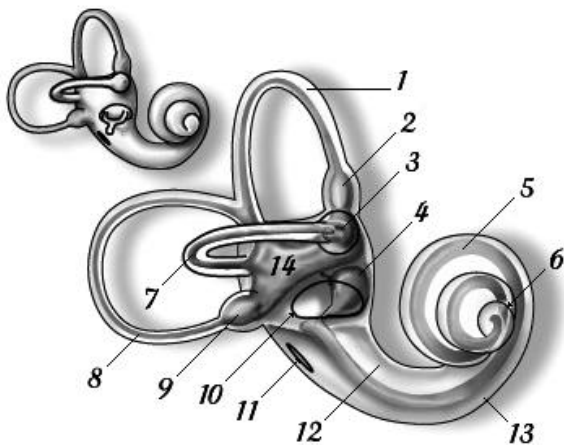


Deze maand gaan we verder met de beschrijving van het oor, met name het binnenoor.

6.3. Het binnenoor.

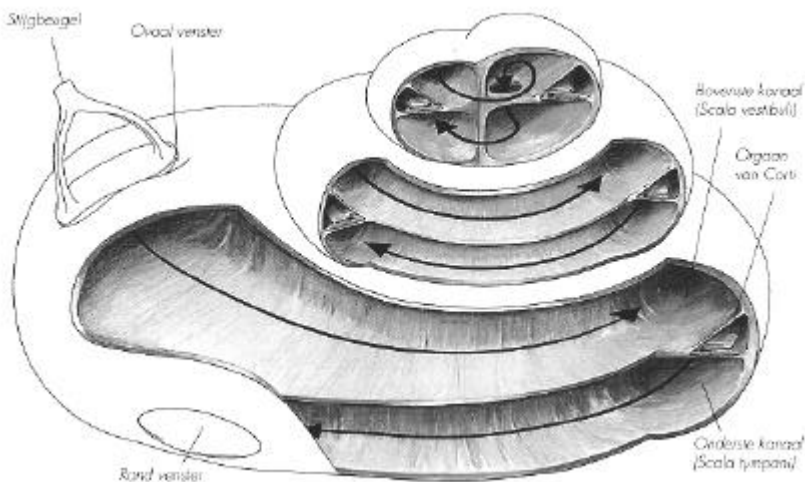
Het vestibulair orgaan en de 'cochlea', of slakkenhuis, zijn de twee organen die het geheel uitmaken van het binnenoor. Het vestibulair orgaan zorgt voor ons evenwicht, de *cochlea* aan de andere kant zorgt voor de omzetting van het opgevangen geluid in het buiten- en binnenoor tot het doorsturen van zenuwprikkels die we in de hersenen zullen omzetten als 'het horen van de geluiden'.



In figuur 1.25. zien we een schets van het binnenoor : 5 : cochleaire holte, 10 : ovalen venster, 11 : rond venster, 12 : scala vestibuli, 13 : scala tympani

6.3.1. De Cochlea.

Voor onze ontdekkingsstocht over het oor zullen we het voornamelijk hebben over de *cochlea*. Dit orgaan heeft de grootte van een erwt en de vorm van een slakkenhuis (vandaar de Nederlandse benaming). Binnenin zit een gangenwerk dat we kunnen vergelijken met een labyrinth. Mochten we het orgaan kunnen uitrollen zouden we zien dat de cochlea in feite één lange buis is, met daarin drie kamers : bovenaan het bovenste kanaal of *scala vestibuli*, onderaan het onderste kanaal of *scala tympani* en in het midden 'de cochleaire holte'. De *scala vestibuli* en *tympani* zijn in feite twee gangen die in het center van het slakkenhuis in

