de faculteit geneeskunde Hans van Goudoever en de Raad van Bestuur van Amsterdam UMC voor het in mij gestelde vertrouwen.

Prof. René Leemans, de afgelopen decennia heb je de afdeling KNO hoofdhalschirurgie van VUmc en later van Amsterdam UMC, succesvol door vele plagen geleid: brand, overstroming, bezuinigingen, fusie en lateralisatie om er maar enkele te noemen. Dank voor je steun aan mij en aan de oto-audiologie. Ik heb er alle vertrouwen in dat Amsterdam UMC binnenkort een prachtige nieuwe KNO afdeling heeft. Prof. Freek Dikkers dank voor je interesse, enthousiasme en het

warme welkom op het AMC. Stafadviseur Hanneke Tielens. Je bent de Haarlemmerolie van de afdeling. Dank voor je hulp bij eenvoudige en complexe problemen.

Prof. Tammo Houtgast en Theo Kapteyn, mijn rolmodellen in de wetenschap en kliniek vanaf het begin van mijn carrière. Jullie waren precies de types die ik nodig had om me met zoveel plezier en enthousiasme op de patiëntenzorg en het wetenschappelijk onderzoek te storten. Helaas heeft Theo Kapteyn deze stap van mij niet meer mee kunnen maken. Mijn voorganger prof. Wouter Dreschler, je inzet en betekenis voor de audiologie zijn enorm geweest. Ik dank je voor de fijne en open gesprekken en de ruimte die je creëerde waardoor mijn start als nieuwe hoogleraar soepel verliep. Het is een eer om deze pet van je over te nemen. Voorlopig houd ik het wel bij deze ene pet en ik hoop dat ik je niet teleurstel als ik de vijftienvijf andere petten even niet van je overneem.

Prof. Joost Festen, heel fijn dat ik tot op de dag van vandaag altijd een beroep op je heb kunnen doen. Dank daarvoor. Prof. Sophia Kramer. 23 jaar geleden begon ik op het academisch ziekenhuis der Vrije Universiteit bij jou op de kamer. Je was toen nog niet zo lang gepromoveerd. De afgelopen jaren heb ik van steeds dichterbij gezien hoe ingewikkeld het is om een mooie en goede onderzoeksgroep draaiend te houden binnen Amsterdam UMC en heb ik steeds meer waardering gekregen voor de manier waarop jij dat voor elkaar krijgt. Ik wil je enorm danken voor je steun en adviezen en ik zie er naar uit om samen met jou en prof. Paul Merkus de oto-audiologische research binnen Amsterdam UMC verder uit te bouwen. Prof. Paul Merkus, enthousiast, prettig voor patiënten en collega's en een heel fijne collega om mee samen te werken in de kliniek en de wetenschap. Dank voor de samenwerking de afgelopen negentien jaar. We zijn op de helft.

Fenna Ebbens, hoofd van het audiologisch centrum, over anderhalf jaar zitten we in een prachtig nieuw en gezamenlijk audiologisch centrum. Het is een fijn vooruitzicht om samen met jou de verbinding tussen het audiologisch centrum en het wetenschappelijk onderzoek verder te versterken. Dank aan alle otologen en audiologen van Amsterdam UMC. Frits Smit en Theo Goverts, samen met mij het meubilair van de oto-audiologie. Erik van Spronsen, Femke Theelen, Maarten de Wolf, Marre Kaandorp, Niek Versfeld, Patrick Briennesse, Sabine Engels, Saskia Bruijn, Thadé Goderie, Tim Bost en Yvonne Simis. Op alfabetische volgorde. Ik vond het leuk in VUmc, ik vind het leuk in het AMC en ik ga het met jullie vast

nog leuker vinden in Amsterdam UMC. Dank aan de overige stafleden, het secretariaat, Hans, Ton en Jacq, en natuurlijk alle medewerkers van de ACs. Sorry. Ik ga jullie niet allemaal persoonlijk bedanken al verdienen jullie dat wel. De huidige onderzoekers en de onderzoekers uit het verleden. In het bijzonder ook dank aan Sigrid Polspoel, de creatieveling onder de onderzoekers die de fraaie slides van vanmiddag heeft gemaakt. Dank aan collega's in Nederland en in het buitenland. Mijn bijzondere dank gaat uit naar prof. De Wet Swanepoel vanwege de vriendschap en jarenlange samenwerking die we hopelijk nog veel langer voort kunnen zetten. Ik doe het even gewoon in het Nederlands omdat je dat wel verstaat.

