



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE
MEDICINA
LISBOA

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

História da Compreensão do Ouvido Interno

Débora Aroeira Mendes

Abril'2018



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE
MEDICINA
LISBOA

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

História da Compreensão do Ouvido Interno

Débora Aroeira Mendes

Orientado por:

Dr. Marco Alveirinho Simão

Resumo

A evolução histórica do conhecimento do ouvido interno reuniu génios de diversas áreas científicas, não somente da medicina. É bastante interessante acompanhar que a evolução tecnológica permitiu muitas descobertas e conclusões.

O conhecimento do ouvido interno divide-se em duas partes; o Sistema Vestibular e a Audição. Neste trabalho é curioso verificarmos o interesse mais marcado dos cientistas por um dos dois, o que reflete a complexidade de ambos.

Foram necessários vários séculos, para alcançarmos o conhecimento atual. O enorme esforço e o extraordinário valor do trabalho realizado pelos nossos antepassados devem efetivamente ser considerados numa perspetiva histórica. Esta é uma condição indispensável para compreender o significado da medicina inerente ao ouvido interno atual e antever a sua evolução no futuro.

Palavras-Chave

Canais semicirculares; Sistema vestibular; Cóclea; Ouvido Interno; Audição.

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FML

Abstract

The historical knowledge evolution of the Inner Ear brought together geniuses from diverse scientific areas, not just from medicine. It is quite interesting to note that technological developments have led to many discoveries and conclusions.

The knowledge of the Inner Ear is divided into two parts; the Vestibular System and Hearing. In this work it is curious to note the most marked interest of the scientists for one of the two, which reflects the complexity of both.

It took several centuries to come to our knowledge today. The enormous effort and the extraordinary value of the work performed by our ancestors must indeed be considered from a historical perspective.

Keywords

Semicircular canals; Vestibular system; Cochlea; Internal Ear; Hearing.

The Final Paper expresses the opinion of the author, not FML

Agradecimentos

Agradeço à Clínica Universitária de ORL do Hospital Santa Maria em especial ao Professor Dr. Óscar Dias e ao Dr. Marco Simão o incentivo, a disponibilidade, o interesse e sobretudo o modo como conseguiram adaptar o tema desta obra à minha motivação pessoal. Não é demais referir a dedicação desmesurada do Prof. Óscar Dias à disciplina de que é regente na Faculdade de Medicina de Lisboa. À minha família, que me apoiou sempre ao longo do curso. Aos meus amigos e colegas, principalmente à Ana Isabel Rodrigues.

Índice

1. Introdução.....	6
2. Conhecimento do Ouvido Interno – Os Impulsionadores	7
3. Sistema Vestibular.....	10
3.1. Contribuição de Breuer e Mach	10
3.2. Robert Bárány – Prémio Nóbel da Medicina 1914.....	13
4. Cóclea	16
4.1.Selectividade de Frequências na Cóclea.....	16
4.1.1. Primeira fase - Elementos Ressonantes de Helmholtz.....	16
4.1.2. Segunda Fase – Onda Viajante de Békésy Prémio Nóbel 1961.....	18
4.1.3. Terceira fase - Amplificador Coclear.....	21
5. Conclusão.....	23
6. Bibliografia.....	24

Introdução

Conhecer os conquistas históricas sobre a evolução do conhecimento atual é deveras fulcral. A história da otologia sempre acompanhou o percurso da história da medicina. Até ao Renascimento pouco era sabido, após esta época surgiram novas conquistas que enriqueceram e são responsáveis pelo conhecimento que hoje possuímos. A segunda metade do sec. XIX primou pelo borbulhar de teorias, algumas comprovadas, outras que serviram de ponte para novas teorias.

A otologia e mais concretamente o ouvido interno, despertou grande curiosidade ao longo do tempo e apenas a falta de tecnologia, impediu a comprovação científica de algumas teorias.

O ouvido interno está dividido em dois sistemas sensoriais; o sistema vestibular que é constituído pelos **canais semicirculares**, preenchidos por endolinfa e perilinfa que banha o espaço entre o labirinto ósseo e o membranoso. O sistema vestibular informa o Sistema Nervoso Central sobre a posição e movimentos da cabeça. Os recetores vestibulares são ciliados e, quando estimulados, causam mudanças no potencial de membrana por mecanismos distintos. Por meio de sinapses químicas excitatórias, estas células sensoriais comunicam com as fibras aferentes primárias do VIII par do nervo craniano; a **cóclea**, (responsável pela Audição) está dividida em três regiões; uma parte superior, escala vestibular; uma parte média, denominada escala média e uma parte inferior, denominada escala timpânica (comunica-se através da janela redonda com o ouvido médio ou cavidade timpânica). Os recetores sensoriais estão na escala média assentes ao longo da membrana basilar fazendo parte do órgão de Corti.

Com este trabalho pretendo aprofundar o raciocínio científico e a sucessão de acontecimentos que conduziram ao conhecimento atual que possuímos sobre o ouvido interno.

