



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Marília



**CULTURA  
ACADÊMICA**  
*Editora*

# A Morfologia e a Fonoaudiologia

Neivo Luiz Zorzetto

**Como citar:** ZORZETTO, Neivo Luiz. A Morfologia e a Fonoaudiologia. *In:* GIACHETI, Célia Maria; GIMENIZ-PASCHOAL, Sandra Regina. **Perspectivas em Multidisciplinares em Fonoaudiologia: da Avaliação à Intervenção.** Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. p. 15-56.  
DOI: <https://doi.org/10.36311/2013.978-85-7983-452-3.p15-56>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

# A MORFOLOGIA E A FONOAUDIOLOGIA

*Neivo Luiz ZORZETTO*

## INTRODUÇÃO

A comunicação humana não tem limites e nem regras. Um simples olhar, um gesto quase imperceptível, um discreto aceno de mão, uma sutil expressão facial, um elevar de ombros, um gosto, um cheiro, um leve toque físico, dentre outras tantas e inumeráveis manifestações corpóreas, despertam nas pessoas algum dos sentidos que lhes dão significado. Entretanto, os meios de comunicação mais importantes entre as pessoas são constituídos pela fala e pela audição, responsáveis pela formação da base das interações sociais complexas. A aquisição da linguagem talvez seja o mais complexo feito sensorio-motor de toda a fisiologia humana. Amplas áreas cerebrais estão envolvidas nas funções sensoriais, perceptivas e motoras da fala, como também o órgão da audição (A Orelha) e um intrincado conjunto produtor da fala. A fala envolve não apenas a Laringe (Órgão ou aparelho fonador), mas outros órgãos respiratórios e um extenso conjunto de músculos, desde a parede abdominal até os lábios. A laringe é a fonte primária de uma complicada série de sons que constituem a base da fala. Neste contexto, suas estruturas devem ser analisadas, incluindo-se a faringe, as cavidades bucal e nasal, as quais formam o “trato ou *segmento vocal*”. Tão essencial quanto, e estabelecendo uma inseparável interdependência com o órgão da fonação, está o órgão da audição – *a orelha humana*. Esse órgão, praticamente todo instalado no interior da parte petrosa do osso

temporal, é um espetacular ato de miniaturização feito pela natureza, que se antecipou à tecnologia. Trata-se de um conjunto de minúsculas e sensíveis peças morfológicas de dimensões milimétricas e submilimétricas, muitas delas visualizadas somente com o concurso do microscópio. Essa delicada anatomia lhe confere características singulares no que diz respeito ao seu papel funcional na transformação da energia sonora, desde a captação, condução e a integração mental, ao alcançar a área cortical auditiva no lobo temporal do encéfalo. Some-se a esses fatos fisiológicos que essa área do córtex auditivo se associa à área cortical da compreensão da fala no lobo parietal do encéfalo (área de Wernicke), e esta, por sua vez, associa-se à área da expressão da fala no lobo frontal do encéfalo (área de Broca). Nesse fenomenal mecanismo de ouvir, compreender e falar, e vice-versa, também estão agregados o órgão da visão e a função coordenadora do cerebelo, para garantir a linguagem falada, gestual e escrita. Desta forma, é imperativo aceitar que um razoável conhecimento da morfologia humana — embriologia, citologia, histologia e anatomia — assegure à Fonoaudiologia os elementos importantes para entender os mecanismos da produção da fala na avaliação e diagnóstico dos distúrbios da comunicação humana.

A audição é um fenômeno complexo no qual atuam dois componentes, um fisiológico e outro psicológico, isto é, um processo de elaboração mental como consequência de um estímulo sonoro. Assim é que, para a Fonoaudiologia, a audição evoca a intensidade e a frequência dos sons, enquanto a Psicologia evoca o símbolo e a estrutura. A audição depende do estímulo sonoro, que passa por um mecanismo de captação, condução e transformação até sua integração mental (conforme já mencionado), mas, para que isso aconteça, uma elegante sucessão de eventos ocorre com a transformação da energia sonora em diversas outras formas de energia até que se complete aquele ato fisiológico.

Informações sólidas sobre a anatomia e a fisiologia da Orelha humana garantem não apenas o entendimento seguro do seu complexo funcionamento, mas também a confiança da Fonoaudiologia ao alinhar os critérios protocolares na busca correta dos diagnósticos que asseguram convicção nos tratamentos aos quais se submetem seus pacientes.

Isto posto, é oportuno apresentar como objetivo, a seguir, uma exposição descritiva e sucinta do “Órgão da Audição”, ou seja, da Orelha Humana, com o fito de revisar sua constituição e construção.

## ORELHA HUMANA - OUVIDO HUMANO

Pode-se dizer que a *Orelha Humana* é um *órgão-sistema* de extrema complexidade morfológica e funcional, cuja responsabilidade fisiológica consiste em receber, compreender e responder à sensibilidade sonora e às mudanças gravitacionais e do movimento. É formado por frágeis e delicadas estruturas de dimensões milimétricas, alojadas dentro do mais complicado osso do crânio, o *temporal*.

Topograficamente, distingue-se neste órgão três partes ou compartimentos, cada qual com distintas características estruturais e funcionais, nomeadas, respectivamente, *orelhas externa, média e interna*.

A *orelha externa* é formada de duas partes: a *orelha* ou *pina* (durante muito tempo chamada *pavilhão auricular* ou *pavilhão da orelha*), que é responsável pela captação do som; e um canal ou conduto, denominado *meato acústico externo*, que se estende da concha da orelha para o interior do órgão até alcançar uma parede de natureza membranácea, a *membrana do tímpano*, que determina o limite entre a *orelha externa* e a *orelha média*.

A *orelha* (*pavilhão da orelha* ou *pavilhão auricular*) tem forma complicada, bizarra, que, provavelmente, direciona as ondas sonoras para o meato acústico externo. A orelha é também importante na localização da origem dos sons, sendo relativamente imóvel no homem, embora a maioria dos animais consiga movê-lo na direção da fonte sonora e assim melhorar a sensibilidade.

A orelha ou pina é formada por uma placa irregular de cartilagem elástica, coberta de pele, que lhe confere forma peculiar, com depressões e elevações.

Estruturalmente, a *orelha* é constituída por uma fina placa de cartilagem elástica coberta por uma membrana conjuntiva rija, denominada **pericôndrio**, sobre o qual se dispõe uma camada fina de tecido fibroso e a pele. A *orelha* está unida às partes adjacentes por músculos e ligamentos. É

contínua com a parte cartilaginosa do *meato acústico externo*, que se prende à porção óssea através de tecido fibroso. Na superfície lateral da *orelha*, a pele adere firmemente ao *pericôndrio*, o qual contém abundantes fibras elásticas. A presença de pêlos abundantes, porém rudimentares nos jovens, ocorre em todo o pavilhão, contudo no *trago* e *antitrago* são longos e espessos, particularmente em homens idosos. *Glândulas sebáceas* são encontradas nas duas faces da orelha, mais concentradas na concha, na escava e na fossa triangular. Poucas *glândulas sudoríparas* ocorrem, assim mesmo dispersas.

Dois grupos de *ligamentos* contribuem na fixação da orelha: *extrínsecos* e *intrínsecos*, e três *músculos auriculares extrínsecos* inserem-se na *orelha* e no crânio

O *meato acústico externo*, comumente chamado canal auditivo ou conduto auditivo externo, é um tubo cheio de ar pelo qual as ondas sonoras devem passar para atingir a orelha média. A forma do meato e a coluna de ar lhe conferem uma frequência ressonante que tem uma faixa ampla de sintonia, graças à elasticidade das suas paredes. As frequências mais próximas da frequência ressonante chegam à orelha média com menor atenuação que as frequências mais altas e mais baixas. Muito da sensibilidade diferencial da audição humana deriva, portanto, da forma e das características físicas do meato acústico externo.

O *meato acústico externo* estende-se desde a *concha* até a *membrana do tímpano*, e mede, aproximadamente, 25 milímetros de comprimento na parede póstero-superior; porém a parede ântero-inferior é cerca de 6 milímetros mais longa, devido à posição inclinada da membrana do tímpano.

Estruturalmente, o *meato* consiste de um terço lateral cartilaginosa e dois terços mediais ósseos. A cartilagem do meato é contínua com a do pavilhão da orelha e ligeiramente côncava anteriormente, o que facilita a introdução do espécúlo, puxando-se a orelha posteriormente. O meato tem uma forma discretamente sinuosa, e a secção transversa é oval ou elíptica. Apresenta duas constrições: uma na extremidade medial da parte cartilaginosa e outra na parte óssea denominada *istmo*.

Para a Fonoaudiologia, é importante estar ciente de que a morfologia da orelha e do meato, embora obedeça a um padrão comum

de construção, exibe variações entre os indivíduos, fato a ser considerado na adaptação de Aparelho de Amplificação Sonora Individual (AASI). A parte cartilaginosa do meato tem 9 milímetros de comprimento e fixa-se na circunferência da *parte* óssea através de tecido fibroso. A parte óssea é mais estreita a mais comprida (16 milímetros) do que a cartilaginosa. Dirige-se medial, anterior e um pouco inferiormente, formando uma curva suave. A extremidade medial do meato ósseo é mais estreita do que a lateral, marcada por um *sulco timpânico*, onde se insere o anel ou *ânulo fibrocartilaginosa* da *membrana do tímpano*. A pele que forra o meato é a mesma que reveste a orelha e estende-se até cobrir a face externa da *membrana do tímpano*. Essa pele é fina, sem papilas dérmicas, sensivelmente mais espessa na parte cartilaginosa do que na óssea, onde é extremamente fina, especialmente próximo da membrana do tímpano, onde está firmemente presa ao *periósteo*. Neste fato reside a explicação da intensa dor provocada pelas inflamações no meato, devido ao exacerbado aumento de tensão nos tecidos circunjacentes, mormente pela rica inervação sensitiva desta área. No tecido subcutâneo da porção cartilaginosa do meato são encontradas *glândulas sebáceas*, *ceruminosas* e folículos pilosos. Na pele da porção óssea do meato não existem pêlos nem glândulas, exceto na parede superior.

A “*cera do ouvido*” ou *cerume* é uma composição de secreções das glândulas ceruminosas e sebáceas. Os ductos das glândulas ceruminosas abrem-se na superfície do epitélio da pele ou na glândula sebácea de um folículo piloso. O *cerume* evita a entrada de pequenos corpos estranhos no meato, como insetos, e também protege o revestimento do meato de possível maceração pela retenção de água. Atribui-se à cera importantes propriedades antibacterianas e antifúngica, o que ajuda a preservar a integridade do meato acústico externo e reduzir a possibilidade de infecções. A produção de cera depende de vários fatores, tais como as condições da pele, estado febril, irritações do meato e estado emocional dos indivíduos. Tais fatores alteram a quantidade e a qualidade da cera produzida, com isso alterando a resistência do meato a infecções. O excesso de cerume, contudo, pode resultar em passagem diminuição da audição quando obstrui completamente o meato, dificultando a vibração da membrana do tímpano.

