

measurements. This should be done with complex sounds too, for example speech sounds and residue tones. It would be interesting to know whether synchronism between the signal and the nerve pulses really stops above 4000 c/s, and what is happening then with the pulse rate in a bundle of fibres. It is important to measure the selectivity magnification along the auditory nerve and the frequency-place relation in the cortex especially in animals with no cochlea or a very short one. But also the middle-ear action should be restudied, especially for frequencies higher than 2000 c/s, if possible. The probability functions of the pure-tone threshold need to be restudied accurately for low, middle, and high frequencies, together with the difference between the monaural and binaural threshold, with tones heard through headphones. And there are still unsolved problems in the phenomenological field, such as the q effect and its eventual relation with linear or polar types of hearing. And, of course, our investigations with the models were rather shallow, and we have to go further into the matter. In any case, new techniques are enabling us to penetrate deeper and deeper into the matter, in order to get a better insight into the mechanism of that important and marvellous sense organ, our ear.

Acknowledgements

The investigations underlying this thesis have been carried out in the Philips Research Laboratories, Eindhoven, the Netherlands. I am greatly indebted to the Directors of the laboratories for enabling me to carry out this work. I would like to express my gratitude to my colleagues dr. ir. N.V. Franssen for the numerous discussions about the subject and ir. D. L. A. Tjaden for his mathematical help. My especial thanks are due to Mr. K. R. Meijer for the development and construction of the equipment and for his assistance during the experiments, to dr. R. H. Bathgate for his critical discussion of the matter and the correction of the English text, and to Mrs. T. Vos-v. Rooij and the administration of the laboratories for their help in preparing the manuscript.

Samenvatting

Het in dit proefschrift beschreven onderzoek had tot doel door combinatie van reeds bekende gegevens uit de anatomie, de physiologie, de dynamica van het oor en de gehoorphenomenologie te komen tot de bouw van een elektrisch model van het gehoororgaan, om daarmee een beter begrip van de werking van ons oor te verkrijgen.

In het eerste hoofdstuk wordt de evolutie van het oor beschreven waarbij speciaal opvalt dat het middenoor eerder is ontstaan dan de cochlea.

Het tweede hoofdstuk behandelt de cochlea. Na een anatomische inleiding wordt de bewegingsvergelijking opgesteld, welke behulpzaam is bij een beschrijving van de fysische verschijnselen die in de cochlea plaatsvinden. Zo blijkt het mechanisch gedrag van het cochleair tussenschot bepaald te worden door de mechanische eigenschappen van dit schot en een dunne laag vloeistof aan weerskanten daarvan. De cochlea bevat kennelijk een overmaat vloeistof hetgeen Von Békésy's paradox doet verklaren. De merkwaardige constructie van de cochlea blijkt de enig bruikbare, andere meer voor de hand liggende constructies zouden niet voldoen. De afgeleide bewegingsvergelijking wordt vergeleken met die welke door Zwislocki, Peterson en Bogert, Fletcher en Ranke zijn gegeven. Vervolgens wordt de beschrijving gegeven van het elektrisch model van de cochlea dat wij construeerden met behulp van gegevens, voornamelijk geput uit het werk van Von Békésy. Dit model bestaat uit honderd discrete aan elkaar geschakelde elementen, die ieder een spanning afgeven welke equivalent is met de uitwijking van het cochleair tussenschot op een met zo'n element corresponderende plaats. Het verschil in topfrequentie tussen naburige elementen bedraagt derhalve een halve toon. De eigenschappen van het model voor sinusvormige signalen alsmede de ingangsimpedantie zijn gegeven.

Het derde hoofdstuk handelt over het middenoor. Nadat weer een anatomische inleiding is gegeven wordt beschreven hoe is gekomen tot de constructie van een elektrisch model, hetwelk in principe gelijk is aan dat van Zwislocki. Er zijn echter nog te weinig mechanische gegevens bekend om tot een bevredigend geheel te komen. Wel vertoont dit model zekere overeenkomsten in zijn eigenschappen met die van het middenoor, doch anderzijds rijst sterke twijfel aan zijn algemene juistheid. Het bleek echter zinloos naar een verbetering te zoeken, aangezien het gedrag van het middenoor voor frequenties boven 2000 Hz nog niet bekend is. Een vergelijking met modellen van andere onderzoekers is gegeven. Aan een discussie over het middenoor is tevens de bespreking van kunstoren gekoppeld. Het belangrijkste dat het onderzoek aan het middenoor heeft opgeleverd is zijn overdrachtskarakteristiek, waarmee bedoeld wordt de uitwijking van het ovale venster bij constante druk op het trommelmvies als functie van de frequentie. Deze karakteristiek verloopt horizontaal tot een frequentie in het middengebiet om daarna steil te vallen.

De combinatie middenoor-inwendige oor wordt in het vierde hoofdstuk bestudeerd. Het verloop van de toondrempelcurve kan in zekere mate verklaard worden. De grootste gevoeligheid van het oor in het horizontale gedeelte van de kromme in het middenfrequente gebied wordt bepaald door een ruis, echter niet door die ruis die het gehele mechanische systeem geeft. De helling van de kromme in het lage tonen gebied wordt veroorzaakt door eigenschappen van de gehoorzenuw, die in het hoge tonen gebied hoofdzakelijk door de filterwerking van het middenoor.

Vervolgens wordt de apparatuur beschreven waarmee het cochleair spectrum is gefotografeerd. Opnamen worden getoond van de omhullende van de uitwijking van het cochleair tussenschot bij samengestelde signalen, alsmede die uitwijkingen zelf zoals ze op bepaalde plaatsen langs het tussenschot te zien zijn. Gewerkt werd met zuivere tonen die door andere zuivere tonen of ruis gemaskeerd worden, de sommatie van twee zuivere tonen, wel en niet gefilterde blokvormige signalen, in amplitude gemoduleerde signalen (residu) en spraaksignalen.

Combinatie van alle gegevens uit bovenstaande verkregen leidt tot een discussie waaruit blijkt dat nog geen gesloten gehoortheorie kan worden gegeven, doch dat de juistheid van bepaalde reeds bestaande theorieën valt te betwijfelen. Een gehoortheorie mag niet berusten op vermeende eigenschappen van de cochlea, waarvan geen gebruik kan worden gemaakt gezien de eigenschappen van het middenoor. Wel wordt een mogelijke verklaring gegeven van bepaalde gehoorphenomenen, zoals het waarnemen van toonhoogte, timbre, luidheid en de oorzaak van bepaalde soorten zenuwdoofheid. Bepaalde correlatiemetingen in plaats en tijd tussen de receptoren en tussen de zenuwvezels moeten aanwezig zijn, doch een plaatsdetectiemechanisme, zoals in de zogenaamde plaatstheorieën wordt beschreven, is geen noodzakelijkheid.

In het vijfde hoofdstuk tenslotte zijn die uitkomsten van het onderzoek waartoe enige zekerheid bestaat nog eens puntsgewijs bijeengebracht.