Conhecimento do Ouvido Interno – Os Impulsionadores

A Otologia tem uma história amplamente rica, com importantes colaboradores e figuras de renome para a história da medicina. É de grande relevância o conhecimento temporal que levou ao desfecho do conhecimento que atualmente possuímos sobre o ouvido interno.

Pitágoras (570-495 a.C.), matemático-filósofo Grego do sec. 6 a.C. foi o primeiro a reconhecer que o som era uma vibração. Quando tal foi assumido, foi óbvio que ouvir dependia da recepção de uma vibração através do ouvido. Os estudiosos que surgiram depois de Pitágoras perceberam que a vibração do som era transportada pelo ar até ao ouvido. ^[1]

Empédocles (504-443 a.C.), a quem se atribui a primeira descrição da cóclea (nome de uma concha da zona mediterrânea), acreditava, por sua vez, que um estímulo externo era propagado internamente para produzir uma resposta. ^[2-3]

Hipócrates (460-370 a.C.) pensava que os ossos no interior da cabeça transportavam a vibração diretamente para o cérebro. No entanto **Galeno**, percebeu em 175 que eram os nervos que transmitiam as sensações. ^[1-3]

Galeno (129-217) estava entre os poucos cientistas da sua época que recolheu informação através da dissecação de cadáveres de macacos, cães e outros animais. No entanto este cientista não fez referência às estruturas do ouvido médio e ouvido interno. ^[1-2-4]

A maioria dos cientistas acreditava que a sede da audição era uma caixa com ar dentro do ouvido. Supostamente existia à nascença, era selada e reproduzia vibrações sonoras dentro do crânio. ^[1]

Com o renascimento surgiu a curiosidade e a iniciativa de se aprofundar diretamente questões anatómicas, nomeadamente o ouvido.

Andreas Vesalius (1514-1564), completou em 1543 o seu grande tratado de anatomia, onde continha a primeira descrição do ouvido médio. Vesalius descobriu que os ossículos eram separados e mais tarde contou a história. ^[1-4-5]

“Quando estava a limpar um crânio para a preparação de um esqueleto, um ossículo caiu do ouvido. Eu abri o órgão auditivo num crânio fresco e com esse ossículo descobri um segundo.” ^[1]

Vesalius tinha descoberto dois dos três ossículos do ouvido médio, o martelo e a bigorna. Ele não encontrou o terceiro, o estribo (que corresponde a metade de um grão de arroz). ^[1]

Gian Filippo Ingrassia (1510-1580) anos mais tarde descreveu o terceiro ossículo como estribo. “Tinha a forma do estribo, pois os estribos dos tempos anteriores eram um tipo de placa triangular sem o orifício distinto que adicionamos mais tarde através do qual pode ser desenhado” ^[1-4]

As próximas descobertas aconteceram rapidamente, **Bartolommeo Eustachio (1520-1574)**, anatomista italiano em 1563, descreveu a trompa de Eustáquio. Esta descoberta teve uma dupla importância, por um lado mostrou que não havia nenhuma caixa fechada hermeticamente de ar, e por outro lado os anatomistas começaram a questionar mais e a investigar. ^[1-4]

Em 1561, quando concluiu o seu trabalho, **Gabriele Fallopio (1523-1562)** abriu a janela e olhou por ela. Dentro, ele encontrou o labirinto enrolado do osso, cartilagem e a cóclea (e com isso os tubos em loop dos canais semicirculares). ^[1-2]

Dentro da cóclea, pensou **Gabriele Fallopio**, estava o ar implantado que todos desde que os gregos consideravam essencial para a audição. Lá, ele disse, o som implantado amplifica o som "como em um instrumento musical" e os movimentos do ar estimulam as extremidades de nervos do nervo auditivo. ^[1-5]

Embora muitos anatomistas tenham observado fluido dentro da cóclea, foi só em 1760 que o napolitano **Domenico Cotugno (1736-1822)** declarou que a cóclea estava preenchida por um fluido, não havendo espaço para o ar. ^[1]

Em 1777, um alemão, **Philipp Friedrich Meckel (1755-1803)**, numa noite gelada, removeu um osso temporal, e colocou-o no chão de pedra fora do seu laboratório. Na manhã seguinte, enquanto estudava a cóclea do osso congelado, encontrou-a completamente cheia de líquido congelado. ^[1]

Era claro, que não havia nenhum espaço na cóclea para o referido ar implantado. Após 2200 anos de investigação, a teoria de ar implantado foi finalmente afastada.