A pele tem como característica fundamental renovar-se permanentemente, isto é, a pele cresce de baixo para cima, onde as células

mortas da camada córnea descamam como a caspa do couro cabeludo. Se isto ocorresse no meato acústico externo, rapidamente estaria completamente preenchido por células mortas da pele. De fato, o que ocorre é que a pele do meato migra de dentro para fora na mesma velocidade que crescem as unhas dos dedos da mão. Na parte cartilaginosa do meato, a camada da pele que descama mistura-se com a cera, o que, de certa forma, contribui para aumentar sua consistência.

As relações da parede anterior do meato com a fossa mandibular são importantes, visto que os movimentos da mandíbula influenciam, em parte, na luz da porção cartilaginosa do meato. A glândula parótida também relaciona-se com as paredes anterior e inferior do meato. *A inervação sensitiva* da orelha e do meato acústico externo é feita pelo *n. auriculotemporal* (ramo do n. mandibular), pelo *n. auricular magno* (ramo do plexo cervical, C2 e C3) e pelo *ramo auricular do n. vago*. *Possivelmente, a concha recebe também ramos do n. facial e do n. glossofaríngeo*. Embora sem confirmação, atribui-se ao *n. facial* a inervação da pele das duas faces da orelha, do meato acústico externo e da membrana timpânica.

## MEMBRANA DO TÍMPANO

A *cavidade do tímpano* ou *cavidade timpânica* é fechada lateralmente pela *membrana do tímpano*, que serve como limite entre a *orelha média* e o *meato acústico externo*. Essa membrana é geralmente elíptica, às vezes completamente oval. É muito fina, com 0,1 milímetro de espessura, semitransparente; seu diâmetro vertical mede entre 9 e 10 milímetros e o antero-posterior, de 8 a 9 milímetros, com uma área de aproximadamente 60 milímetros<sup>2</sup>. Está colocada obliquamente, inclinando-se medialmente da parede póstero-superior para a ântero-inferior do meato, formando ângulos de mais ou menos 55° com a parede inferior e de cerca de 140° com a parede superior, embora a membrana varie muito na forma, tamanho e inclinação. A membrana está voltada, lateralmente, para frente e para baixo, “*como se captasse os sons refletidos do solo conforme se avança*”. Exibe aspecto levemente côncavo na face externa, devido à tração do cabo do *martelo* (o primeiro dos três ossículos da orelha média), que está firmemente fixo à face interna da membrana. O ponto

mais deprimido no centro da membrana chama-se *umbigo do tímpano* e corresponde à extremidade do cabo do martelo. A partir desse ponto, uma linha esbranquiçada, a *estria malear*, causada pelo brilho do cabo, é vista na face externa, passando em direção à margem superior, na otoscopia normal. Na extremidade superior da estria aparece uma delgada projeção, a *proeminência malear*, formada pelo *processo lateral* (curto) do martelo. Daí partem as pregas (também chamadas estrias ou ligamentos) maleares anterior e posterior, que se dirigem às extremidades (*espinhas timpânicas*, anterior e posterior) do *sulco timpânico do anel timpânico do osso temporal*. A pequena área triangular delimitada pelas pregas é denominada *parte flácida* da membrana timpânica. Um epônimo muito usado para esta área é a *membrana de Shrapnell*. A *parte flácida* é fina e frouxa, está diretamente aderida à incisura timpânica do osso timpânico. Não é incomum a presença de pequena perfuração na membrana flácida. A maior parte da membrana timpânica ou *parte tensa* está firmemente distendida e situada inferiormente às *pregas* ou *ligamentos maleares* (estrias timpânicas anterior e posterior). A margem periférica da *parte tensa* mostra um espesso limbo formado por um anel *fibrocartilágneo* que se encaixa, à semelhança de um vidro de relógio, no *sulco timpânico ósseo* situado na extremidade interna do meato acústico externo. Esse sulco não é completo, está ausente na parte superior do anel timpânico do osso temporal, num espaço situado entre as espinhas timpânicas anterior e posterior. Esse espaço é conhecido como *incisura timpânica (insisura de Rivino)*. Nessa área, a parte *flácida* da membrana também não apresenta o ânulo cartilágneo e prende-se mais fracamente do que a *tensa*, na incisura timpânica. A membrana timpânica viva, normal, apresenta cor pérola acinzentada e reflete um “cone de luz” (reflexo luminoso) no quadrante ântero-inferior, usualmente chamado “cone luminoso”.

Estruturalmente, a *parte tensa* consiste de três camadas:

1. uma camada externa, a *camada cuticular*, derivada da pele que forra o meato, formada por epitélio estratificado, cujas células migram a partir do umbigo para a periferia, à razão de 0,05 milímetros por dia;
2. uma camada intermédia, a *camada fibrosa*, formada por um o estrato externo de fibras radiais e por um estrato interno de fibras circulares;



3. uma camada interna *ou camada mucosa* que é contínua com a mucosa que forra a cavidade timpânica.

A *parte flácida* é mais frouxa, porém, mais espessa do que a *tensa*, segundo estudos recentes. Consiste também de três camadas: *epitelial, fibrosa e mucosa*.

Os nervos sensitivos da membrana timpânica provêm do *ramo auriculotemporal* do n. mandibular, do *ramo auricular* do n. vago e do *ramo timpânico* do n. glossofaríngeo.

O papel funcional da membrana timpânica é vibrar quando a energia sonora (o som) incide sobre ela, mas a vibração desta membrana não é simétrica e a amplitude da sua oscilação é maior na periferia do que no centro. Estudos cinematográficos de alta velocidade demonstraram que a membrana vibra mais na zona intermédia do que no centro e na periferia, e, também, que no quadrante ântero-superior a vibração é maior do que no ântero-inferior. A área de vibração efetiva da membrana é de aproximadamente 2/3 da sua área anatômica. A membrana é pouco seletiva, isto é, vibra igualmente para a maioria das frequências. A frequência de ressonância é de 1.400 Hertz e, nesta frequência, a vibração da membrana cessa 4 milésimos de segundo após parar o estímulo sonoro, o que mostra seu grande poder de amortecimento.

## ORELHA MÉDIA-OUVIDO MÉDIO

A *orelha média* é a parte do órgão incumbida de executar três importantes funções: transmissão do som, amplificação do som e proteção da orelha interna contra sons muito intensos.

A *orelha média* consiste de uma pequena câmara penumática (cheia de ar) na parte petrosa do osso temporal, denominada *cavidade do tímpano*. Essa cavidade comunica-se com a nasofaringe através de um canal ósteo-cartilágneo, a *tuba auditiva*. Em direção oposta, comunica-se também com a *cavidade mastóidea (antro mastóideo)* e com as células aéreas do *processo mastóide* do osso temporal. Na *cavidade do tímpano* existe uma *cadeia ossicular* formada por *três ossículos* articulados que se estendem da membrana timpânica até a *orelha interna*, cujo papel funcional é transmitir

as vibrações da membrana, provocadas pelas ondas sonoras que incidem sobre ela. Pode-se dizer que a membrana timpânica e os três ossículos da orelha média formam um complexo tímpano-ossicular, ao qual cabe a importante função de transferir a energia das vibrações do meio aéreo, elástico e compressível da orelha externa, para vencer a inércia dos líquidos incompressíveis que envolvem as células auditivas primárias, que são os receptores especializados da orelha interna.

Fazem parte da orelha média: a cavidade do tímpano, a cavidade mastóidea e a tuba auditiva, de tal forma interligadas para formar uma *câmara pneumática* irregular, contínua através de passagens, em sua maior parte dentro do osso temporal. A *cavidade timpânica* forma-se, embriologicamente, a partir do alargamento de uma fenda embrionária, como consequência da expansão dos sacos endoteliais da primitiva tuba auditiva. Esse processo se faz concomitantemente, com o alargamento do hipotímpano, com a rotação externa da membrana timpânica e o com o alongamento do processo mastóide produzido pelo crescimento do músculo esternocleidomastóideo, que traciona o processo mastóide. Durante as fases deste processo vão se formando as paredes labiríntica e posterior da cavidade timpânica, que resultam em complicados acidentes anatômicos evidenciados na cavidade definitiva. Na parede labiríntica, distinguem-se três depressões: *Fóssula da janela do vestíbulo*, *Seio do tímpano* e *Fóssula da janela da cóclea*. Na primeira, posiciona-se o *estribo*, cuja base fecha a *janela do vestíbulo ou oval*; na segunda, o osso separa a cavidade da *ampola do canal semicircular posterior do labirinto*; e na terceira, encontra-se a *janela da cóclea ou redonda*, fechada pela *membrana secundária do tímpano*, que separa a cavidade timpânica da *rampa timpânica da cóclea*. É importante que o cirurgião otológico esteja atento aos vacilantes degraus do desenvolvimento destas áreas, pois nelas se praticam intervenções a distâncias milimétricas de estruturas vitais da audição e do equilíbrio e também do *nervo facial*. Isso exige um conhecimento prévio e seguro das formas comuns e incomuns de apresentação desta complicada anatomia, visto ser sede de algumas patologias, como a otosclerose, a otite granulosa e o colesteatoma, dentre outras, cujo tratamento é quase sempre cirúrgico.

A *cavidade* definitiva é um pequeno espaço cheio de ar, cujo volume varia de 50milímetros<sup>3</sup> a 90milímetros<sup>3</sup>, comprimido lateralmente,

forrado por mucosa aderida ao periósteo Essa cavidade estende-se num plano oblíquo anteroposterior e consiste de três partes:

1. a *cavidade timpânica* propriamente dita, que corresponde à área de frente a membrana do tímpano (*mesotímpano*);
2. o *recesso hipotimpânico (hipotímpano)*, situado abaixo do limite inferior da membrana;
3. o *recesso epitimpânico ou ático*, posicionado acima do limite da membrana. Neste recesso encontra-se a articulação *incudo-malear* (entre o martelo e a bigorna).

A cavidade timpânica mede cerca de 15 milímetros nos diâmetros vertical e ântero-posterior, enquanto a dimensão transversa mede 6milímetros na parte mais alta e 4 milímetros na posição mais inferior, sendo que no centro, ou seja, do *umbigo do tímpano* (depressão localizada no centro da membrana timpânica) até a parede interna mede apenas 2 milímetros. O espaço da cavidade timpânica pode ser reduzido na presença de fossas jugulares proeminentes.

Distinguem-se, na cavidade timpânica, alguns limites.

A *parede lateral* ou *membranácea* é formada pela *membrana timpânica* já descrita.

A *parede superior* ou tegmentar (*tegmen tympani*) é o teto da cavidade, formado por uma placa de osso compacto de espessura variável, que constitui ao mesmo tempo parte do assoalho da *fossa média* da cavidade craniana. Essa parede óssea exhibe normalmente pequenos pertuitos vasculares e áreas defectivas (deiscências), que deixam em contato direto a dura-máter com a mucosa da cavidade timpânica. Essas áreas deiscências no teto do tímpano constituem uma via de comunicação perigosa com a fossa média do crânio na presença de patologias da orelha média.