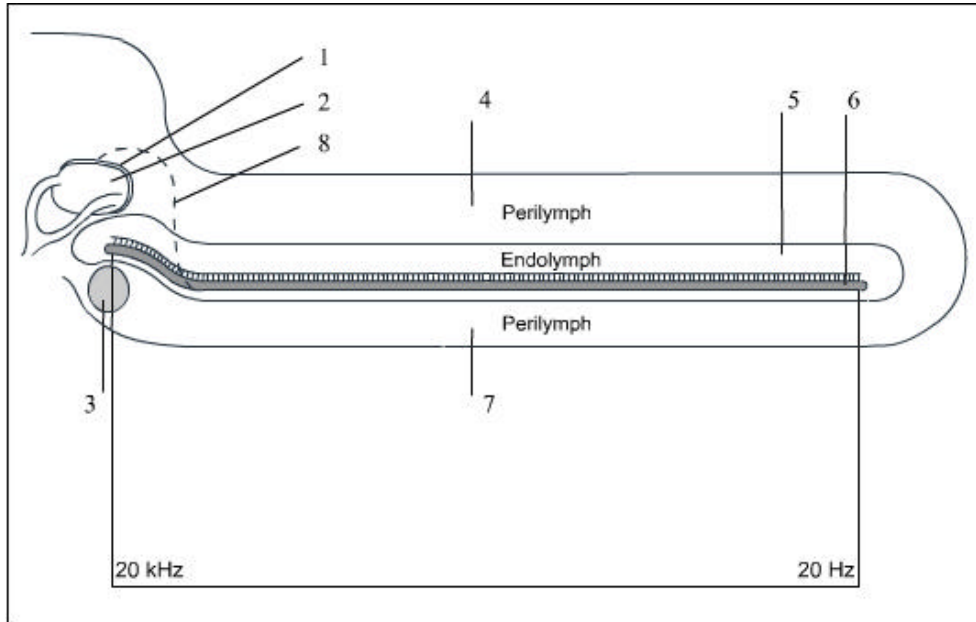


elkaar overgaan. Ze zijn gevuld met een vloeistof die het *perilymph* genoemd wordt. Tussen deze twee gangen bevindt zich de cochleaire holte. Ook deze gang is met een vloeistof gevuld : namelijk het *endolymph*.

Figuur 1.26. maakt een en ander duidelijk.

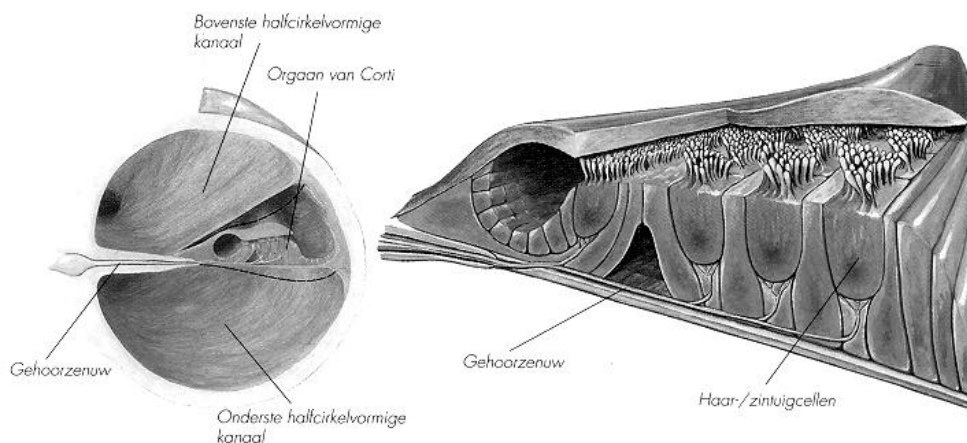
Alle vibraties die de stijgbeugel op het ovalen venster (zie Meet Music 2004/11) uitoefent zorgen voor drukgolven in de *scala vestibuli*, die doorgezet worden naar de *scala tympani*.

Wanneer er lage frequenties doorgegeven worden is er genoeg tijd om de beweging door te geven door de ganse *scala vestibuli*, hoge frequenties daarentegen zijn veel korter in tijd en zullen onmiddellijk de vloeistof in de cochleaire holte aan het trillen brengen. Hoge tonen zullen dus vooraan in de cochlea drukgolven veroorzaken, lage tonen zorgen voor bewegingen in het center van de coclea. De *perilymph* vloeistof is niet samendrukbaar, daarom zullen de drukverschillen geneutraliseerd worden door de bewegingen van het ‘rond venster’ dat uitmondt in de holte van het middenoor.



Zie figuur 1.27.
 1 : ovalen venster,
 2 : stijgbeugel,
 3 : rond venster,
 4 : scala vestibuli,
 5 : cochleaire holte,
 6 : orgaan van Corti,
 7 : scala tympani,
 8 : 16 kHz golf

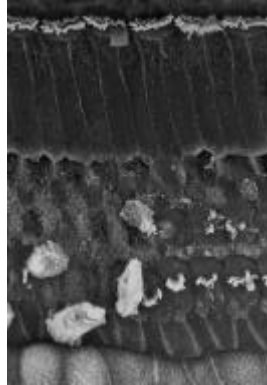
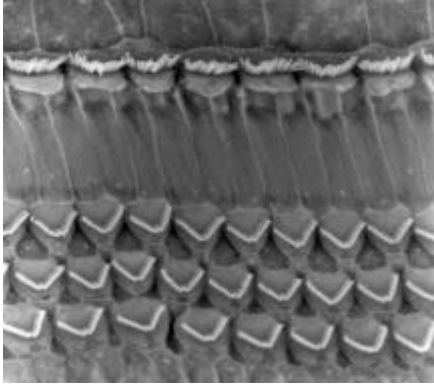
Binnenin de cochleaire holte bevindt zich het ‘orgaan van Corti’. Op dit orgaan staan de zogenaamde ‘haarcellen’ of *Stereocilla*. Er zijn 2 soorten haarcellen : de ‘binnenste’ haarcellen (1 rij over het ganse orgaan van Corti) en de ‘buitenste’ haarcellen (varieert van 3 rijen tot 5 rijen in het center van de cochlea).