Antonio Mario Valsalva (1666-1723) foi o primeiro a descrever a anatomia do ouvido ao pormenor. A parte escrita por Valsalva sobre o ouvido interno pode ter sido a melhor na secção anatómica da sua obra. Ele descobriu e descreveu dois canais na cóclea, que denominou “*Scala*” e afirmou que um canal, a rampa timpânica, estava ligado ao tímpano através da janela redonda e o outro canal, a rampa vestibular, estava ligado ao vestíbulo através de um orifício situado na parte lateral da janela oval. Foi o primeiro a distinguir as três partes do ouvido (externo, médio e interno). ^[2-4-5]

Antonio Scarpa (1747-1832) descobriu o labirinto membranoso, descreveu o Sáculo, o utrículo e distinguiu o conteúdo fluido do labirinto ósseo e membranoso como perilinfa e endolinfa. ^[2-4-5]

Alfonso Corti (1822 a 1888), marquês italiano, realizou os primeiros estudos histológicos da orelha interna, identificando a microestrutura da cóclea. ^[1-2-5]

Ernst Reissner (1824 a 1878), anatomista alemão que participou nos estudos de Corti, aprofundando os conhecimentos sobre a anatomia microscópica da orelha interna. Dividiu a cóclea em três partes: média, timpânica e vestibular. ^[5-7]

Adam Politzer (1835-1920) realizou estudos notáveis em praticamente todas as áreas da otologia, compilando e melhorando teorias. Em 1865, publicou o seu atlas de otoscopia, além de outras importantes publicações. Politzer descreveu importantes tratamentos na otologia como a manobra de Politzer, uma técnica que permitia a permeabilidade e equilíbrio de pressões entre o ouvido médio e a nasofaringe. Influenciou e treinou muitos otologistas, inclusivamente o seu sucessor mais famoso, Robert Bárány, que veio a receber o Prémio Nobel de Medicina em 1914. ^[6-7]

Sistema Vestibular

Contribuição de Breuer e Mach

Josef Breuer (1842-1925), médico e fisiologista austríaco é provavelmente mais conhecido pelo seu trabalho com Sigmund Freud sobre histeria, no entanto ele passou grande parte da sua carreira científica a trabalhar nos recetores vestibulares do ouvido interno. Com o físico Ernst Mach, ele desenvolveu a teoria de Mach-Breuer da função do canal semicircular. Breuer foi o primeiro a reconhecer que o nistagmo resulta do fluxo endolinfático dentro dos canais semicirculares e que um único canal pode detetar o fluxo endolinfático em ambas as direções. [7-8]

Breuer apresentou a 14 de novembro de 1873, o seu trabalho inicial relativamente ao ouvido interno sob a forma de uma comunicação à Sociedade Imperial de Físicos em Viena. O artigo foi publicado no jornal da mesma sociedade, a 20 de novembro de 1873, e em 21 e 28 de novembro de 1873, ele lecionou à sociedade o tema "A função dos canais circulares do labirinto". [8]

Sua premissa básica considerava que os canais semicirculares detetam o movimento angular da cabeça pelo movimento do fluido (endolinfa) no seu interior. A endolinfa move-se em relação às paredes dos canais devido à sua inércia. Como os três canais semicirculares estão aproximadamente perpendiculares entre si, estes entram em movimento em todos os planos possíveis. Ao dissecar os canais semicirculares de aves, Breuer observou as extremidades neurais onde estão os cílios microscópicos, que se estendem para dentro da endolinfa. Ele levantou a hipótese de que esses cílios detetam a direção e a intensidade do fluxo da endolinfa e passam a informação para o cérebro através das terminações nervosas. [8]

Breuer estava familiarizado com o trabalho do fisiologista alemão **Friedrich Leopold Goltz (1834-1902)**, que tinha concluído em 1870 que os canais semicirculares estavam relacionados com o equilíbrio. No entanto, ele discordou da interpretação de Goltz de que o mecanismo da transdução sensorial é decorrente da pressão hidrostática da endolinfa nos canais semicirculares membranosos. Breuer argumentou que a teoria de Goltz era impossível em bases físicas, uma vez que um anel fechado com fluido não

apresentava flutuações de pressão interna de acordo com a posição espacial do sistema. Ele argumentou que a rotação de um tal anel em seu próprio plano poderia permitir que a endolinfa fosse deslocada em relação ao anel e que o fluxo de endolinfa estagnasse após um certo período como resultado da fricção nas paredes. [8]

Para explicar como o movimento da endolinfa no canal semicircular poderia levar à ativação dos terminais nervosos dentro da ampola, Breuer sugeriu uma analogia com os órgãos da linha lateral dos peixes. Estes são precursores primitivos dos movimentos sensoriais do canal semicircular na água, sendo que a informação é obtida pela flexão do recetor. [8]

Do ponto de vista clínico, a característica mais importante do trabalho de Breuer foi a descrição das oscilações oculares (nistagmo) associadas à estimulação de canais semicirculares. Em humanos saudáveis, observou que o nistagmo apresentava um componente lento e rápido que ocorria no plano de rotação. [7-8]

O componente lento era oposto em direção ao movimento da cabeça (isto é, compensatório), enquanto o componente rápido redefinia os olhos de modo que eles não se fixassem em uma extremidade da órbita. Os canais semicirculares detetam apenas aceleração angular (não velocidade), uma vez que o nistagmo começa com o início da rotação angular, mas gradualmente cessa após a obtenção de uma velocidade constante. [7-8]

O nistagmo reaparece com um componente rápido e lento na direção oposta quando a rotação angular é interrompida (desaceleração).