A *parede inferior* ou *parede jugular* é o assoalho da cavidade, também denominada *hipotímpano*, e a camada óssea pode ser muito fina ou muito espessa, dependendo do grau de desenvolvimento do *bulbo jugular* que ocupa a *fossa jugular*. Essa fossa é proeminente em 27% dos casos e pode ocupar todo o hipotímpano. Quando a *fossa jugular* é muito proeminente, usualmente a parede óssea é fina, e deiscências podem

ocorrer, assim como ausência total de osso, deixando a parede do *bulbo jugular* em contato com a mucosa da cavidade timpânica.

A *parede posterior* ou *mastóidea* vai do anel timpânico de um lado à cápsula labiríntica do outro; numerosas células aéreas timpânicas estão presentes. Uma elevação, a *eminência piramidal*, destaca-se da parede, e do seu ápice uma pequena abertura deixa passar o tendão do *m. estapédio*, cujo ventre muscular está contido na cavidade estapedial da eminência.

A *parede anterior* ou *parede carótica* contém o *semicanal do músculo tensor do tímpano* e o *óstio timpânico da tuba auditiva*. A parede anterior está separada da *a. carótida interna* por uma placa óssea de espessura variável, geralmente muito fina, na qual são descritas raras deiscências.

A *parede labiríntica ou interna* é sede de importantes e vitais estruturas estreitamente relacionadas com a orelha interna e também com o segmento timpânico do *Nervo Facial*. Essa parede é comumente marcada por três depressões: *fóssula da janela do vestíbulo*, *seio do tímpano* e *fóssula da janela da cóclea*.

A *fóssula da janela do vestíbulo (nicho do estribo)* está limitada: superiormente, pela *proeminência do canal facial* que contém o *nervo facial*; inferiormente, pelo *promontório*, protuberância determinada pelo *giro basal da cóclea*; anteriormente, pelo *processo cocleariforme do semicanal do músculo tensor do tímpano*; posteriormente, pela *eminência piramidal*.

No fundo da *fóssula da janela do vestíbulo* está a *janela do vestíbulo ou janela oval*, fechada pela *base (platina) do estribo*, que, por sua vez, se prende às margens desta janela pelo importante ligamento anular e forma a *sindeose timpanoestapedial (vestíbulo-estapedial)*. Essa juntura exerce papel funcional vital na transmissão do som para a orelha interna e é também local de eleição para a otosclerose.

## OSSÍCULOS DA AUDIÇÃO

Os *ossículos da audição* formam uma cadeia articulada suspensa na cavidade do tímpano, responsável, juntamente com a membrana timpânica, pela condução das ondas sonoras da orelha externa para a orelha interna.

O *martelo (Malleus)* é o primeiro e o maior ossículo da cadeia, mede 8 ou 9 milímetros de comprimento, e nele se identificam a *cabeça, o colo, um processo lateral, um processo anterior e manúbrio ou cabo*. A *cabeça do martelo* ocupa o recesso epitimpânico, apresenta uma *face articular* revestida de cartilagem para se articular com o corpo da bigorna e formar a *articulação incudo-malear*. O *colo* é estreito; imediatamente abaixo dele, o martelo alarga-se e aí nota-se um discreto espessamento donde partem os dois processos: o *processo anterior (longo)*, muito fino, quase sempre encontrado fraturado ou parcialmente absorvido (sem prejuízos para audição); e o *processo lateral (curto)*, que é mais curto e provoca uma elevação na face externa da membrana timpânica (a proeminência malear). Este processo apresenta uma tênue cobertura cartilaginosa na qual se fixa a parte tensa da membrana. Da proeminência malear partem as *pregas maleares anterior e posterior*, limitantes da *parte flácida* da membrana timpânica. O cabo é longo, com a extremidade achatada em forma de espátula, firmemente presa à membrana do tímpano, cuja lâmina própria se divide para envolver o manúbrio ao nível do umbigo do tímpano.

O martelo é sustentado pela sua fixação na membrana do tímpano, pelo *músculo tensor do tímpano*, pelos *ligamentos próprios* e pela *articulação com a bigorna*.

A *bigorna (Incus)* consiste de um corpo, um *processo curto* ( $\pm 5$  milímetros), um *processo longo* ( $\pm 7$  milímetros) e o *processo lenticular*. O *processo curto* é mais espesso do que o *longo* e ambos divergem a partir do corpo, formando um ângulo de  $100^\circ$  mais ou menos. Assemelha-se a um dente pré-molar, com duas raízes divergentes, comparáveis aos processos longo e curto. O corpo da bigorna é aproximadamente cubóide e apresenta uma face articular em forma de cela, para se articular com a face correspondente da cabeça do martelo. O *processo curto* da bigorna estende-se posteriormente, ocupando a *fossa da bigorna* onde está fixo por um ligamento. O *processo longo* estende-se para baixo, paralelo ao manúbrio do martelo, terminando no *processo lenticular*, que exibe uma face convexa onde se encaixa a superfície côncava da cabeça do estribo para formar a *articulação*.

O *estribo (Stapes)* é o menor elo da cadeia ossicular. Pesa em média 2,8 miligramas e mede, em média, 3,26 milímetros de altura. Consiste da

*cabeça, base e dois ramos* ou *duas cruras*. O *ramo anterior* é reto e mais fino do que o *posterior*, que é encurvado e por isso mais longo. Nota-se uma área irregular imediatamente acima do ramo posterior, representada pelo local de inserção do tendão do *músculo estapédio*. O espaço limitado pelos arcos dos ramos é o *forame obturado*, que às vezes é fechado por uma lâmina da membrana mucosa, a *membrana obturatória estapedial*. A *cabeça do estribo* é a parte que mais variações apresenta, devido aos diferentes graus de reabsorção óssea fetal. O *colo do estribo* não é sempre bem definido, quando ocorre é representado por uma área constricta entre a cabeça e o ponto de origem dos ramos. O tendão do músculo estapédio insere-se no colo (75% dos casos), ou na cabeça ou no ramo posterior do estribo. Os *ramos* elevam-se das extremidades da base (*platina*) e unem-se lateralmente para formar o *arco crural* e limitar o *forame obturado*. Os ramos são formados de osso laminar escavado, apresentando na seção transversa forma de C. O encontro dos ramos dá a forma característica do estribo e, dependendo do comprimento e curvatura dos ramos, a forma do forame obturado se modifica. Os ramos variam muito em tamanho, podendo ser desde uma delgada haste até uma forte coluna. O ramo anterior é sempre mais delgado e mais reto (ramo retilíneo) do que o ramo posterior, que é curvo (ramo curvelíneo). Raramente o ramo posterior é mais reto do que o anterior. A *base* ou *platina* do estribo é também muito variável. Exibe formas oval, elíptica ou reniforme. É mais comum apresentar a margem superior ligeiramente convexa, e a inferior, retilínea. A circunferência da base mede, em média, 7,45 milímetros; o comprimento médio é de 2,99 milímetros; e a largura média é de 1,41 milímetros. A periferia da base do estribo articula-se com as margens da janela do vestíbulo (janela oval) através de um ligamento de fibras elásticas, o *ligamento anular*, e assim forma a *articulação tímpanoestapedial* (sindesmose).

## ARTICULAÇÕES OSSICULARES

As articulações ossiculares são *articulações verdadeiras ou sinoviais*. Cada articulação possui cápsula articular de tecido fibroso (derivado do periosteio dos ossos articulantes), forrada por *membrana sinovial*. Essas articulações podem apresentar *discos intra-articulares*.

1. A articulação *incudomalear* é uma diartrose de encaixe recíproco (selar), formada pelo martelo e bigorna.
2. A articulação *incudoestapedial* é também uma articulação sinovial, *diartrodial*, do tipo esféride, entre o *processo lenticular da bigorna* e a *fôvea da cabeça estribo*.
3. A articulação *tímpanoestapedial* (vestíbuloestapedial) é uma *sindesmose* (*anfiartrose*) entre a base do estribo e a janela do vestíbulo. Essa articulação é um dos locais de eleição para a *otosclerose*. O ligamento anular segura a base do estribo na janela do vestíbulo, imbricando suas fibras conjuntivas elásticas com o periósteo da cavidade timpânica e o endósteo da cavidade vestibular do labirinto.

Os dois músculos ossiculares, associados, respectivamente, ao martelo (m.tensor do tímpano) e ao estribo (m.estapédio), exercem ação antagonista sobre a base do estribo. O m. estapédio age, puxando a estribo para fora da janela vestibular, enquanto o m.tensor do tímpano age, puxando o cabo do martelo para dentro da cavidade timpânica, distendendo a membrana do tímpano e empurrando a base do estribo para dentro da janela vestibular. A contração destes músculos é reflexa e tão rápida como piscar, a partir de sons de intensidade superior a 45 decibéis (dB). A contração muscular deprime sensivelmente a transmissão dos tons graves; por outro lado, devido à maior tensão da membrana do tímpano, não modifica nem favorece a transmissão dos tons agudos. A ação depressora sobre os tons baixos, reconhecidamente prejudicial quando intensa, resulta numa proteção da orelha interna.

A *tuba auditiva* ou *tuba faringotimpânica* é uma das mais complicadas estruturas do corpo humano. Trata-se de um canal ósteo-cartilágneo, que comunica a cavidade do tímpano com a parte nasal da faringe, permitindo a ventilação dos espaços pneumatizados do osso temporal e protegendo-os contra possíveis agressões bacterianas. Tem o importante papel funcional, dentre outros, de estabelecer o equilíbrio da pressão do ar nas duas faces da membrana do tímpano. A tuba mede, aproximadamente, 35 a 38 milímetros de comprimento, sendo um terço ósseo e dois terços de fibrocartilagem. Sabe-se que as cavidades timpânica e mastóidea são forradas por mucosa que absorve o oxigênio do ar circulante e, também, libera pequenas quantidades de dióxido de carbono, produzido

pelo metabolismo do organismo, de modo bastante semelhante à respiração pulmonar, porém em proporção bem menor. A absorção do oxigênio pela mucosa faz com que a pressão na orelha média diminua lentamente. Nos atos de engolir, bocejar ou espirrar, a *tuba auditiva* abre-se um pouco, de modo a permitir que uma pequena quantidade de ar suba para as cavidades timpânica e mastóidea, para restabelecer o que foi absorvido. Acredita-se que, para manter o equilíbrio entre as pressões interna e externa, seja necessário 1milímetros<sup>3</sup> de ar por dia, para cada orelha. O papel funcional da tuba auditiva consiste em igualar o nível da pressão externa com a pressão na orelha média, o que representa uma condição fundamental para o bom funcionamento da membrana do tímpano, que deve ter igualada a pressão do lado externo com a do lado interno, para vibrar livremente. Qualquer condição que prejudique o funcionamento da tuba auditiva resulta numa falha na ventilação da orelha média e a consequente redução da pressão no mesmo. Se a pressão for muito baixa, a membrana timpânica é puxada para dentro e se retrai, havendo uma diminuição na audição. A diferença entre a pressão externa e a pressão dentro da orelha média é percebida nos resfriados, quando a tuba é parcialmente fechada, ou nas mudanças bruscas de altitude, como após a decolagem de avião ou na subida e descida de serras, em automóvel. Essas mudanças de pressão são percebidas na orelha, acompanhadas de dor e sensível perda de audição, e, em casos severos, podem até romper a membrana.

