

HOOFDSTUK VII

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Aan de hand van hetgeen reeds bekend is omtrent de monaurale waarneming van frequentie, intensiteit, fase en tijdrelatie van geluids-trillingen werd nagegaan in hoeverre deze analyses bruikbaar en noodzakelijk zijn om tot een akoestisch ruimtelijke indruk van de „wereld” rondom het individu te kunnen komen.

Er werd een proefopstelling gemaakt, waarbij de samenstelling van het geluid zoals dit elk van de twee cochleae binnenkomt, kwalitatief en quantitatief geregeld kon worden. Hiermede werd bepaald in welke mate iedere parameter van de trilling afzonderlijk bijdraagt tot het ruimtelijk horen. Met nadruk wordt erop gewezen, dat ruimtelijk horen verschillend is van binauraal horen zonder ruimtelijke dimensies: het lateraliseren. Hierbij geven intensiteitsverschillen wel een verschuiving naar links of rechts van de grootste luidheid, maar een ruimtelijke lokalisatie wordt er niet aan toegekend.

Het ruimtelijk horen bestaat uit:

- a) het richtinghoren
- b) het afstandhoren.

Voor het richtinghoren bleek de tijdrelatie van een trilling aan de linker- en rechterstapesplaat de meest belangrijke parameter te zijn. Bij zuivere tonen, waar de tijdrelatie niet aanwezig is, is het richtinghoren gebrekkig. Dit is dan afhankelijk van het waarnemen van faseverschil. De hoge tonen in het geluidsspectrum vormen, in verband met de functie van de oorschelpen, een belangrijke bijdrage voor de waardering of een geluidsbron vóór of achter de ooras gelegen is. Verder draagt de diffractie om het hoofd bij tot een richtingbepaling. Enerzijds is de functie van iedere cochlea afzonderlijk zeer onafhankelijk (analyse), anderszijds zijn zij centraal zeer nauw gecorreleerd (ruimtelijk horen).

Voor het afstandhoren is, behalve een goed onderscheidingsvermogen voor het bepalen van de verschillen tussen de richtingen van de rechtstreekse en gereflecteerde geluidstrillingen, ook een goed onderscheidingsvermogen voor de tijdrelatie van die trillingen nodig. Bovendien is een monaurale, successieve discriminatie van het intensiteitsverschil tussen rechtstreekse en gereflecteerde geluidstrillingen vereist.

Aangezien de kleine tijdsverschillen tussen twee trillingen behouden blijven tijdens het neurale transport in het eerste neuron, hebben de momenten van aankomst van de actiespanning in de akoestische kernen hetzelfde tijdsverschil als de geluidsimpulsen aan de trommelvliezen (zie Hoofdstuk IV).

Daar voor dieren met een korte intercochleaire afstand door de lucht (b.v. een veldmuis) of voor waterdieren met een korte transcefale afstand (b.v. de dolfijn) het tijdsverschil zeer gering is, zou onderzocht moeten worden of het discriminatievermogen voor tijdsverschillen bij deze dieren groter is dan bij mensen bij gelijk vermogen tot richtinghoren, of dat het richtinghoren minder goed is dan bij mensen.

Voor bewegende geluidsbronnen is de richtingwaarneming gevoeliger dan voor stilstaande. Dit moet een diep gewortelde neurofysiologische oorsprong hebben. In de natuur is het stilstaande in de zin van gevaar van minder belang dan het bewegende. Aan constante geluiden went men, maar ten opzichte van een steeds wisselend geluid blijft men waakzaam. Ook de beweging van objecten, welke geluiden reflecteren, vraagt onze aandacht. De nauwkeurigheid waarmee de richting van een bewegend voorwerp bepaald wordt is ruim twee maal zo groot als voor stilstaande geluidsbronnen.

De hypothese, dat in de medulla bij het eerste samenkomen van gehoorbanen uit linker- en rechteroor een gebied ligt (het corpus trapezoideum), waar de correlatie van de prikkels uit de twee oren plaats heeft, is bevestigd door de proefnemingen bij patiënten lijdende aan syringobulbi, waarbij het richtinghoren ernstig faalde of verloren was gegaan. In de stam wordt de grondslag voor de stereo-akoestische waarneming gelegd.