Breuer convenceu-se que essas oscilações oculares seriam puramente reflexos, já que ocorriam em pessoas cegas. [8]

No seu estudo com aves, Breuer observou que a cabeça, no seu todo, oscilava com componentes lentos e rápidos em resposta à estimulação dos canais semicirculares, um fenómeno que ele chamou de “nistagmo da cabeça”. [8]

Na sua apresentação inicial sobre como os canais semicirculares funcionam, Breuer incluiu uma combinação de revisão de literatura e suas observações pessoais de experiências em aves e humanos (particularmente, ele próprio).^[8]

Ernst Mach (1838-1916), professor de física em Praga, uma semana antes de Breuer apresentar o seu trabalho à Sociedade Imperial de Médicos, enviou um documento, com resultados e conclusões semelhantes, à Academia de Viena de Ciências.^[9]

Mach e Breuer concluíram as suas teorias de forma completamente independente com base em experiências diferentes e diferentes tipos de informação. Como Breuer, Mach teve vários interesses e contribuiu de forma importante em muitos campos diferentes. Sendo provavelmente mais conhecido pelo seu trabalho na área de fluidos mecânicos, onde o seu nome é usado como unidade para a velocidade do som. A sua larga experiência em psicofísica e dinâmica de fluidos proporcionou um fundo ideal para o estudo da função interna do ouvido humano.^[8-9]

Num livro publicado em 1875, ele descreveu como se interessou pelo assunto: "Eu notei a inclinação de casas e árvores enquanto estava a viajar num comboio. Isto é facilmente explicado se alguém sentir diretamente a aceleração inercial resultante."^[8]

Como físico, Mach estava bem informado da aceleração linear resultante associada a um movimento centrífugo. Ele convenceu-se de que os sensores para a aceleração linear estão localizados na cabeça, uma vez que a ilusão de inclinação não foi afetada pelo movimento do corpo, enquanto a cabeça permaneceu imóvel. Para provar a sua teoria de que o ouvido interno era o órgão responsável pela aceleração linear e angular, Mach construiu um dispositivo experimental projetado para girar pessoas sobre diversos eixos. A cadeira podia ser movida no centro de rotação para produzir uma força centrífuga. Para controlar os estímulos visuais, ele cobriu os indivíduos com uma caixa de papel. Estes usavam um ponteiro dentro da caixa que estava conectado a um ponteiro semelhante fora para indicar a sensação subjetiva de verticalidade.^[8-9]

Ao contrário de Breuer, Mach focalizou a sensação subjetiva de rotação ao invés do nistagmo reflexivo induzido pela rotação. Com o seu dispositivo rotativo, conseguiu demonstrar claramente que os recetores na cabeça sentiam uma aceleração linear e

angular. Mach especulou que a aceleração angular foi detetada pelos canais semicirculares, mas, ao contrário de Breuer, ele pensou não ser possível que a endolinfa fluísse dentro dos canais, que por serem muito estreitos e minúsculos produziram um grau muito alto de atrito. Ele sugeriu que o movimento angular provavelmente produziria uma pressão sobre os recetores da ampola dos canais semicirculares. ^[8-9]

Para se convencer disso, Mach realizou experiências usando pipetas de vidro fechadas do tamanho e forma do canal semicircular e um canal redondo em latão recoberto com vidro. Ele concluiu que não era possível que o fluido se movesse nesses minúsculos tubos circulares, de modo que o recetor sensitivo na ampola do canal semicircular poderá ter sido estimulado pela pressão, em analogia com a pressão que estimula os nervos da pele. ^[7-8-9]

Robert Bárány – Prémio Nobel da Medicina 1914

Robert Bárány (1876-1936) nasceu em Viena. Estudou Medicina na Universidade de Viena, terminando o curso em 1900. Há referências que o seu interesse nesta área foi despertado pelo desenvolvimento de tuberculose óssea durante a infância. Posteriormente, estudou sob a tutela dos professores C. Von Noorden e Krapelin, na Alemanha, e Sigmund Freud (antigo pupilo de Breuer), em Viena. Em 1903, trabalhou na área de otologia com Adam Politzer, sendo neste período que iniciou os seus estudos sobre o aparelho vestibular. ^[11-12]

Durante a Primeira Guerra Mundial, Bárány serviu o exército austríaco como cirurgião civil. Tendo sido capturado pelo exército russo, e transferido para um campo de prisioneiros de guerra em Merv (atual Turquemenistão). Aí, ele adoeceu com malária, mas continuou a trabalhar, pois os seus serviços eram necessários para tratar doentes russos e austríacos. Foi durante este período que com surpresa recebeu a notícia da atribuição do Prémio Nobel da Fisiologia e Medicina 1914, graças às suas descobertas sobre a fisiologia e patologia do aparelho vestibular. ^[11]

Em 1916, após várias negociações e a intervenção pessoal do Príncipe Carlos da Suécia e da Cruz Vermelha, Bárány foi libertado e dirigiu-se a Estocolmo, onde compareceu à

cerimónia de entrega do seu Prémio Nobel. Quando regressou a Viena, foi acusado pelos seus colegas de plágio, não citando devidamente as descobertas de outros cientistas e nas quais teria baseado o seu trabalho. Mais tarde, foi ilibado destas acusações pela Academia Sueca. Face a estas acusações, partiu com a família para Uppsala, na Suécia, em 1917, tornando-se professor e diretor de um instituto otológico. Morreu a 8 de Abril de 1936, com 59 anos, em Uppsala, após um acidente vascular cerebral. ^[11-12]