Tenslotte dank aan mijn familie en vrienden. Mocht ik het per ongeluk vergeten dan zorgen jullie er wel voor dat ik mezelf niet al te serieus neem. Mam, ik ben blij dat jij er bij bent, maar ons pap had er natuurlijk ook bij moeten zijn.

Lieve Jacqueline, Olek, Duco en Vic. Ik ben blij en trots dat jullie hier vanmiddag zitten en hebben geluisterd terwijl ik jullie meenam op een reis door de audiologie. Onze reis is nog lang niet klaar en ik kijk er naar uit wat hij ons allemaal nog meer gaat brengen.

Ik heb gezegd.

## Referenties

1. Gabor, D. *How to start a conversation and make friends: revised and updated*, (Simon and Schuster, 2011).
2. Berger, K. Genealogy of the words "audiology" and "audiologist". *Journal of the American Audiology Society* 2, 38-44 (1976). [https://journals.lww.com/ear-hearing/Abstract/1976/09000/GENEALOGY\\_OF\\_THE\\_WORDS\\_AUDIOLOGY\\_AND.3.aspx](https://journals.lww.com/ear-hearing/Abstract/1976/09000/GENEALOGY_OF_THE_WORDS_AUDIOLOGY_AND.3.aspx)
3. Huizing, H.C. Audiologie, een nieuwe hulpwetenschap in de oorheelkunde. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 92, 4017-4020 (1948). <https://www.ntvg.nl/artikelen/audiologie-een-nieuwe-hulpwetenschap-de-oorheelkunde>
4. Mudry, A. Otology in medical papyri in ancient Egypt. *The Mediterranean Journal of Otolology* 3, 133-142 (2006). <https://www.advancedotology.org/content/files/sayilar/59/buyuk/Mudry1.pdf>
5. Fletcher, H. & Galt, R.H. The Perception of Speech and Its Relation to Telephony. *Journal of the Acoustical Society of America* 22, 89-151 (1950) <https://doi.org/10.1121/1.1906605>.
6. Nourbakhsh, A., et al. Stem Cells and Gene Therapy in Progressive Hearing Loss: the State of the Art. *J Assoc Res Otolaryngol* 22, 95-105 (2021) <https://doi.org/10.1007/s10162-020-00781-0>.
7. Stojkovic, M., Han, D., Jeong, M., Stojkovic, P. & Stankovic, K.M. Human induced pluripotent stem cells and CRISPR/Cas-mediated targeted genome editing: Platforms to tackle sensorineural hearing loss. *Stem Cells* 39, 673-696 (2021) <https://doi.org/10.1002/stem.3353>.
8. Cossu, G., et al. Lancet Commission: Stem cells and regenerative medicine. *Lancet* 391, 883-910 (2018) [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31366-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31366-1).
9. Kamerlingh Onnes, H. *De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde [Oratie]*, (E.J. Brill, Leiden, 1882). [https://www.dbnl.org/tekst/kame003bete01\\_01/kame003bete01\\_01\\_0001.php](https://www.dbnl.org/tekst/kame003bete01_01/kame003bete01_01_0001.php)
10. Fletcher, H. New methods and apparatus for testing the acuity of hearing. *Laryngoscope* 35, 501 (1925).
11. Fletcher, S.H. Harvey Fletcher: September 11, 1884-July 23, 1981. *Biogr Mem Natl Acad Sci* 61, 165-193 (1992). <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/fletcher-harvey.pdf>
12. Reich, L.S. Industrial-Research and the Pursuit of Corporate Security - the Early Years of Bell Labs. *Business History Review* 54, 504-529 (1980) <https://doi.org/10.2307/3114217>.
13. Kranz, F.W. Audiometer: Principles and History. *Sound: Its uses and Control* 2, 20-32 (1963) <https://doi.org/10.1121/1.2369596>.
14. Fletcher, H. & Wegel, R.L. The Frequency-sensitivity of Normal Ears. *Proc Natl Acad Sci U S A* 8, 5-6 2 (1922) <https://doi.org/10.1073/pnas.8.1.5>.