Verstoring van de toonperceptie behoeft geen verlies van stereo-akoësie ten gevolge te hebben. Omgekeerd gaat een gebrekkige stereo-akoësie niet altijd samen met een vermindering van de toonperceptie.

De tijdsverschillen tussen de cochleae, welke als richting geïnterpreteerd worden, liggen tussen 30 en 600 μ sec. De onderste grens — 30 μ sec. — is ongeveer 3% van de gemiddelde tijd benodigd voor het passeren van één synapse (zie Hoofdstuk IV). Het passeren van meer dan één synapse zou de nauwkeurigheid van de tijdsverschil-overdracht in gevaar brengen. De ruimtelijke lokalisatie is dus in de medulla bij de eerste synapse vastgelegd en wordt vanuit dat punt naar de reflexcentra en naar de cortex cerebri gevoerd. Dit moet een ander neuronensysteem zijn dan dat, hetwelk de toon- en spraakanalyse overbrengt. Dit vindt steun in de fylogenetische ontwikkeling van het gehoorzintuig. De waarneming uit welke richting een trilling komt is fylogenetisch ouder dan

de toonherkenning. De vis bijvoorbeeld kan met behulp van het zijlijnorgaan adequaat reageren op trillingen van een geluidsbron, hoewel er geen cochlea bestaat. Bij de hogere dieren ontwikkelde zich een cochlea met een toonperceptie. Bij de mens bood de toonanalyse van de cochlea in samenwerking met de cortex een gelegenheid tot de ontwikkeling van spraak. De opvatting, dat het ruimtelijk horen langs een ander neuronensysteem gaat, vindt ook steun in gevallen van stoornissen in de stam, waarbij het richtinghoren verminderd is, maar de toonperceptie ongestoord.

Het is bekend, dat met ruimtelijk horen een signaal van geringe intensiteit kan worden waargenomen naast een ruis, terwijl hetzelfde signaal temidden van die ruis monauraal niet waarneembaar is; ook niet, indien het binauraal maar niet stereo-akoestisch wordt gegeven. Het onderscheiden van signaal en ruis is gemakkelijker naarmate hun oorsprong verder uit elkaar ligt.

Het heeft voordeel de gehoorfunctie van de afzonderlijke organen zodanig bij elkaar aan te passen, dat een goede stereo-akoestische functie bereikt wordt. Bij dit stereo-akoestisch horen elimineert het centraal zenuwstelsel de resonantiepieken en de achtergrondruisen, welke bij monauraal horen sterk kunnen storen. Ruimtelijk horen is een manier van horen, welke belangrijk meer informatie aan de waarnemer geeft dan twee maal monauraal horen. Dit is van belang om verbetering van het gehoor te verkrijgen door middel van operaties en prothesen. De gebruikelijke monaurale proeven om de gehoorfunctie te onderzoeken leiden tot het gevaar dat de bijdrage van de stereo-akoësie tot betere herkenning van de geboden signalen niet wordt gezien. Het is bekend, dat de gehoordrempels van centrale oorsprong zijn en dat de perifere gehoororganen een werkingssfeer bezitten, welke veel lager reikt dan deze drempels. Het centrale zenuwstelsel vormt dus de beperkende factor bij drempelmetingen. De nauwkeurigheid van waarneming neemt toe, wanneer men van monaurale op binaurale presentatie overgaat, terwijl de totale intensiteit gelijk blijft. De wederzijdse confrontatie van de activiteiten in de cochleaire projecties in het centraal zenuwstelsel is van gunstige invloed op de nauwkeurigheid. Bij simultane presentatie van geluiden afkomstig van ruimtelijk verschillende bronnen, is de herkenning nog nauwkeuriger; in het geval van spraak is dan de verstaanbaarheid vele malen groter dan monauraal. Deze laatste facet, boven reeds vermeld, tezamen met de hier genoemde eigenschappen, tonen aan, dat de hoorcapaciteiten van de twee organen afzonderlijk vele malen minder zijn, dan de gezamenlijke capaciteit. De mogelijkheden van deze reciproke inwerking in het cerebrum zijn nog niet volledig