A mucosa que forra a orelha média é do tipo respiratório, isto é, reage produzindo muco, do mesmo modo que a mucosa respiratória reage em qualquer outra parte do sistema respiratório quando é agredida por infecções bacterianas ou virais, irritações, processos alérgicos e outras patologias. Esse muco é movido pela ação dos cílios do *sistema muco-ciliar* da mucosa da cavidade timpânica e da tuba em direção à nasofaringe, e daí é engolido. A tuba auditiva é uma via de propagação de infecções da cavidade nasal para a orelha média.

Para que os sons que chegam às orelhas alcancem as células auditivas primárias da orelha interna, um longo caminho é percorrido, com sucessivas transformações de energia. Os sons em forma de ondas sonoras são captados pelo pavilhão auricular, canalizados pelo meato acústico externo até atingir a membrana timpânica, que vibra na mesma amplitude



e frequência do próprio som. Aqui ocorre a primeira transformação de energia sonora para energia mecânica, pois as vibrações da membrana são transmitidas aos ossículos (martelo, bigorna e estribo), que se movem em torno de um eixo que passa pela articulação incudo-malear, isto é, entre o martelo e a bigorna. O movimento dos ossículos age como um sistema de alavancas e faz a base do estribo vibrar contra a janela do vestíbulo (ova); desta forma, a energia (onda sonora) é transmitida para a perilinfa, ou seja, o líquido existente na orelha interna. Denomina-se CONDUÇÃO AÉREA o modo como o som é transmitido desde a orelha externa até a orelha interna. Todavia, existe outra forma de perceber a sensação sonora. Basta encostar no crânio um diapasão ou outro objeto em vibração e notar que essa vibração é transmitida através dos ossos do crânio, é a CONDUÇÃO ÓSSEA do som. A condução óssea, cotidianamente, atua quando escutamos a própria voz, mas é de grande importância diagnóstica na clínica otológica. De resto, todos os sons são transmitidos por via aérea, passando pela membrana do tímpano e cadeia ossicular da cavidade timpânica.

A cadeia ossicular comporta-se como um sistema de alavanca, transformando as vibrações aéreas em vibrações líquidas. Cabe aos ossículos transformar um movimento de grande dimensão e pouca força num movimento de pequena dimensão e grande força, o que efetivamente acontece quando essa força se torna 10 vezes maior ao atingir o líquido da orelha interna do que quando atingiu a membrana do tímpano. A área da membrana do tímpano é 18 vezes maior ( $60\text{milímetros}^2$ ) do que a área da base do estribo ( $3,2\text{milímetros}^2$ ), e a relação entre o comprimento do martelo e o ramo longo da bigorna é 3:2.

Descontadas as resistências por atrito e outros fatores, resta no estribo um aumento de 10 vezes na energia que chegou à membrana do tímpano, fato este que representa um ganho de mais ou menos 15 dB.

As propriedades condutoras do som no ar e na água são muito diferentes. Uma vez que o líquido tem inércia muito maior do que o ar, é fácil compreender porque são necessárias quantidades maiores de pressão para causar, no líquido, o mesmo grau de vibração que provoca no ar. Um parâmetro complicado, conhecido como *impedância acústica*, descreve muitas das qualidades condutoras do som de um meio. De forma muito simples, pode-se dizer que impedância acústica é a resistência que

as estruturas da orelha opõem à passagem do som. No ar, a impedância é de 41,50 ohms/cm, e na perilínfa é de 140.000 ohms/cm. Da mesma forma, a impedância acústica da água é muito maior que a do ar. Quando ocorre essa desigualdade, a maior parte do som que passa do ar para a água é refletida pela superfície do líquido, de volta para o ar, e muito pouco penetra na água. No caso de uma interface ar-água, o desequilíbrio entre as impedâncias resultaria em reflexão de 99,9% da energia sonora. Como a energia sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora, isto representa perda de 30 dB. Na verdade, essa perda ocorreria se não houvesse orelha média e a membrana timpânica estivesse aplicada na janela vestibular (oval) diretamente sobre o líquido da orelha interna, como ocorre nos animais aquáticos que não têm orelha média. Em outras palavras, em condições normais, quando ondas sonoras encontram uma transição entre ar e uma superfície líquida, a maior parte da energia sonora é refletida na interface. Obviamente, esta reflexão seria contra produtora no caso da orelha. O complicado mecanismo do aparelho formado pela membrana do tímpano e pelos ossículos (*complexo tímpano-ossicular*) constitui a “invenção” da natureza, destinada a diminuir as perdas devidas à reflexão. Em termos físicos, esse aparelho ajusta a impedância acústica entre as ondas sonoras no ar e as vibrações sonoras no líquido da orelha interna. Em consequência, as perdas devidas à reflexão diminuem consideravelmente, de modo que maior quantidade de energia sonora atinge a orelha interna. A orelha média proporciona equilíbrio muito maior das impedâncias das orelhas externa e interna, de modo que muito mais energia sonora é transmitida. No homem, apenas cerca de 10 a 15dB são perdidos. Os ossículos da orelha média realizam essa equilíbrio de impedâncias, atuando como um transformador que aumenta as pressões no trecho entre a membrana timpânica e a janela do vestíbulo (oval) e, assim, melhora a eficiência da audição em cerca de 15 a 20dB. Dois fatores são úteis nesta ação de adaptação da impedância na orelha média: em primeiro lugar, a área da membrana do tímpano é muito maior do que a da janela do vestíbulo, aproximadamente 18 vezes. Portanto, como já foi registrado, uma força aplicada ao martelo e transmitida à base do estribo exerceria mais pressão na janela do vestíbulo do que aquela originada na membrana do tímpano; em segundo lugar, a cadeia ossicular atua como uma alavanca que gira em torno da articulação incudomaleolar. A ação de alavanca é tal que a base

do estribo se move menos e, conseqüentemente, exerce mais força que os movimentos do martelo, provocados pela membrana timpânica. Mais uma vez, isso amplifica a pressão sonora entre a membrana timpânica e a janela vestibular (oval).

## ORELHA INTERNA - OUVIDO INTERNO (ÓRGÃO VESTÍBULOCOCLEAR)

A *orelha interna* localiza-se na parte petrosa do osso temporal, ou seja, na área mais densa, ebúrnea do osso, chamada de *cápsula ótica ou labiríntica*. A orelha interna contém as *partes vitais* dos *órgãos da audição e do equilíbrio*, que recebem as terminações dos ramos *coclear* e *vestibular* do *nervo vestibulococlear*. Consiste de três partes principais: *o labirinto ósseo ou perilinfático, o labirinto membranáceo ou endolinfático e a cápsula ótica ou labiríntica, circunjacente*.

### LABIRINTO ÓSSEO

O *labirinto ósseo*, circundado pelo osso compacto da cápsula labiríntica, mede menos de 20 milímetros de comprimento no seu eixo maior e constitui o estojo que aloja o *labirinto membranáceo*.

Apresenta três partes componentes incompletamente divididas: o *vestíbulo*, os *canais semicirculares* e a *cóclea óssea*.

O *labirinto ósseo* é forrado por fino perióstio - ou endóstio - o qual é revestido com uma delicada camada epitelioide e contém um líquido - a *perilinta ou líquido periótico* - que envolve todo o *labirinto membranáceo*.

O *vestíbulo* é uma câmara central, ovóide, de 4 milímetros de diâmetro. É a parte mais volumosa do labirinto ósseo, ligada aos *canais semicirculares*. Na parede lateral do vestíbulo, voltada para a cavidade timpânica, há uma abertura, a *janela do vestíbulo (oval)*.

Os *canais semicirculares ósseos* estão posicionados superiormente em relação ao vestíbulo e são nomeados *anterior (superior)*, *posterior* e *lateral (horizontal)*. Os canais, especialmente, ocupam os três eixos ortogonais do espaço, formando ângulos retos um com os outros. Apesar de serem três canais, apenas cinco orifícios abrem-se no vestíbulo,

pois o ramo simples do canal semicircular anterior junta-se com o ramo simples do canal semicircular posterior para formar um pilar ósseo comum (*ramo comum*). Os canais semicirculares são parcialmente ocupados pelos *ductos semicirculares* do *labirinto membranáceo* e pela *perilinfa* circulante no labirinto ósseo.

A *cóclea* é uma formação óssea com aspecto de uma concha de *caracol*, semelhante ao que se encontra em jardins. Consiste de um *canal espiralado* de 32 milímetros de extensão, com duas voltas e meia (denominadas giros ou espirais) ou duas voltas e três quartos. Tem forma cônica, com base medindo 8-9 milímetros de largura e 5 milímetros de altura. O início do canal da cóclea, na janela da cóclea (redonda), tem aproximadamente 2,5 milímetros de diâmetro, que decresce gradativamente até atingir cerca de 1,0 milímetros no ápice. A *cúpula* ou ápice da cóclea está dirigida para *fora*, para *cima* e para *diante*. A *base* é a parte anterior do *fundo do meato acústico interno* sob a crista falciforme, correspondente à *área crivosa coclear (tracto foraminoso espiral)*. O *canal espiralado* enrola-se ao redor de um eixo ósseo central cônico, o *modíolo (columela)*, o qual projeta uma *lâmina espiral óssea* que divide parcialmente o canal. O *modíolo* é um cone ósseo central sobre o qual se enrolam os giros do *canal da cóclea*. Os diâmetros dos giros diminuem da base para o ápice, os dois primeiros giros se enrolam ao redor do modíolo, enquanto o terceiro, incompleto, apóia-se no ápice do modíolo. A parte externa deste canal é a *lâmina dos contornos*. A base do modíolo é larga e corresponde ao *tracto espiral foraminoso* do fundo do meato acústico interno, por onde passam os ramos do n.coclear. Os forames do trato espiral dão continuidade a pequenos canais que passam através do modíolo e vão se curvando sucessivamente para fora, para atingir a margem aderente (ao modíolo) da lâmina espiral óssea. Neste ponto, os canais dilatam-se e a aposição deles forma o *canal espiral do modíolo*, que segue a margem aderente da lâmina espiral óssea; esse canal aloja o *gânglio espiral*. Um *canal central* prolonga-se da base até o *ápice* do modíolo.