15. Macfarlan, D. History of audiometry. *Archives of Otolaryngology* 29, 514-519 (1939) <https://doi.org/10.1001/archotol.1939.00650050548011>.
16. Polspoel, S., Kramer, S.E., van Dijk, B. & Smits, C. The Importance of Extended High-Frequency Speech Information in the Recognition of Digits, Words, and Sentences in Quiet and Noise. *Ear Hear* 43, 913-920 (2022) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001142>.
17. Hunter, L.L., *et al.* Extended high frequency hearing and speech perception implications in adults and children. *Hear Res* 397, 107922 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.heares.2020.107922>.
18. Zekveld, A.A., Koelewijn, T. & Kramer, S.E. The Pupil Dilation Response to Auditory Stimuli: Current State of Knowledge. *Trends Hear* 22, 2331216518777174 (2018) <https://doi.org/10.1177/2331216518777174>.
19. van der Zee, R.B., Uilenburg, N.N., van der Ploeg, C.P. & Dirks, E. Prevalence of Hearing Loss in Dutch Newborns; Results of the Nationwide Well-Baby Newborn Hearing Screening Program. *Applied Sciences* 12, 2035 (2022) <https://doi.org/10.3390/app12042035>.
20. Linssen, A.M., Anteunis, L.J. & Joore, M.A. The Cost-Effectiveness of Different Hearing Screening Strategies for 50- to 70-Year-Old Adults: A Markov Model. *Value Health* 18, 560-569 (2015) <https://doi.org/10.1016/j.ival.2015.03.1789>.
21. Smits, C., Kapteyn, T.S. & Houtgast, T. Development and validation of an automatic speech-in-noise screening test by telephone. *Int J Audiol* 43, 15-28 (2004) <https://doi.org/10.1080/14992020400050004>.
22. Smits, C., Merkus, P. & Houtgast, T. How we do it: The Dutch functional hearing-screening tests by telephone and internet. *Clinical Otolaryngology* 31, 436-440 (2006) <https://doi.org/10.1111/j.1749-4486.2006.01195.x>.
23. De Sousa, K.C., Swanepoel, D.W., Moore, D.R., Myburgh, H.C. & Smits, C. Improving sensitivity of the digits-in-noise test using antiphasic stimuli. *Ear and hearing* 41, 442-450 (2020) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000775>.
24. De Sousa, K.C., Smits, C., Moore, D.R., Myburgh, H.C. & Swanepoel, D.W. Diotic and antiphasic digits-in-noise testing as a hearing screening and triage tool to classify type of hearing loss. *Ear and Hearing* 43, 1037-1048 (2022) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001160>.
25. Smits, J.C.M. Hearing screening by telephone: fundamentals and applications. (2006). <https://research.vu.nl/en/publications/hearing-screening-by-telephone-fundamentals-and-applications>
26. Smits, C. & Houtgast, T. Results from the Dutch speech-in-noise screening test by telephone. *Ear Hear* 26, 89-95 (2005) <https://doi.org/10.1097/00003446-200502000-00008>.
27. Smits, C., Theo Goverts, S. & Festen, J.M. The digits-in-noise test: assessing auditory speech recognition abilities in noise. *J Acoust Soc Am* 133, 1693-1706 (2013) <https://doi.org/10.1121/1.4789933>.
28. Koopmans, W.J.A., Goverts, S.T. & Smits, C. Speech Recognition Abilities in Normal-Hearing Children 4 to 12 Years of Age in Stationary and Interrupted Noise. *Ear Hear* 39, 1091-1103 (2018) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000569>.
29. Kaandorp, M.W., Smits, C., Merkus, P., Goverts, S.T. & Festen, J.M. Assessing speech recognition abilities with digits in noise in cochlear implant and hearing aid users. *Int J Audiol* 54, 48-57 (2015) <https://doi.org/10.3109/14992027.2014.945623>.