Zie figuur 1.28.
 De drukverschillen zullen plaatselijk de haarcellen doen buigen en bewegen en net deze bewegingen zorgen voor depolarisaties die via zenuwbanen naar onze hersenen

doorgestuurd worden. Hoe groter de verplaatsing, hoe sterker het signaal zal zijn. Testen hebben uitgewezen dat een geluidsbron van +/- 130 dB (pijngrens) een verplaatsing van 0,0000003 mm veroorzaakt ! Aan de andere kant zal de plaats waar de haarcellen in beweging gebracht worden bepalen welke frequenties we horen.

Op de onderstaande foto's kan je sterk vergrote beelden zien van de haarcellen.



Op foto 3 zie je bovenaan de binnenste haarcellen en onderaan drie rijen van buitenste haarcellen. Foto 4 toont ons licht beschadigde binnenste en zwaar beschadigde buitenste haarcellen. Op foto 5 zien we een extra vergroting van licht beschadigde buitenste haarcellen.

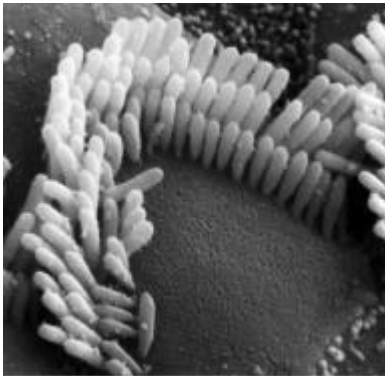


Foto 6 geeft ons een beeld van zeer zwaar beschadigde buitenste haarcellen.

Tot zover de fysische beschrijving, maar in dit artikel had ik toch graag een aantal kanttekeningen willen plaatsen. De haarcellen zijn bijzonder gevoelig en kwetsbaar. Er staan er uiteraard vele duizenden op het orgaan van Corti, maar toch, langdurig blootstellen aan hoge volumes zal ervoor zorgen dat de cellen zonder zuurstof komen te zitten en zal aldus een beschadiging veroorzaken. In eerste instantie krijgen we dan te maken met een tijdelijke ruis in het gehoor die na het herstel van de cellen zal verdwijnen. Ik vermoed dat de meesten onder jullie al eens last zullen gehad hebben van een dergelijke ruis. Wanneer we echter terug regelmatig onderhevig zijn aan hoge decibels zullen de haarcellen geleidelijk aan afsterven en doofheid voor hoge frequenties als gevolg hebben. Let op : één keer de haarcellen afgestorven zijn zullen er geen nieuwe meer groeien of kunnen die niet vervangen worden. Vooraanstaande vorsers op dit gebied beweren dat een herstel op dit moment niet kan. Men denkt wel om in de toekomst via de stamceltechnologie een doorbraak te forceren, maar dat is tot op heden nog toekomstmuziek.

Het feit dat men zich aanvankelijk niet bewust is van het gevaar van gehoorverlies, is een groot gevaar aangezien de degradatie vrij geleidelijk verloopt. Blijkbaar is de ligging van de haarcellen die de hoge tonen registreren (helemaal vooraan) in de cochlea de oorzaak dat we eerst doof worden voor hoge tonen. Iedereen kan normaal functioneren met een gehoor dat afgesneden is vanaf 10 kHz, men zal niet beseffen dat men aan gehoorverlies lijdt. Alleen de lager liggende haarcellen zullen ook al gedeeltelijk beschadigd zijn en onderhevig zijn aan gedeeltelijke doofheid in de hoog- midden frequenties. Als je dan weet dat net daar de spraakherkenning ligt begrijp je al gauw dat we moeten uitkijken bij het gebruik van hoge volumes. Op de werkvloer van montagehallen waar hoge decibels opgetekend worden, heeft men zelfs het gebruik van oorbeschermers aan de arbeiders moeten opleggen, zoniet waren er altijd een aantal 'stoere' (lees domme) arbeiders die vonden dat een dergelijk vervelend spul op hun hoofd aan hen niet besteedt was. Binnen de kortste keer waren die mannen dan ook potdoof.