Como foi afirmado, a *cóclea óssea* consiste de 2 giros e  $\frac{3}{4}$  ou 2 giros e meio: o primeiro giro ou *giro basal* situa-se sob o *promontório* na parede labiríntica da cavidade timpânica. O diâmetro da cóclea diminui gradativamente da base para a cúpula, que é o *ápice da cóclea*

de 2,5 milímetros na base para 1,0 milímetros no ápice). O canal ósseo da cóclea mostra 3 aberturas: a *janela da cóclea*, que no vivo é fechada pela *membrana secundária do tímpano*; uma abertura ou *fissura vestibular*, que leva ao vestíbulo; e o óstio do *aqueduto da cóclea (ducto perilinfático)*, que conduz a um pequeno canal que se abre na face inferior da porção petrosa do temporal e dá passagem a uma veia que vai ao *seio petroso inferior* da dura-mater e comunica o *espaço subaracnóideo* com a *rampa (escala) timpânica da cóclea*. O aqueduto da cóclea, também conhecido como canalículo coclear, mede, aproximadamente, 14 milímetros. Inicia no orifício interno situado no giro basal da cóclea, na rampa timpânica, próximo à membrana da janela da cóclea (janela redonda), e estende-se até a face inferior da pirâmide petrosa, onde se abre numa abertura infundibuliforme.

A *lâmina espiral óssea* é como a hélice ou crista de um parafuso, que se projeta para dentro do canal da cóclea, dividindo-o parcialmente em duas rampas ou escalas: a superior, denominada *rampa do vestíbulo*, e a inferior, *rampa do tímpano*. A *rampa do vestíbulo* começa no vestíbulo e a *rampa timpânica*, na janela coclear (ou redonda), que é fechada pela membrana secundária do tímpano, no vivo. A *lâmina espiral óssea* não atravessa totalmente a luz do canal, mas alcança aproximadamente metade da luz. Essa lâmina é mais larga no giro basal e, a partir daí, vai diminuindo gradualmente até o ápice onde acaba, antes de alcançar o vértice da cóclea, num processo em forma de gancho, chamado *hâmulo da lâmina espiral*. Na cóclea completa, isto é, com a parte membrancea, o hâmulos forma um dos limites do *hélicotrema*, orifício de 0,4 milímetros<sup>2</sup>, onde as duas rampas se comunicam. A lâmina espiral óssea é formada por *duas lamínulas* muito finas e o espaço por elas delimitado é ocupado por filetes nervosos procedentes do *órgão de Corti*. O limite entre um giro e outro da cóclea denomina-se *septo interescalares* e pode apresentar defeitos entre o *giro médio e apical*, sem ocasionar prejuízo funcional. Do *canal espiral do modíolo* partem, radialmente, numerosos canalículos que atravessam a lâmina espiral óssea até sua margem livre e conduzem filetes nervosos do n. coclear.

O *labirinto ósseo*, conforme descrito, é o estojo que contém o *labirinto membranáceo*, e no espaço entre ambos - *espaço perilinfático* - circula um líquido, a *perilinfã*.

A *perilinfá* ou *líquido periótico* ocupa os espaços perilinfáticos (*vestíbulo, rampas timpânica e vestibular, canais semicirculares, o ducto perilinfático, o fundo-de-saco da rampa timpânica e o espaço ao redor da porção proximal do seio e ducto endolinfático*) e é um típico fluido extracelular, cuja composição iônica assemelha-se ao plasma ou ao líquido cerebroespinhal. Na composição química da perilinfa encontram-se íons de *sódio* ( $Na^+$ ), *potássio* ( $P^+$ ) e *cloro* ( $Cl^-$ ), além de *bicarbonato e proteínas, em ph 7.3*. O principal íon é o cátion  $Na^+$  (*sódio*). A composição da perilinfa na escala vestibular é diferente da escala timpânica. Na escala vestibular, o nível de *potássio* ( $K^+$ ) é significativamente alto (6,0 milímetros) e o nível de *sódio* ( $Na^+$ ), um pouco mais baixo (4,2 milímetros).

Não foram ainda devidamente estabelecidos os mecanismos de produção, circulação e absorção da perilinfa, mas sugere-se que seja produzida por três origens:

1. como um exudato dos vasos sanguíneos do espaço perilinfático;
2. nos espaços com fluidos que rodeiam as bainhas das fibras nervosas;
3. de um fluxo contínuo de líquido cérebro-espinhal pelo aqueduto coclear.

## LABIRINTO MEMBRANÁCEO

Consiste de um conjunto de *vesículas e ductos* preenchidos por um líquido claro, a *endolinfá*, também chamado de líquido *ótico*. Esse conjunto está, em sua maior parte, circundado pelo *espaço perilinfático* e sustentado por tecido conjuntivo, e ambos estão dentro do chamado labirinto ósseo. As partes fundamentais do labirinto membranáceo são: *o utrículo, o sáculo, o ducto e o saco endolinfáticos, os três ductos semicirculares, o ducto coclear*.

As várias partes desse labirinto formam um sistema fechado de condutos que se comunicam entre si. Assim, os *ductos semicirculares* abrem-se no *utrículo* e este continua com o *sáculo* através do *ducto utrículossacular*, que também se liga ao *ducto endolinfático* que se estende até o *saco endolinfático*. O *sáculo* une-se ao fundo-de-saco (cecum vestibular) do *ducto coclear* pelo *ducto de reunião* (*ductus reuniens*).

O *utrículo* é a maior das duas vesículas que ocupam o vestíbulo. É uma vesícula ovóide, que ocupa o *recesso elíptico* do vestíbulo. Aqui ele está firmemente preso por tecido conjuntivo e pelos filetes nervosos do ramo utricular da divisão vestibular do nervo vestibulo-coclear, que procedem de uma área relativamente espessa, de 3 por 2 milímetros das paredes lateral e anterior, denominada a *mácula do utrículo*. Na parede lateral do utrículo, abrem-se as ampolas dos ductos semicirculares anterior e lateral, enquanto a ampola do ducto semicircular posterior, o pilar membranáceo comum (ramo comum) e o ramo simples do ducto semicircular lateral desembocam na parte medial do utrículo. Da face ântero-medial do utrículo nasce um fino tubo, o *ducto utrículossacular*, que se comunica com o *sáculo* e com o *ducto endolinfático*.

O *sáculo* é também uma vesícula ovóide, porém menor do que o utrículo. Apóia-se no *recesso esférico* do vestíbulo junto à abertura da rampa vestibular da cóclea, sustentado por tecido fibroso e pelos filetes do ramo sacular da divisão vestibular do VIII par. O sáculo apresenta um espessamento da parede anterior, indicando o local da *mácula do sáculo*. Os filetes nervosos saculares originam-se na mácula. O *sáculo* liga-se ao *ducto coclear* através do *ducto de reunião*, um curto tubo que vai da parte inferior do sáculo até o fundo-de-saco da extremidade vestibular - *cecum vestibular* - do *ducto coclear*.

O *ducto endolinfático* nasce da junção dos ductos utricular e sacular, comparável a um Y, onde os ramos superiores representam os ductos utricular e sacular, respectivamente; o ramo inferior, o *ducto endolinfático*, que se dirige medialmente e inferiormente dentro do aqueduto do vestíbulo para terminar numa dilatação; o *saco endolinfático*, situado dentro da dura-máter, na face posterior da porção petrosa do temporal, à meia distância entre o meato acústico interno e o seio sigmóide, isto é, na abertura do aqueduto do vestíbulo.

Os *ductos semicirculares* são três tubos que se abrem no utrículo por cinco orifícios. Representam cerca de 1/4 do diâmetro dos canais semicirculares onde se alojam, assemelhando-se na forma e posição. Os ductos são mantidos encostados à parede externa dos canais, através de feixes fibrocelulares do espaço perilinfático, e, assim como os canais, cada ducto se relaciona ortogonalmente com os outros. Cada ducto apresenta

uma *extremidade ampular* e outra não *ampular* ou *simples*, que se abrem no utrículo, conforme já descrito.

Nas *ampolas*, nota-se a parede espessada que se projeta no interior da luz como uma constrição em forma de número 8, é o septo transversal, cuja parte mais proeminente constitui a *crista ampular*.

As paredes dessas estruturas são formadas de três camadas: a *camada externa* de tecido fibroso frouxo, contendo vasos sanguíneos e células pigmentadas, no espaço perilinfático, em contato com o perióstio (endóstio) do labirinto ósseo; a *camada média* (vascularizada), representada por fibras conjuntivas, com projeções papiliformes nos ductos semicirculares; a *camada interna*, que consiste de um epitélio simples apoiado numa membrana basal. Entre cada crista e a parede lateral da ampola há uma área de epitélio alto que, em secção transversal, tem forma de meia-lua, e por isso é denominado plano *semilunado*. Os epitélios das áreas não especializadas do labirinto membranoso apresentam células claras e escuras, de estrutura bem diferente. Algumas áreas do epitélio do utrículo e das paredes das ampolas dos semicirculares consistem de células escuras que se assemelham às células de epitélios, como dos túbulos renais, do ducto parotídeo e de glândulas secretoras. Sugere-se que as células escuras estejam relacionadas com o controle da composição iônica da endolinfa. Nas *máculas utricular e sacular* e nas *cristas* das ampolas dos ductos semicirculares, essas três camadas sofrem um espessamento que provoca elevações características dessas áreas. Nas *cristas ampulares*, há um espessamento das três camadas da parede membranosa, que consiste de tecido conjuntivo, vasos sanguíneos, fibras nervosas e um *neuroepitélio sensorial*, todos cobertos por uma *cúpula gelatinosa*. O epitélio das *cristas* consiste de *células ciliadas* e de *sustentação*. As *células ciliadas* são sensoriais e identificam-se dois tipos, *I e II*. A cabeça livre dos dois tipos de células ciliadas contém de 40 a 100 *estereócilios*, que são microvilos modificados, de comprimento variável, obedecendo a uma ordem polarizada em relação a um único e longo *cinocílio* fixo à superfície da célula. As *células ciliadas do tipo I* têm aspecto piriforme, de base arredondada, e um curto colo, excetuando-se a extremidade.

A *endolinfa* ou *líquido ótico* preenche todas as partes do labirinto membranoso e tem composição completamente diferente da *perilinfá*,



que ocupa o espaço externo, ou seja, o espaço perilinfático. O volume de *endolinfa* circulante é de três microlitros. Trata-se de um líquido totalmente único, sem comparação com qualquer outro líquido do organismo, isto é, de composição química completamente diferente de qualquer outro fluido. Na composição iônica da *endolinfa* encontram-se: íon  $\text{Cl}^-$ , bicarbonato, baixíssima concentração de sódio ( $\text{Na}^+$ ), proteína, altíssima concentração de potássio ( $\text{K}^+$ ). O pH da endolinfa é 7.4. Considerando que a *endolinfa* é absolutamente diferente dos demais líquidos corpóreos, os processos pelos quais ela é mantida e regulada não podem ser comparados com outros sistemas de fluidos. A *endolinfa coclear* é também incomparável em outros aspectos; é muito pobre em sódio (aproximadamente 20 microMolar) e mantém uma voltagem positiva com relação à perilinfa, de aproximadamente 85mV, chamada *potencial endococlear*. O baixo nível de cálcio e o *potencial endococlear* são extremamente importantes para o funcionamento normal da cóclea. Pequenas mudanças em seu estado normal resultam na diminuição da sensibilidade auditiva.