A “Reação Calórica”

Em 1870, já se sabia que o aparelho vestibular regulava o equilíbrio, sendo que, em 1874, após múltiplos estudos, se concluiu que os canais semicirculares constituíam o órgão que permitia ao indivíduo perceber movimentos rotatórios. Assim, uma disfunção destes canais causaria vertigem e nistagmo. ^[13]

No século XIX, o tratamento das otites consistia na irrigação do canal auditivo com água, através de uma seringa. Após este procedimento, os doentes desenvolviam vertigem e nistagmo por alguns segundos. Ocasionalmente, um doente comentou com Bárány que, ao realizar o procedimento em casa, aquecia a água de forma a prevenir as vertigens. O médico passou então a incluir o aquecimento da água no procedimento, verificando a sua eficácia. Contudo, se a água estivesse demasiado quente, os doentes também desenvolveriam vertigem e nistagmo. Assim, Bárány concluiu que as temperaturas extremas da água seriam responsáveis pela vertigem e pelo nistagmo, denominando este fenómeno de “resposta calórica”. ^[12-13]

Mais tarde, sugeriu que estas alterações de temperatura iriam alterar a densidade da endolinfa, sendo que, se aquecida, iria subir e, se arrefecida, iria descer. Esta corrente de convecção nos canais seria interpretada pelo cérebro como um movimento rotatório, provocando vertigem e nistagmo. ^[10-13]

Desta forma, se a resposta calórica estivesse presente, significaria que os canais semicirculares estariam íntegros. Por outro lado, se a resposta estivesse ausente, significaria que os canais estariam lesados. ^[10-13]

As observações de Bárány, ou seja, as atuais provas de estimulação calórica, permitem avaliar a integridade do Sistema Vestibular. ^[13]

Após verificar que o tímpano se encontra íntegro, a água é injetada no canal auditivo externo através de uma seringa. Em primeiro lugar, é injetada água fria e, em segundo, água quente. A prova é repetida no ouvido contralateral. Numa prova normal, a água quente provoca um nistagmo com fase rápida para o lado do ouvido estimulado. Contrariamente, a água fria provoca um nistagmo com fase rápida para o lado oposto. Se esta prova não provocar nistagmo, podemos estar na presença de múltiplas patologias, que partilham o facto de interferirem com a transmissão do sinal emitido até ao cérebro. ^[10-13]

Assim, uma simples tentativa de proporcionar um maior conforto ao doente após um procedimento permitiu compreender, em parte, a fisiologia do aparelho vestibular e desenvolver um método de diagnóstico de doenças. ^[13]

A importância deste conhecimento justificou a nomeação de Robert Bárány ao Prémio Nobel da Fisiologia e Medicina em 1914. ^[11]

Cóclea

Seletividade de Frequências na Cóclea

Uma das questões que despertou mais interesse ao longo do tempo, envolve o reconhecimento do som, ou seja, como distinguir as frequências do som. Em 1605, **Gaspard Bauhin (1560-1624)**, um anatomista suíço, da Universidade de Basel, apresentou uma teoria da ressonância da audição. No entanto, Bauhin tinha pouco conhecimento acerca das estruturas internas ao tímpano. "Quando as ondas aéreas batem no ouvido", sugeriu, "há ressonância em seus vários túbulos e espaços, profundamente no nervo auditivo. A ressonância é seletiva, pois as cavidades contêm aberturas de diferentes tamanhos, comprimentos e formas. Os sons graves são recebidos nos grandes espaços e os sons agudos nos pequenos. Assim, os diferentes sons são acomodados ". [1]

A teoria de Bauhin foi considerada durante grande parte do século XVII, mas entretanto as estruturas mais profundas do ouvido interno foram descritas, e essa descrição mostrou-se incompatível com a explicação de Bauhin. Em 1683, o anatomista francês **Joseph Guichard Du Verney (1648-1730)**, conselheiro médico do rei Luís XIV, desenvolveu uma teoria mais pormenorizada. No seu "Tratado do Órgão da Audição", Du Verney descreveu as estruturas espirais da cóclea, incluindo uma crista de osso chamada lâmina, que sofria depressão para o interior da espiral. (Ele não identificou as células ciliadas, pois naquela época os microscópios não eram suficientemente potentes para poderem detetar estruturas com este tamanho). [1-2]

Quando a lâmina sofre depressão no sentido superior, Du Verney observou que, gradualmente se estreita e, com base nisso, baseou a sua nova teoria da audição. Ele argumentou que diferentes partes da lâmina ressoam em diferentes frequências de som. [1-2]

Nesta versão da teoria da ressonância seletiva, a lâmina poderia ser comparada a uma mola de aço, Du Verney afirma que "as partes maiores produzem vibrações lentas e respondem a sons profundos, e as partes mais estreitas produzem vibrações mais rápidas e vivas e respondem aos sons agudos. O resultado é que, em virtude das diferentes vibrações da lâmina espiral, o nervo recebe diferentes sensações que representam no cérebro as várias características dos sons ". [1]