bekend, maar wij weten nu reeds genoeg, om te kunnen stellen, dat men met de resultaten van de gebruikelijke monaurale onderzoekmethoden niet bij machte is een beslissend oordeel over de gehoorfunctie als een geheel te geven zonder hierin het onderzoek van het vermogen tot ruimtelijk horen te betrekken. De bestaande hoortheorieën zullen in overeenstemming gebracht moeten worden met de bevindingen van het stereo-akoestische horen. De richtingwaarneming geschiedt met een nauwkeurigheid, welke toeneemt met de beweging van de geluidsbron. Uit de oscillatieproeven met het kunsthoofd blijkt, dat het optimum spoedig bereikt is en wel even boven een oscillatiefrequentie van 2 Hz. Dit komt neer op een hoeksnelheid van de geluidsbron ten opzichte van de waarnemer van ongeveer 1 rad/sec.; dit is gebaseerd op een amplitude van 8° van het kunsthoofd. De fysiologische hoeksnelheden van het hoofd liggen in het gebied van ongeveer 1 rad/sec., zodat de verfiijningsmogelijkheid tot richtingbepaling geheel uitgebuit kan worden.

De vestibulaire organen lichten ons in aangaande onze stand in en de rotaties die wij ondergaan ten opzichte van het inertiaal systeem, dat ons omringt. De gehoororganen lichten ons ook in of er een relatieve beweging bestaat van ons ten opzichte van datzelfde inertiaal systeem. Het is belangrijk om te constateren, dat beide orgaantypen, ieder op hun wijze, een relatieve beweging aan ons verraden. Beiden dragen zij bij tot onze oriëntatie ten opzichte van onze omgeving. Zolang er geen conflict in de informaties bestaat, zal het richtinghoren als een zelfstandig verschijnsel getoetst kunnen worden.

Brengt men opzettelijk een storing aan in het vestibulaire systeem, bijvoorbeeld door een draai-impuls, zoals deze in de cupulometrie gebruikt wordt, dan wordt een conflict geschapen. De sensatie van rond-draaien is zoveel sterker dan de auditieve richtingsensatie ten opzichte van een stilstaande geluidsbron, dat deze laatste schijnbaar meebeweegt. Dit is de „audiogyral illusion” beschreven door GRAYBRIEL. Het verschijnsel is kwalitatief bekend. Het verdient aanbeveling om dit nu ook kwantitatief na te gaan en in pathologische gevallen te toetsen. Het is niet onmogelijk, dat er meer gegevens over de centrale verwerking van de diverse prikkelgroepen aan ontleend kunnen worden.

Met de beschreven proefopstelling is het mogelijk in de kliniek op eenvoudige wijze proeven uit te voeren met stilstaand en oscillerend kunsthoofd.

Voor ruimtelijk horen moet een keuringsnorm opgesteld worden, omdat deze functie een proef is voor het gehoorzintuig in zijn geheel en als zodanig een maatstaf voor het gehoor van de keurling. Een bekend signaal zou bijvoorbeeld uit een maskerende ruis herkend moeten wor-

den bij een bepaalde ruimtelijke spreiding van de twee geluidsbronnen. Dit is een functieproef, welke met de werkelijkheid overeenkomt.

Verder zou de opstelling kunnen dienen als een 'malingerer detector' in die gevallen, waar een onderzochte niet weet hoe hij in pathologische gevallen op stereo-akoestische informaties moet reageren.

In de toekomst zal de ruimtelijke weergave van het geluid als equivalent van het ruimtelijk zien veld gaan winnen. De pseudo-stereo-akoësie met vele luidsprekers en intensiteitseffecten zal hiervoor plaats maken.

De conclusies, welke wij uit onze bevindingen trekken, zijn:

- 1) De voornaamste informatie voor het ruimtelijk horen is de tijdrelatie van de trillingen in de beide cochleae. De stereo-akoësie is afhankelijk van het analyserend vermogen van elk der organen afzonderlijk en van de onderlinge relatie van de centrale projectie van de cochleae.
- 2) Ruimtelijk horen is afhankelijk van de correlatie der acusticusvezels in het corpus trapezoïdeum.
- 3) Het stereo-akoestisch onderzoek kan informatie geven bij aandoeningen van de medulla oblongata.
- 4) Het ruimtelijk horen geeft de waarnemer belangrijk meer informatie dan tweemaal monauraal horen.
- 5) De gebruikelijke monaurale proeven om de gehoorfunctie te bepalen zonder de stereo-akoësie hierin te betrekken zijn onvoldoende en kunnen misleidend zijn.