30. Potgieter, J.M., Swanepoel de, W., Myburgh, H.C., Hopper, T.C. & Smits, C. Development and validation of a smartphone-based digits-in-noise hearing test in South African English. *Int J Audiol* 55, 405-411 (2015) <https://doi.org/10.3109/14992027.2016.1172269>.
31. De Sousa, K.C., Smits, C., Moore, D.R., Chada, S., Myburgh, H. & Swanepoel, W. Global use and outcomes of the hearWHO mHealth hearing test. *Digit Health* 8, 20552076221113204 (2022) <https://doi.org/10.1177/20552076221113204>.
32. World Health Organization. World report on hearing. (2021). <https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/highlighting-priorities-for-ear-and-hearing-care>
33. World Health Organization. Hearing screening: considerations for implementation. (2021). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344797>
34. Polspoel, S., Holtrop, F., Bosman, A.J., Kramer, S.E. & Smits, C. Word lists for speech audiometry: a comparison between human and synthetic speech. [*Manuscript submitted for publication*] (2022).
35. Wasmann, J.A., et al. Computational Audiology: New Approaches to Advance Hearing Health Care in the Digital Age. *Ear Hear* 42, 1499-1507 (2021) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001041>.
36. Yost, W.A. Psychoacoustics: A brief historical overview. *Acoustics Today* 11, 46-53 (2015). <https://acousticstoday.org/psychoacoustics-a-brief-historical-overview-by-william-a-yost/>
37. Carhart, R. Clinical Application of Bone Conduction Audiometry. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery* 51, 798-808 (1950) <https://doi.org/10.1001/archotol.1950.00700020824003>.
38. Carhart, R. Tests for selection of hearing aids. *Laryngoscope* 56, 780-794 (1946) <https://doi.org/10.1288/00005537-194612000-00004>.
39. Carlyon, R.P. & Goehring, T. Cochlear Implant Research and Development in the Twenty-first Century: A Critical Update. *J Assoc Res Otolaryngol* 22, 481-508 (2021) <https://doi.org/10.1007/s10162-021-00811-5>.
40. Henry, F., Glavin, M. & Jones, E. Noise Reduction in Cochlear Implant Signal Processing: A Review and Recent Developments. *IEEE Rev Biomed Eng* PP(2021) <https://doi.org/10.1109/RBME.2021.3095428>.
41. Dreschler, W.A. Afscheidscollege. (2021). [https://issuu.com/jertaa/docs/20211027\\_afscheidscollege\\_wa\\_dreschler\\_bw\\_10](https://issuu.com/jertaa/docs/20211027_afscheidscollege_wa_dreschler_bw_10)
42. van der Straaten, T.F.K., Briaire, J.J., Dirks, E., Soede, W., Rieffe, C. & Frijns, J.H.M. The School Career of Children With Hearing Loss in Different Primary Educational Settings- A Large Longitudinal Nationwide Study. *J Deaf Stud Deaf Educ* 26, 405-416 (2021) <https://doi.org/10.1093/deafed/enab008>.
43. Wilson, B.S. & Dorman, M.F. Cochlear implants: a remarkable past and a brilliant future. *Hear Res* 242, 3-21 (2008) <https://doi.org/10.1016/j.heares.2008.06.005>.
44. Michelson, R.P. The results of electrical stimulation of the cochlea in human sensory deafness. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 80, 914-919 (1971) <https://doi.org/10.1177/000348947108000618>.
45. de Graaff, F., Huysmans, E., Merkus, P., Theo Goverts, S. & Smits, C. Assessment of speech recognition abilities in quiet and in noise: a comparison between self-administered home testing and testing in the clinic for adult cochlear implant users. *Int J Audiol* 57, 872-880 (2018) <https://doi.org/10.1080/14992027.2018.1506168>.

46. de Graaff, F., Huysmans, E., Philips, B., Merkus, P., Goverts, S.T., Kramer, S.E. & Smits, C. Our experience with home self-assessment of speech recognition in the care pathway of 10 newly implanted adult cochlear implant users. *Clin Otolaryngol* 44, 446-451 (2019) <https://doi.org/10.1111/coa.13307>.
47. de Graaff, F., Huysmans, E., Qazi, O.U., Vanpoucke, F.J., Merkus, P., Goverts, S.T. & Smits, C. The Development of Remote Speech Recognition Tests for Adult Cochlear Implant Users: The Effect of Presentation Mode of the Noise and a Reliable Method to Deliver Sound in Home Environments. *Audiol Neurootol* 21 Suppl 1, 48-54 (2016) <https://doi.org/10.1159/000448355>.
48. Vanpoucke, F., Philips, B., Smits, C., Govaerts, P.J., Doorn, I. & Stainsby, T. Empowering Cochlear Implant Users in Their Home Environment by eHealth Solutions. in *Tele-Audiology and the Optimization of Hearing Healthcare Delivery* 86-120 (IGI Global, 2019). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8191-8.ch005>
49. de Graaff, F., Lissenberg-Witte, B.I., Kaandorp, M.W., Merkus, P., Goverts, S.T., Kramer, S.E. & Smits, C. Relationship Between Speech Recognition in Quiet and Noise and Fitting Parameters, Impedances and ECAP Thresholds in Adult Cochlear Implant Users. *Ear and Hearing* 41, 935-947 (2020) <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000814>.