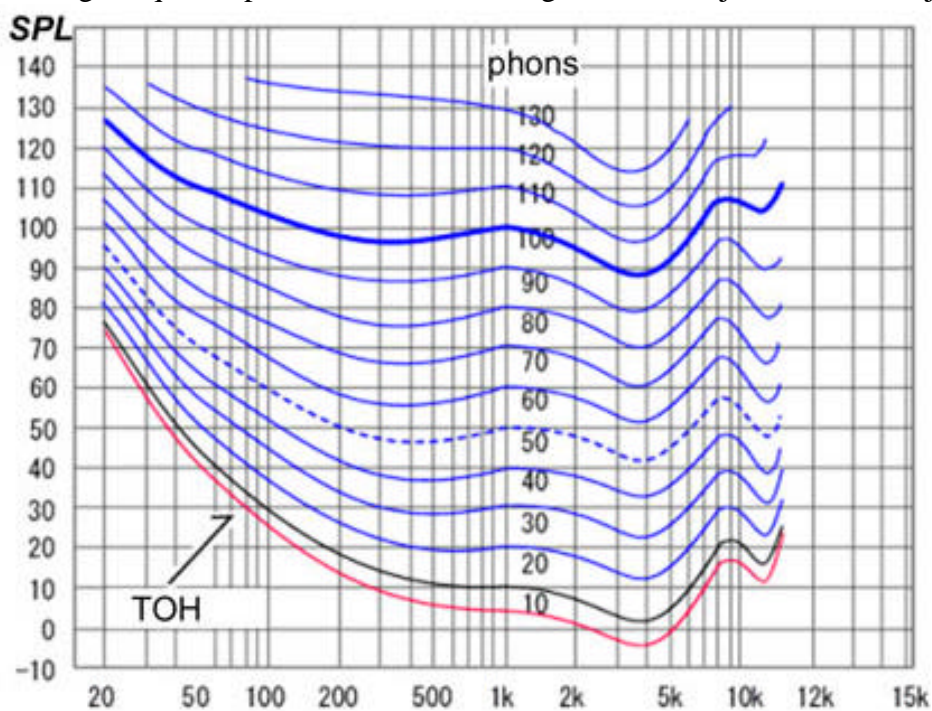
Hetzelfde geldt ook voor de jongeren die nonchalant omspringen met hun gehoor in discotheken of bij optredens. Sta dus nooit pal voor de geluidsinstallatie. De klappen die uit die luidsprekers kunnen komen zijn echt hevig genoeg om het gehoor aan te tasten. Verder heb je ook de typische doofheid die optreedt bij het bespelen van instrumenten. Vraag maar eens aan rockdrummers waar de monitors moeten staan : liefst naast hun oor, anders horen ze de rest van de band niet. Ook violisten hebben bijvoorbeeld last van een typische 'instrument' doofheid. Studies hebben aangetoond dat de meeste violisten in hun linkeroor een gevoelig verlies van hoog en hoog- midden tonen hebben. Dit komt omdat de viool onder de linkerkant van de kin vastgeklemd wordt, op amper een paar centimeters van het linkeroor. Ook koper- en rietblazers tonen een typisch verlies dat te wijten is aan de druk die in de mondholte opgewekt wordt voor het aanblazen van het mondstuk. Ook geluidstechnici springen soms heel onzorgvuldig om met hun oren. Ik heb ooit eens een technicus zijn hoofd in een basdrum zien steken om de beste plaatsing voor zijn microfoon te zoeken. Als je weet dat er binnenin een basdrum klappen tot 145 dB kunnen geproduceerd worden, hoop ik dat jullie begrijpen wat voor een stomiteit deze zogenaamde held uitgehaald heeft.

Er zijn een ganze resem oorbeschermers op de markt te verkrijgen. Ik weet ook uit ervaring dat dergelijke dingen lastig te dragen zijn en dat je het effect hebt dat je geluid nooit zo 'live' klinkt, maar helaas, een andere oplossing is er echt niet.

6.4. Verstaanbaarheids- en luidheidscurves.

In het Bell laboratorium heeft men onder andere heel wat onderzoek gedaan naar de verhouding tussen luidheid en frequentie. Fletcher en Munson waren de eerste geleerden die in deze materie hun bevindingen in 1933 kenbaar maakten. Anderen hebben hun werk nog verbeterd, tot uiteindelijk het werk van Robinson en Dadson als een internationale standaard (I.S.O. 226) in 1956 erkend werd.