Por quase 175 anos, os cientistas aceitaram esta hipótese. Então, em 1851, Alfonso Corti descobriu o verdadeiro “centro da audição”. Há que compreender a dificuldade que este tipo de pesquisa representava para Corti e histologistas do seu tempo. Não havia micrótomos, o que incapacitava seccionar finamente certas formações anatómicas. No entanto, Corti concretizou as suas descobertas sem um micrótomo, separou os elementos histológicos, tratou-os com vários líquidos de fixação (alguns usados por ele pela primeira vez), colocou esses elementos embebidos em resina entre duas placas de vidro e examinou-os ao microscópico. Examinou sistematicamente mais de duzentas cócleas de bois, porcos, carneiros, gatos, cães, coelhos, toupeiras e ratos. Durante este estudo, ele trabalhou com várias soluções de corantes, a fim de visualizar melhor as peculiaridades histológicas. Corti identificou as milhares de pequenas células ciliadas que repousam sobre a membrana. Essas células sensíveis - agora conhecidas coletivamente como o órgão do Corti - constituem o atual órgão da audição, ligado através do nervo auditivo ao cérebro. ^[1-2-5]

O conhecimento da discriminação de frequências feito pela cóclea, ou seja, de como esta separa a informação auditiva num espectro de frequências, passou por várias fases históricas distintas até chegarmos ao momento atual de compreensão. ^[7]

Primeira fase - Elementos Ressonantes de Helmholtz

Em 1857, **Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894)** foi o primeiro a considerar a necessidade de uma boa discriminação de frequências no ouvido interno. Influenciado pelas recentes descrições da anatomia do órgão de Corti por Alfonso Corti, sugeriu que haveria dentro da cóclea elementos ressonantes espacialmente ordenados e independentes para cada frequência. Helmholtz foi um homem versátil de todas as ciências. Fisiologista, anatomista, matemático e físico, propôs - entre outras coisas - a lei básica de todas as ciências naturais, a teoria da conservação da energia. Helmholtz aceitou a ideia de ressonância seletiva proposta por Bauhin e Du Verney, mas percebeu que essa ressonância deveria envolver o órgão de Corti. ^[1-2-7]

Inicialmente, ele presumiu que as estruturas dentro do órgão ressoavam. Outros cientistas consideravam que essas estruturas não eram nem numerosas nem adequadamente complexas para a ressonância seletiva, então Helmholtz, mudou o

ressonador da sua teoria para as fibras da membrana basilar. A teoria de ressonância de Helmholtz assumia que cada onda sonora que entrava no ouvido induzia vibrações numa fibra basilar específica que respondia à frequência da onda. Essas vibrações, estimulavam o órgão de Corti, que transferia as vibrações para o nervo auditivo. Helmholtz, estava quase certo. Investigadores posteriores descobriram que as fibras individuais da membrana basilar não estão livres para ressonância, mas a própria membrana pode criar o efeito de ressonância. Em analogia aos instrumentos musicais, argumentou que se gritássemos próximo das cordas de um piano, algumas cordas ressoariam em correspondência às frequências de voz. A membrana basilar responderia similarmente, fazendo dessa forma uma análise espectral do som. ^[1-3]

Segunda Fase – Onda Viajante de Békésy (Prémio Nobel 1961)

Em 1928, **Georg von Békésy (1899-1972)**, engenheiro de comunicações em Budapeste, estudou as adaptações mecânicas e elétricas do equipamento telefónico às necessidades do mecanismo de audição humana. Um dia, no decorrer de uma conversa casual, um conhecido perguntou-lhe se estaria para breve uma melhoria significativa na qualidade dos sistemas telefónicos. Esta pergunta deu início a uma corrente de pensamento, levando a Békésy uma questão mais fundamental: "A qualidade do ouvido humano é melhor do que a de qualquer sistema telefónico?" ^[1]

Békésy estudou o ouvido interno construindo modelos mecânicos da cóclea - por ex. um tubo de metal cheio de água. Ao longo do comprimento do tubo, colocou uma fenda estreita coberta por uma membrana esticada, que servia como membrana basilar do modelo. ^[1-7]