Admite-se que a *endolinfa* seja um produto de secreção de várias estruturas, como as *células escuras do útriculo* e *ductos semicirculares*, as *células do plano semilunado das ampolas*, as próprias *células epiteliais especializadas* e os *vasos sanguíneos da estria vascular do ducto coclear*. Também se supõe que a endolinfa circule no labirinto membranáceo e que seja reabsorvida por células epiteliais especializadas do *saco endolinfático*, canalizando para o plexo vascular subjacente.

### **CÓCLEA MEMBRANÁCEA- DUCTO COCLEAR**

Protegido pelo osso da cápsula labiríntica ou labirinto ósseo, conforme já descrito, o *labirinto membranáceo anterior* é representado pela cóclea ou, mais especificamente, pelo *ducto coclear*, também formado por uma parte enrolada e outra não enrolada (reta). A parte não enrolada é o início do ducto coclear em fundo-de-saco, o *cecum vestibular*, no assoalho da cavidade subvestibular, onde a face superior do *cecum* se comunica com o sáculo pelo ducto de reunião (*ducto reuniens*). A parte enrolada é continuação da parte reta, enrolando-se no canal da cóclea, ocupando apenas a parte média do canal e fixando a lamina espiral óssea.

O *ducto coclear membranáceo* é um *ducto epitelial* disposto de forma espiral entre a lâmina espiral óssea, internamente, e a parede óssea da cóclea, externamente (lâmina dos contornos). Apresenta forma triangular em secção transversa e está formado por três paredes: a superior (a *membrana vestibular*), a externa (o *ligamento espiral*) e a inferior (a *membrana basilar*). O ducto começa no vestíbulo (*cecum vestibular*), como um fundo-de-saco, conectado ao sáculo através do *ducto reuniens*, e, assim como a cóclea óssea, estende-se por 32 milímetros, formando duas voltas e meia: o giro basal, o giro médio e o giro apical incompleto. Termina no fundo-de-saco da cúpula ou *cecum cupular*, distalmente ao *hâmulo da lâmina espiral óssea*.

A *membrana vestibular* ou *membrana de Reissner* é *parede superior do ducto cóclear*, cujo papel funcional ainda não está perfeitamente esclarecido, separa a *endolinfa* do ducto coclear da *perilinfá* da *rampa vestibular*. É uma delgada lâmina de 0,003 milímetros de espessura, que se estende do *limbo da lâmina espiral óssea* até a parte mais alta do *ligamento espiral*, imediatamente acima da *estria vascular*. É formada por duas camadas de células. A camada em contato com a perilinfá é de *células mesoteliais*, enquanto a camada em contato com a endolinfa é de natureza *epitelial*.

Em um sulco raso da parede lateral do ducto coclear encontra-se uma camada especializada, resultante do espessamento do endóstio, o *ligamento espiral*. Esse ligamento é constituído de um complicado arranjo de células de tecido conjuntivo, fibrócitos, substância intercelular e uma rica rede vascular. Uma projeção desse ligamento para dentro forma uma saliência triangular, a *crista basilar*, na qual se prende a borda lateral da *membrana basilar*. Acima da crista basilar há um *sulco espiral externo*, limitado superiormente por um espessamento do perióstio muito vascularizado, denominado *eminência espiral*, que continua para cima numa área especializada, a *estria vascular*.

A *estria vascular*, que ocupa a parede externa do ducto coclear, logo acima da *eminência espiral* e abaixo do ponto de fixação da *membrana vestibular* (*membrana de Reissner*), mostra epitélio estratificado especializado, com um plexo capilar intra-epitelial. O epitélio apresenta três tipos de células: células marginais escuras ou cromófilas, encontradas na superfície endolinfática; células intermédias claras ou cromófobas; e

células basais. É o único epitélio vascularizado do organismo. Uma rica rede de capilares encontra-se dentro da *estria vascular* e é responsável pelo transporte de íons que mantêm a composição iônica da endolinfa. A estria vascular é muito vascularizada, o que indica ter atividade secretora, isto é, admite-se que produz endolinfa.

A *membrana basilar*, com 32milímetros de extensão, é a área mais diferenciada do ducto coclear, estende-se do *lábio timpânico* da lâmina espiral óssea à crista basilar do ligamento espiral, alcançando 104 micrômetros de largura na extremidade basal e 504 micrômetros na extremidade apical. A *membrana basilar* divide-se em duas porções: a *zona arqueada* (ou medial), estendida desde o *limbo da lâmina espiral óssea* até a base dos *pilares externos*, sob o *tunel de Corti*; a *zona pectinada* (ou lateral), mais espessa, que, da base dos pilares externos, se estende até a *crista basilar* do ligamento espiral.

A estrutura conjuntiva que suporta o epitélio do *Órgão de Corti* é formada por uma membrana basal homogênea, uma camada fibrilar e pelo revestimento timpânico situado no lado da rampa timpânica, este formado por uma camada de células mesenquimais de espessura variável. A resistência da membrana basilar é devida à camada fibrilar, formada por fibras colágenas (tipo IV, da laminina e da fibronectina) radiais, que se estendem do *limbo ao ligamento espiral*. As fibras procedem da lâmina espiral de um lado e continuam com as fibras do ligamento espiral do outro lado, formando um sistema que supostamente estaria em tensão. Da base da cóclea até o ápice, as fibras aumentam em comprimento e largura. Na parte da membrana basilar situada na área das células ciliadas, as fibras são muito mais finas do que aquelas próximas à lâmina espiral. A essa camada fibrilar foi atribuído um importante significado funcional, sendo considerada um “ressonador”. Por isso é comum dizer que a membrana basilar vibra, atuando como ressonador; contudo, até hoje, discute-se se as fibras desta membrana estão sob tensão.

## ÓRGÃO ESPIRAL DE CORTI

O *órgão espiral* ou de *Corti* é o complexo morfofuncional mais importante do órgão da audição, está formado por uma série de estruturas

epiteliais situadas sobre a *membrana basilar*. As estruturas centrais são duas séries de células: células cilíndricas ou *colunares internas* de Corti (mais ou menos 6.000 células) e células *colunares externas* de Corti (mais ou menos 4.000 células), também conhecidas como *pilares* internos e externos. As bases ou *placas pediosas* (onde se localiza o núcleo) das células colunares internas e externas são largas e apóiam-se na membrana basilar, guardando certa distância entre si, de tal forma que as duas séries de células se inclinam uma de encontro a outra, unindo-se pela extremidade apical ou cefálica e formando, juntamente com a membrana basilar, o *túnel de Corti*.

No órgão de Corti, ou órgão espiral de Corti, localizam-se os transdutores neurais, isto é, os receptores auditivos primários, que são as células ciliadas internas e externas.

Medialmente aos *pilares internos* há uma única fileira de células (*sensoriais*) *ciliadas internas*; lateralmente aos *pilares externos* há três ou quatro (às vezes, cinco) fileiras de células (*sensoriais*) *ciliadas externas*, suportadas por células de sustentação chamadas *células falângicas* ou de *Deiters*. Há também outras células de sustentação conhecidas como *células de Hensen*, *de Claudius* e *de Boettcher*.

As *células ciliadas internas*, responsáveis pela percepção do som, são piriformes, em número aproximado de 3.500, dispostas numa única fileira internamente aos *pilares internos* e envolvidas por *células falângicas* e células da margem do *sulco espiral interno*. As extremidades livres destas células são circundadas pela *membrana cuticular*. As cabeças das células ciliadas internas são encimadas por uma única fileira de 50, 60 ou mais *estereocílios* (microvilosidades da membrana celular), formando a letra V bem aberta e arranjados de modo crescente. Os cílios, banhados pela endolinfa, não alcançam a membrana tectória e estão ligados entre si através de ligamentos de elastina, como ocorre também nas células ciliadas externas. As bases das células ciliadas internas estão em contato com *botões sinápticos* das terminações nervosas do ramo coclear do nervo vestibulococlear. Esses botões são terminais de fibras *aferentes* e algumas *eferentes*. As fibras eferentes também parecem fazer sinapse com as fibras aferentes. Cada célula ciliada interna recebe aproximadamente 10 fibras nervosas, o que representa cerca de 95% das fibras aferentes do nervo coclear. Essas fibras procedem dos *neurônios bipolares* Tipo I do *gânglio espiral* situado no

canal espiral do modíolo, cujo neurotransmissor sináptico é o *glutamato*. Esse sistema aferente leva o estímulo sonoro codificado para os centros auditivos do sistema nervoso central.

As *células ciliadas externas*, em número de 12.000 a 16.000, embora semelhantes às internas, são mais especializadas. Possuem, aproximadamente, 100 estereocílios ou mais no giro basal da cóclea; de 65 a 80, no médio; e de 60 a 65, no apical. Os estereocílios destas células são mais longos do que aqueles das células internas, dispostos de seis a sete fileiras formando um W, com a base voltada para o ligamento espiral quando vistos pela superfície. Os mais internos são mais curtos e ligados, através de seus ápices, aos cílios mais longos por um ligamento de elastina. A extremidade livre dos cílios mais longos está implantada na membrana tectória que os cobre. Os cílios são projeções rígidas, da própria membrana celular, formados por filamentos de *actina*, *fimbrina* e *tropomiosina*. As células ciliadas externas apresentam forma cilíndrica, com altura variando de 20 micrômetros na base da cóclea até 80 micrômetros no ápice. No giro basal da cóclea, estão dispostas em três fileiras regulares, enquanto no giro apical, em quatro ou cinco fileiras. As bases das células ciliadas externas estão apoiadas nas células de sustentação de Deiters (células falângicas), que, por sua vez, estão ancoradas sobre a membrana basilar. Nas bases destas células também se encontram os botões sinápticos das terminações nervosas de fibras do ramo coclear do nervo vestibulo-coclear. Embora em maior número do que as células ciliadas internas, as externas recebem apenas de 5 a 10% das fibras aferentes do nervo coclear. Essas fibras procedem também dos neurônios bipolares do gânglio espiral. Entre as células ciliadas externas existem espaços (espaços de Nuel), o que permite seu movimento. Entre as células ciliadas externas e as células de Hensen existe um espaço conhecido como túnel externo, e entre as células ciliadas externas e as células colunares externas de Corti (pilar externo) há um espaço conhecido como espaço de Nuel (assim também chamados os espaços entre cada fileira de células ciliadas externas). Todos esses espaços de *Nuel* e o *túnel de Corti* intercomunicam-se e são preenchidos por líquido, a *cortilínfa*, de composição quase idêntica a perilínfa. Apenas os polos apicais das células com seus estereocílios são banhados pela endolínfa. Dentro das células, bem junto às suas paredes laterais, existe um peculiar sistema de *cisternas*