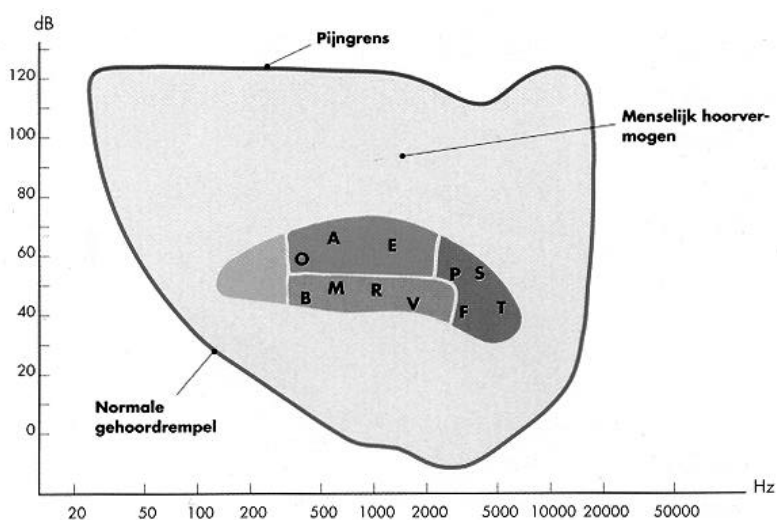
Maar wat hebben deze geleerden nu eigenlijk ontdekt ? Wel zij hebben (subjectieve) metingen gedaan hoe het menselijk oor zich gedraagt bij een gelijke luidheid over het volledige frequentiespectrum. Wanneer we figuur 1.29. bekijken zullen we bijvoorbeeld bij



de 30 dB luidheidswaarde of 'loudness contour' een vrij eigenaardige curve zien met een sterke afname naar de lage tonen, een gevoelige verhoging rond 4 kHz en dan weer een sterke afname vanaf 6 kHz. Dat wil zeggen : om eenzelfde loudness bij 30 'Phons' tussen 20Hz en 1 kHz te hebben zou ik mijn geluidsdruk bij 20

Hz met 58 dB moeten verhogen ! Anderzijds zou ik bij 4 kHz 6 dB minder geluidsdruk moeten produceren. Dit is met name het gedrag van ons oor voor een geluidsdruk van 30 dB over het volledig frequentiespectrum. Bekijken we bijvoorbeeld de curve van 90 dB, dan zal je zien dat de afname in het laag al een stuk minder is, met andere woorden de curve wordt vlakker. Dit is het bewijs dat ons gehoor zich niet lineair gedraagt, naargelang de geluidsdruk die we moeten verwerken zal ons gehoor het geluid anders interpreteren. Nu begrijp je ook waarom je steeds een vrij hoog volume uit je luidsprekers moet laten knallen om een beetje lage tonen te horen of te voelen. Dat is trouwens ook de reden waarom in heel wat Hifi versterkers een *Loudness* schakelaar zit. Via een netwerkje kan je dan de versterker extra laag laten produceren bij laag volume.

Op diezelfde curve konden we ook constateren dat er een toename was rond 4 kHz. Als je dan weet dat zich daar de spraakherkenning situeert, begrijp je al gauw hoe mooi de natuur in mekaar steekt. Ook in de geneeskunde heeft men zich heel sterk geïnteresseerd in deze wetenschap en al gauw kwam men dan op een verstaanbaarheidscurve, waarbij ook nog eens alle klinkers en medeklinkers geanalyseerd werden op luidheid en frequentie.



Het resultaat kan je zien in figuur 1.30. Veronderstel dat iemand doof is vanaf 4 kHz, dan kan je uit deze figuur besluiten dat deze persoon de letters P, F en de S en de T in het bijzonder, praktisch niet meer zal kunnen verstaan.

Tot slot nog enkele interessante sites over dit onderwerp :

www.vimm.it/cochlea/index.htm ,
www.iurc.montp.inserm.fr/cric/audition/english/start2.htm ,
www.digital-recordings.com/publ/pubear.html#general ,
www.bcm.edu/oto/studs/innear.html ,

Copyright tekeningen en tekst : Bilsom gehoorbeschermers, Professor Rémy Pujol van de Universiteit van Montpellier, Professor Ingeborg Dhooge van het Universitair Ziekenhuis van Gent, Dr. Robert Harrison van de Universiteit van Toronto, Robinson & Dadson (ISO 226).

Voor opmerkingen en suggesties kunnen jullie mij emailen op volgend adres :
bert.deprest@meetmusic.com

Tot zover mijn bijdrage van deze maand, volgende maand gaan we verder met alle vormen van interpretatie door ons oor.