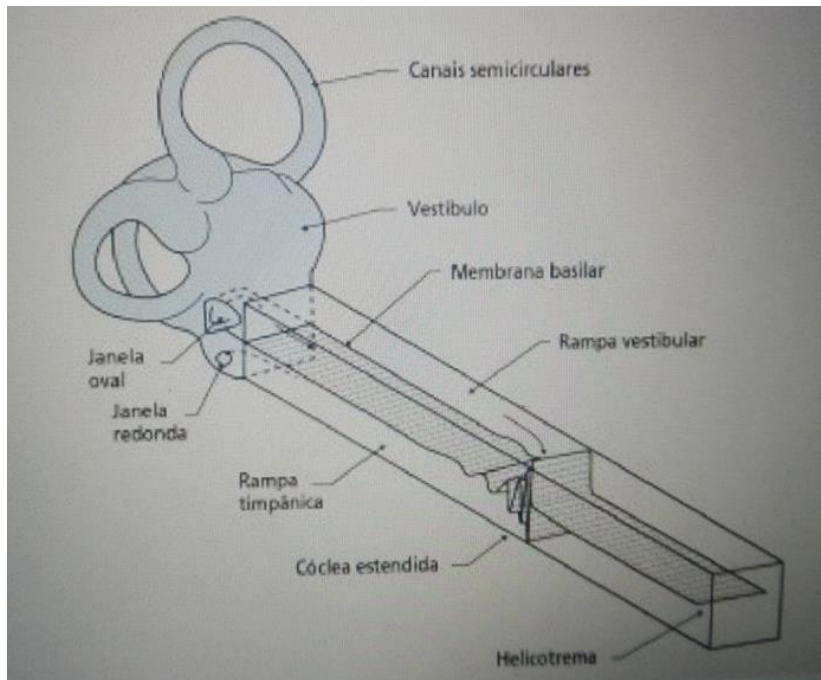


Fig.1 - A onda viajante de Békésy [7]

Quando o fluido foi colocado em movimento, ele observou, que causou uma protuberância ondulante ao longo da membrana. Mas ao ajustar a tensão da membrana ao longo da fenda ele foi capaz de confinar a maior parte da protuberância numa determinada região da membrana. A ondulação viajou ao longo do comprimento da membrana, mas a sua amplitude variava de posição: a protuberância era fina em toda a sua parte, exceto numa área, onde era larga. [1-4-7]

Békésy também detetou o mesmo movimento de onda na própria cóclea. Usando primeiro orelhas de animais e depois orelhas de cadáveres humanos, ele cortou cuidadosamente a cóclea e abriu uma pequena abertura no osso. Trabalhando sob um microscópio com "microferramentas" de sua própria invenção, abriu parte da membrana basilar. O fluido coclear foi drenado e substituído por uma solução salina contendo uma suspensão de alumínio em pó e carvão. [1-7]

Ao espalhar as micropartículas reflexivas na membrana de Reissner intacta, e selar as aberturas com cimento e vidro, ele observou através de microscópios os movimentos dessa membrana em resposta a estímulos sonoros aplicados ao meato acústico externo. Era a mesma onda viajante que tinha visto a percorrer a membrana artificial do seu modelo. [1-7]

Békésy assumiu que o padrão de vibração da membrana de Reissner assemelhava-se ao padrão de vibração da membrana basilar. Para poder observar esses movimentos ao microscópio usou iluminação estroboscópia. [7]

Em 1940, Békésy leu no jornal que um elefante tinha morrido no zoológico de Budapeste. Imediatamente foi ao zoológico pedir os ouvidos do elefante, mas soube que o corpo tinha sido enviado para a Universidade de Budapeste. Na Universidade informaram que tinham enviado a enorme carcaça para uma fábrica de cola. Aí, ele encontrou a cabeça ainda intacta. [1]

Nessa noite, Békésy, enviou o seu assistente para ver as porções do crânio que continham o ouvido interno. O jovem voltou com duas orelhas grandes e algum de osso. No entanto, quando Békésy olhou pelos canais auditivos, descobriu, que não tinham o ouvido interno. Como o canal auditivo de um elefante tem cerca de 20 cm de comprimento, o assistente não tinha serrado o suficiente. Békésy enviou-o de novo à fábrica de cola e desta vez ele voltou com a cóclea do elefante. Békésy verificou que, o fenómeno das ondas viajantes era claramente visível no elefante. [1]

A partir deste trabalho, Békésy desenvolveu a sua teoria das ondas viajantes: um impulso sonoro envia ondas que se propagam ao longo da membrana basilar. À medida que a onda se move ao longo da membrana, a sua amplitude aumenta até atingir o máximo, depois diminui acentuadamente até que desaparece. O ponto em que a onda atinge a sua maior amplitude é o ponto em que a frequência do som é detetada pelo ouvido. [1-7]

Como Helmholtz havia descrito, Békésy descobriu que os sons de alta frequência eram percebidos perto da base da cóclea e das frequências mais baixas em direção ao ápice. E ao contrário de Helmholtz, observou experimentalmente que a vibração do estribo não resulta numa simples ressonância de componentes mecânicos independentes. Na verdade, as diferentes regiões da cóclea estão mecanicamente associadas. [1-7]

Segundo as suas conclusões, a onda hidrodinâmica propaga-se desde a base até à cúpula da cóclea, produzindo movimentos oscilatórios da membrana basilar. Durante a sua propagação, a onda viajante cresce progressivamente em amplitude, atinge um pico e abruptamente decai. O local de vibração máxima da onda varia com a frequência do

estímulo, de tal forma que um som puro de alta frequência produz um pico de vibração próximo à base, enquanto tons de frequência baixa produzem picos mais próximos à cúpula da cóclea. [7]

Pelos seus estudos sobre a onda viajante, George von Békésy recebeu o Prémio Nobel em 1961. Os seus estudos concluíram que o órgão de Córti transforma a onda em eletricidade e assim estimula as terminações nervosas. [1]