laminadas, representado por um conjunto de vesículas membranosas dispostas junto à membrana plasmática em toda a extensão de célula, isto é, do polo apical à base. A este *sistema de cisternas laminadas*, somente encontrado nas células ciliadas externas, atribui-se o papel de manter a forma da célula. As células ciliadas externas não têm capacidade de receber o estímulo sonoro, mas têm a capacidade de contrair-se de forma rápida (ativa) e lenta, em virtude de suas propriedades biomecânicas. Estudos recentes revelaram que essas células apresentam algumas características das células musculares, isto é, foi demonstrada a presença de proteínas contráteis, como a *actina*, *miosina*, *tropomiosina* e da *calmodulina*, esta um agente regulador. A liberação da energia mecânica pela contração ativa das células ciliadas externas é a origem das *emissões otoacústicas (EOA)*; ela determina uma onda sonora que vai se propagar ao longo da membrana basilar, no sentido inverso da onda “viajante” de Bekésy, e que será transmitida para a cadeia ossicular e para a membrana timpânica até o meato acústico externo, onde pode ser captada na forma de emissões otoacústicas por microfones miniaturizados de grande sensibilidade, quando se aplicam estímulos sonoros, como cliques, no meato acústico externo. A energia liberada na cóclea é transmitida pela cadeia ossicular e pela membrana do tímpano ao meato acústico externo, onde pode ser registrada. Também podem ser captadas EOA espontâneas, isto é, sem estimulação, em cerca de 40% dos indivíduos com audição normal. As células ciliadas externas fazem da cóclea um verdadeiro amplificador mecânico, que permite o aumento de até 50 *dB* na intensidade de um estímulo, pois provoca aumento na amplitude da vibração da membrana basilar, permitindo aumento da estimulação das células ciliadas internas, cujos estereocílios normalmente não estariam em contato com a membrana tectória. A inervação *aférente* das células ciliadas externas é feita por neurônios do Tipo II, com fibras não mielinizadas, que enviam ao sistema nervoso central (SNC) mensagens lentas, pouco seletivas e, provavelmente, não auditivas. Não se conhece ainda o tipo de neurotransmissor da sinapse entre a célula ciliada externa e o neurônio aférente. Estas sinapses não respondem a estímulos sonoros. Supõe-se que esse sistema aférente captaria informações sobre o estado de contração das células ciliadas externas, não conduzindo nem codificando mensagens sonoras para o Sistema Nervoso Central. As informações citadas seriam

importantes para regular o *tônus das células ciliadas externas* e as contrações rápidas dessas células, através das contrações lentas.

A inervação *eferente das células ciliadas externas* é por conta de fibras mielinizadas radiais, sendo que cada fibra mantém contato com mais de 15 células. As fibras eferentes têm origem no complexo olivar superior e no corpo trapezóide do tronco cerebral.

Diversos tipos de *células de sustentação* estão associados com as células ciliadas internas e externas, tais como as *células marginais internas*, *células falângicas internas*, *células falângicas externas (ou de Deiters)*, *células de Hensen*, *células de Claudius*, *células de Boetcher* e as *células colunares internas e externas* (pilares internos e externos). As células ciliadas externas são suportadas pela *membrana reticular* apicalmente e pela concavidade em forma de taça das *células de Deiters* basalmente, exceto nos contatos sinápticos com as terminações nervosas. As extremidades livres das células ciliadas externas ocupam as aberturas da *lâmina reticular*, uma membrana em forma de malha. A membrana reticular é uma tênue lâmina perfurada, que se estende dos pilares externos até a fileira externa das células ciliadas externas; é constituída por várias fileiras de minúsculas estruturas cuticulares chamadas falanges, entre as quais há aberturas para as células ciliadas externas.

As *células marginais (células limitantes)* e *falângicas internas* encontram-se no sulco espiral interno. Entre as células marginais e as falângicas internas está a única série de células *ciliadas internas*. As células falângicas internas são estreitas e se adaptam à face interna do *pilar interno*. Sua pequena cabeça em forma de falange está situada entre duas células ciliadas internas e unida a elas. As *células marginais* ou *limitantes* são também estreitas e intimamente adaptadas à face interna das células ciliadas internas.

As *células falângicas externas* ou *de Deiters* dispõem-se entre as fileiras das células ciliadas externas, com suas bases dilatadas assentadas na membrana basilar e suas extremidades opostas apresentando forma de cálice ou taça, onde se encaixam as bases das células ciliadas externas. Ainda mais, as *células de Deiters* continuam por um *processo falângico* digitiforme que se projeta para cima, entre as células ciliadas, até alcançar a *membrana reticular*.

As células de Deiters se dispõem uma após a outra em tantas séries quantas forem as células ciliadas externas. A extremidade cônica inferior forma o *cálice ou taça de sustentação*, que suporta a base das células ciliadas externas e continua como um prolongamento falângico que termina na cabeça superior ou *placa falângica*. As *placas cefálicas das células de Deiters* parecem estar unidas por bandas de cimento para constituir a *membrana reticular*, em cujos orifícios estão as extremidades superiores das células ciliadas. Ultra-estruturalmente, está comprovado que não existe uma membrana formada por substância cimentante intercelular. A imagem reticular deve-se à densidade da membrana celular, segundo o tipo de *desmossomas* nos locais onde as células falângicas abraçam as células ciliadas.

As *células de Hensen* são representadas por cinco ou seis fileiras de células cilíndricas altas, situadas no lado externo das células de Deiters. Essas células apresentam as extremidades basais pequenas e extremidades cefálicas que se juntam com as células de Deiters externas para formar o *túnel externo*. As *células de Claudius* são células curtas no fundo do sulco espiral externo.

Exceto as *células colunares (pilares)*, todas as demais células de sustentação possuem numerosas microvilosidades nas suas superfícies livres, o que sugere certa vida funcional associada ou com a composição iônica da endolinfa ou na fixação da *membrana tectória*.

A *membrana tectória* é uma estrutura gelatinosa, rica em água, colocada sobre o *sulco espiral interno* e o *Órgão de Corti*. Estruturalmente, consiste de uma matriz gelatinosa contendo minúsculas fibrilas, são filamentos de proteína com mucopolissacarídeos. A *membrana tectória* fixa-se no *limbo vestibular* da *lâmina espiral óssea* e é mais larga no giro apical da cóclea. A borda externa, afilada, da membrana tectória é livre e alcança as células de Hensen. Na zona do limbo, a membrana prende-se às *células interdentais*, cuja secreção, acredita-se, forma a membrana. Na porção média, a membrana tectória está sobre o órgão de Corti e os estereocílios das células ciliadas externas estão imersos e firmemente fixos nela. Admite-se que a membrana tectória atue como um vibrador.

O *ducto coclear*, formado pelas *membranas basilar, vestibular* e pelo *ligamento espiral*, é sustentado e completado pela *lâmina espiral óssea*,



formação comparável a uma escada, em caracol. Essa lâmina espiral óssea consiste de duas lamínulas de osso, que delimitam diminutos canais por onde passam os filetes nervosos procedentes das bases das células ciliadas do Órgão de Corti, para formar o ramo coclear do n. vestibulo-coclear.

A lamínula superior da lâmina espiral óssea está praticamente dentro do ducto coclear e o periósteo que a reveste é muito espesso, formando o *limbo da lâmina espiral*, onde se prende a membrana vestibular. O limbo contribui para limitar uma concavidade em forma de C, o *sulco espiral interno*, cuja borda superior chama-se *lábio vestibular*, e a inferior, *lábio timpânico*, onde se prende a extremidade interna da *membrana basilar*. O *lábio timpânico* é perfurado por numerosos pertuitos (habenula perforata), que permitem a passagem dos filetes do n. coclear. O *lábio vestibular* apresenta a superfície sulcada por sulcos perpendiculares entre si, determinando formações semelhantes a dentes, chamados *dentes auditivos*. As células cilíndricas que se colocam nos sulcos, chamadas *interdentais*, secretam a membrana tectória, que cobre o sulco espiral e o órgão de Corti.

A partir deste substrato morfológico, é possível compreender parte do complicado processo realizado pelas células do Órgão de Corti na conversão do som em energia elétrica. O som externo atinge as células ciliadas que, ao serem estimuladas, geram sinais elétricos que são conduzidos para o SNC pelas fibras do nervo coclear. As bases do complexo mecanismo pelo qual a célula ciliada converte o som em energia elétrica ainda não está perfeitamente esclarecido. Essas células são responsáveis pela transdução, isto é, transformar o estímulo sonoro em sinal neural, foco principal do mecanismo da audição

As células ciliadas do Órgão de Corti são os receptores terminais, que geram os impulsos nervosos em resposta às vibrações sonoras. Essas vibrações entram na rampa vestibular da cóclea pelos movimentos da base do estribo na janela do vestíbulo (oval). A base (platina) do estribo fecha a janela vestibular e está conectada às suas margens pelo ligamento anular, que é relativamente frouxo, de forma que pode oscilar para dentro e para fora. Os movimentos do estribo para dentro criam uma onda na perilínfa, que se desloca em direção à rampa vestibular, aumentando imediatamente a pressão em toda a cóclea e fazendo a membrana da janela coclear (redonda) abaular-se, ou seja, transmitindo a pressão para o ar da

cavidade timpânica. A janela redonda é, pois, um local de descompressão da cóclea. Vimos que, no ápice da cóclea, a rampa vestibular continua com a rampa timpânica por uma passagem milimétrica, o helicotrema. Quando o estribo pressiona a perilínfa muito lentamente, a onda resultante sobe pela rampa vestibular e é impelida através do helicotrema para a rampa timpânica. Isso faz com que a membrana secundária do tímpano, que fecha a janela da cóclea, se abaúle para fora. Por outro lado, se o estribo vibrar muito rapidamente, a onda não terá tempo de percorrer todo o percurso até o helicotrema e daí até a janela redonda, e novamente voltar entre cada duas vibrações sucessivas. Em vez disso, a onda líquida toma um atalho através da membrana basilar, fazendo-a oscilar para cima e para baixo a cada vibração sonora, numa amplitude de  $10^{-11}$  milímetros. Assim, se a base do estribo se move para dentro instantaneamente, a membrana da janela da cóclea também tem que se abaular para fora. Como a onda líquida não terá tempo de percorrer todo o trajeto, desde a janela do vestíbulo até o helicotrema, e voltar à janela da cóclea, o efeito inicial será fazer com que a membrana basilar, na própria base da cóclea, se abaúle na direção da janela da cóclea, ocasionando vibração desta membrana para cima e para baixo. A onda gerada pela transmissão das vibrações do estribo para a perilínfa provoca deslocamentos simultâneos das paredes do ducto coclear. A onda começa na base da membrana basilar, vai se propagando em direção ao helicotrema por uma determinada extensão, dependendo da frequência do som. A vibração da membrana basilar, provocada pela onda “viajante”, não é a mesma em toda a sua extensão, mas varia da base para o ápice, devido às características da membrana que se modificam ao longo dos 32 milímetros do seu comprimento. Assim, a membrana basilar é mais estreita próximo ao estribo (104 mm) e mais larga próximo ao helicotrema (504 mm), o que significa que da base para o ápice há uma diferença de massa, elasticidade e rigidez da membrana, de sorte que a vibração é também diferente ao longo do seu comprimento. A onda viajante começa no estribo e vai se propagando, até que a sua energia acabe e a onda termina. O ponto da membrana basilar onde a onda viajante termina chama-se “ponto de deflexão máxima” e corresponde à parte da membrana que vibra com mais facilidade para cada frequência sonora. Assim, cada frequência sonora tem seu ponto de deflexão máxima em locais diferentes na membrana basilar. Nos sons agudos (de frequência alta), a deflexão da