Terceira fase - Amplificador Coclear

Metodologias mais recentes, como a técnica de Mossbauer e a interferometria por laser, demonstraram que os movimentos da membrana basilar num animal vivo diferem tanto quantitativamente quanto qualitativamente dos movimentos anteriormente observados *post mortem*. Para uma frequência específica, a vibração da membrana basilar no pico da onda viajante é muito mais localizada e apresenta uma amplitude consideravelmente maior. Além disso, a onda tem um comportamento não linear, ou seja, a resposta não tem um crescimento linear em relação à intensidade do estímulo, mas apresenta características de compressibilidade. Com o aumento do estímulo, a resposta é cada vez menor, surgindo que o processo funciona melhor com estímulos menores, mais próximos do limiar auditivo. [7]

Békésy ao observar apenas cócleas mortas ou danificadas descreveu o comportamento linear e passivo da membrana basilar. No entanto, num ser vivo, a capacidade de discriminação de frequências não resulta apenas das propriedades vibratórias da membrana basilar. Há um mecanismo ativo, motor, que amplifica localmente a vibração da membrana basilar, contrabalançando o alto grau de atrito existente dentro do compartimento fluido da cóclea, o que propicia a alta sensibilidade e capacidade de discriminação de frequências observadas na audição dos mamíferos. Este processo de amplificação é o que hoje chamamos de Amplificador Coclear Ativo. [1-7-15]

Atualmente o funcionamento da cóclea é caracterizado pelo conceito do Amplificador Coclear ou Cóclea Ativa, aqui a onda viajante de Békésy é amplificada localmente por um processo eletromecânico. Está, também, descrito que as células ciliadas externas exercem funções tanto de sensores como de elementos mecânicos de retroalimentação. [7-15]

Estes conceitos fundamentaram-se na descoberta de **David Kemp**, nascido em 1945. Os seus estudos comprovaram que o Ouvido Interno emite sons espontaneamente e quando observou as células ciliadas externas, verificou que apresentavam mobilidade quando eletricamente estimuladas *in vitro*. Esta é a base da descoberta das emissões otoacústicas, que clinicamente são aplicadas no rastreio auditivo neonatal. ^[7-14]

Conclusão

Esse tema é de grande importância para o meio acadêmico, sociedade, etc. pois conseguimos a partir do mesmo acompanhar todo o percurso da evolução do conhecimento do Ouvido Interno a par com o conhecimento da Otologia no geral e até de importantes leis Físicas. Este entrelaçar de ideias convergiram em grandes descobertas atuais, por exemplo, as emissões otoacústicas, entre outras.

Há várias peculiaridades, que gostaria de ter documentado, mas a distância temporal dos acontecimentos descritos neste trabalho dificultou o seu acesso.

Houve muitas dificuldades associadas a várias épocas, no entanto todas primam pelas suas estratégias de adaptação e pelo seu contributo fundamental que culmina no conhecimento que hoje possuímos.

Bibliografia

1. *Sound and Hearing*. (1969). New Jersey: Life Science Library – Time Life Books.
2. Nogueira Júnior, D. R. (2007). Breve História da Otorrinolaringologia: Otologia, Laringologia e Rinologia. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, 5.
3. Hawkins, J. E. (2004). Sketches of Otohistory Part 1: Otoprehistory: How It All Began. *Audiol Neurootol Audiology and Neuro-Otology*, 9(2), 66-71.
4. Mudry, Albert. (1998). A history of otology through the development of scientific and medical thought. *Acta Otorhinolaryngol Belg*, 257-70.
5. Pappas, D. G. (February de 1996). Otology through the ages. (I. American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation, Ed.) 114.
6. Mudry, Albert, (2015). History of Otology Volume II, A Tribute to Adam Politzer”, *Wayenborgh Publishing*.
7. Shirley Pignatari, W. L. (2018). *Tratado de Otorrinolaringologia*. Rio de Janeiro: Elsevier.
8. Gerald Wiest, R.W. (2002). The Pioneering Work of Josef Breuer on the Vestibular System. *American Medical Association*, 8.
9. Blackmore JT. (1972). Ernst Mach: His Work, Life and Influence. Berkeley: *University of California Press*.
10. Baloh RW, Jen JC. Hearing and equilibrium. In: Goldman L, Schafer AI, eds. *Goldman's Cecil Medicine*. 25th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2016: 2461-8.
11. Bracha A, Tan SY. Robert Bárány (1876–1936): The Nobel Prize-winning prisoner of war. *Singapore Med J*. 2015; 56(1): 5-6.
12. Nobel Lectures. (1967). *Physiology or Medicine 1901-1921*, *Elsevier Publishing Company*, Amsterdam.
13. Pearce JMS. Benign Paroxysmal Vertigo, and Bárány’s Caloric Reactions. *Eur Neurol* 2007; 57: 246-8.
14. Morton, C. C., & Nance, W. E. (2006). Newborn Hearing Screening - A Silent Revolution. *The New England Journal of Medicine*.
15. Hachmeister, Jorge E. History of medicine- An Abbreviated History of the Ear: From Renaissance to Present; *Yale journal of biology and medicine* 76 (2003), pp. 81-86.