onda é próxima do estribo, isto é, na base da cóclea; nos sons graves (de baixa frequência), a deflexão é próxima ao helicotrema, ou seja, no ápice da cóclea; e nos sons de frequência média, a onda viaja meia distância antes de alcançar sua oscilação máxima e desaparecer. A existência de pontos de deflexão máxima marca cada frequência sonora numa determinada área da membrana basilar e é nesta área que as células ciliadas do Órgão de Corti são mais excitadas. Deste modo, cada frequência sonora provoca excitação máxima em células ciliadas diferentes, de locais diferentes, que veiculam estes estímulos para áreas diferentes do córtex auditivo, podendo ocorrer a discriminação da frequência sonora.

Conforme já foi descrito, as células ciliadas são os transdutores neurais, isto é, as células auditivas primárias que constituem o foco principal do mecanismo da audição, pois é nelas que ocorre *a transdução, ou seja a transformação do estímulo sonoro em sinal neural*. O som externo atinge as células ciliadas que, ao serem estimuladas, geram sinais elétricos que são conduzidos para o SNC pelas fibras do nervo coclear. O mecanismo complexo pelo qual a célula ciliada converte o som em energia elétrica não é perfeitamente entendido, contudo, de modo simplista, baseia-se nas seguintes características:

- Primeiramente, deve-se considerar que existe um potencial de repouso endococlear determinado pela diferença de potencial existente entre a endolinfa que banha os estereocílios e a perilinfa. O valor deste potencial é de +80mV na endolinfa do ducto coclear e negativo nas rampas vestibular e timpânica, na própria estria vascular e no citoplasma da células ciliadas. Esse potencial é gerado pela alta concentração de K<sup>+</sup>, que difunde da estria vascular para dentro da endolinfa do ducto coclear que tem baixa concentração de Na<sup>+</sup>. O potencial de repouso é observado na ausência de sons.

As células ciliadas apresentam um potencial intracelular negativo de -45mV, com baixa concentração de K<sup>+</sup> e alta concentração de Na<sup>+</sup>. O mecanismo da transdução segue as seguintes etapas:

- a onda gerada pela ação do estribo pressionando a perilinfa provoca a vibração da membrana basilar, que se movimenta para cima e para baixo, isto é, em direção à rampa vestibular e à rampa timpânica;

- a membrana tectória que está dentro do ducto coclear também vai se movimentar e provocar o aparecimento de forças tangenciais sobre os estereocílios que estão impantados nela , provocando a sua inclinação;
- a deflexão dos cílios determina a abertura de canais iônicos que estariam localizados ou no ápice ou na base dos cílios. Por esses canais iônicos de transdução, o  $K^+$  entra na célula, tornando-a menos negativa, isto é, despolarizando-a e criando um potencial elétrico nas células ciliadas.
- com a despolarização, a célula libera mediadores químicos ( neurotransmissores) a partir da sua base, onde se encontram as sinapses com as terminações nervosas. Essas terminações, pela ação do neurotransmissor, também se despolarizam de modo muito semelhante ao que acontece com a célula ciliada, com a diferença que aqui o estímulo é de natureza química ao invés de mecânico.

Deve-se considerar, agora, o que acontece nas células ciliadas externas e nas internas.

As células ciliadas externas, quando são estimuladas mecanicamente pela deflexão dos estereocílios, geram um potencial elétrico que, por sua vez, provoca contrações mecânicas rápidas das células ciliadas externas, contrações essas em fase com a frequência do som que provocou o estímulo. Como os ápices destas células estão acopladas, através dos seus cílios, com a membrana tectória e, através das suas bases, com a membrana basilar, a contração das mesmas resulta numa amplificação da vibração da membrana basilar num ponto limitado desta membrana, com máxima efetividade.

As contrações localizadas das células ciliadas externas, amplificando as vibrações das membranas basilar e tectória, permitem a estimulação dos cílios mais longos das células ciliadas internas, que normalmente não alcançam e não estão acoplados à membrana tectória. A amplificação da vibração de uma área limitada da membrana basilar estimula poucas células ciliadas internas, com máxima intensidade. Esse estímulo acontece quando a membrana tectória toca os cílios que se inclinam e abrem os canais de  $K^+$ , e a entrada desses íons provoca a despolarização celular de modo semelhante ao que ocorre com a células ciliadas externas. Quando isso ocorre, na sinapse entre a célula e a terminação nervosa, há liberação do

neurotransmissor, e a mensagem sonora, codificada em impulso elétrico, vai ser transmitida, a partir da terminação nervosa da fibra aferente do nervo coclear, até o SNC.

As células ciliadas externas têm papel importantíssimo, devido às suas propriedades contráteis de possibilitar, pela amplificação das vibrações intracocleares, a estimulação das células ciliadas internas. Por outro lado, pela capacidade de estimular poucas células ciliadas internas ou mesmo apenas uma, dependendo da frequência do som estimulante, duas frequências muito próximas excitam de modo diferente duas células ciliadas internas vizinhas. Em consequência, essas células enviam mensagens discretamente diferentes ao SNC. Essa seria a base para a grande discriminação de frequências.

## NERVO VESTIBULOCOCLEAR

O *nervo vestibulococlear*, também chamado *estato-acústico*, é o VIII par craniano, emerge entre a *ponte* e o *bulbo*, no *ângulo pontocerebelar*, penetra no *meato acústico interno* juntamente com os nervos facial e intermédio e, no fundo do meato, divide-se num *ramo anterior*, o nervo coclear, e outro *posterior*, o nervo vestibular. O *nervo(ramo)vestibular* veicula fibras aferentes somáticas especiais proprioceptivas, procedentes do utrículo, sáculo e ampolas dos ductos semicirculares. As fibras deste nervo originam-se de *neurônios bipolares* situados no *gânglio vestibular* (*Gânglio de Scarpa*) do tronco do nervo, dentro do meato acústico interno. Os prolongamentos centrais terminam nos núcleos vestibulares medial, lateral, superior e espinhal, entre o bulbo e a ponte. Algumas fibras seguem sem interrupção até o cerebelo. Todos esses núcleos ocupam uma área na fossa rombóide do assoalho do IV ventrículo, a área acústica.

No interior do meato, distal ao gânglio, o *nervo vestibular* divide-se em ramos *superior*, *inferior* e *posterior*.

- Os filetes nervosos do *ramo superior* destinam-se à *mácula utricular* e às *cristas ampulares dos ductos semicirculares anterior e lateral* e atravessam o forame da área vestibular superior do fundo do meato acústico interno.

- Os filetes do *ramo inferior* atravessam os forames da área vestibular inferior, para suprir a *mácula do sáculo*. Esta mácula sacular também recebe um pequeno ramo da divisão superior do n. vestibular.
- O *ramo posterior* passa pelo *forame singular* do meato acústico interno e suas fibras distribuem-se para a *crista ampular do ducto semicircular posterior*.

O *ramo coclear* do nervo vestibulococlear compõe-se de fibras exteroceptivas aferentes somáticas especiais, cujos prolongamentos periféricos terminam no órgão espiral de Corti, e os prolongamentos centrais terminam nos núcleos cocleares ventral e dorsal, na transição bulbo-pontina.

O *nervo* (ramo) *coclear* ou nervo da audição apresenta numerosos filetes no fundo do modíolo, que se destinam aos giros basal e médio do ducto coclear, passando pelos forames do *tracto espiral foraminoso*, e filetes que se dirigem ao giro apical da cóclea, passando pelo *canal central do modíolo*; a seguir, curvam-se para fora entre as duas lamínulas da lâmina espiral óssea.

Os prolongamentos que formam o *nervo coclear* originam-se de *neurônios bipolares* situados no *gânglio espiral*, que ocupa o *canal espiral do modíolo*. As *fibras periféricas* atravessam o *lábio timpânico da lâmina espiral óssea*, perdem sua bainha mielínica e distribuem-se, algumas para as bases das *células ciliadas internas* e outras atravessam o *túnel de Corti* e o *espaço de Nuel*, imersas em líquido, para alcançar as *células ciliadas externas*. Esses espaços são os únicos locais do organismo onde fibras nervosas transitam livremente através de um líquido.

A maioria das fibras nervosas do *nervo coclear* distribui-se para as *células ciliadas internas*. Cada célula recebe terminações de diversas *fibras aferentes*, as quais recebem terminações sinápticas de ramos de *fibras eferentes* inibidoras, dispostas radialmente.

As *células ciliadas externas* recebem cerca de 5% das fibras do *nervo coclear*, enquanto as internas recebem 95% das fibras. Cada fibra aferente inerva numerosas células ciliadas externas.

É oportuno registrar que o *nervo vestibular* contém um componente *eferente*, cujas fibras têm origem em três pequenos grupos celulares, um dos quais no *núcleo vestibular lateral* no assoalho do VI ventrículo. Essas fibras, presumivelmente, medeiam o controle central dos *receptores vestibulares (células ciliadas das máculas utricular, sacular e das cristas das ampolas dos ductos semicirculares)*, conforme já mencionado neste texto. O mesmo acontece com o n. coclear, que contém uma interessante conexão reflexa coclear, o *feixe olivococlear ou feixe coclear eferente*. São fibras cruzadas e diretas do *feixe olivococlear*, que se projetam do *tronco encefálico (núcleo olivar superior da ponte)* sobre a cóclea e formam uma via pela qual o sistema nervoso central pode influenciar suas próprias percepções sensoriais.

Além do *feixe coclear eferente*, que representa essencialmente um sistema de retroação inibitória para os receptores sensitivos primários, os *núcleos cocleares* recebem também fibras eferentes descendentes de vários núcleos das vias auditivas. Essas fibras procedem dos *colículos inferiores, dos núcleos do lemnisco medial e da oliva*. Essas *vias descendentes* podem inibir impulsos relacionados a certas frequências do espectro auditivo e, desta maneira, amplificar os impulsos relacionados a frequências, não sujeitas a essa inibição.

## VIA AUDITIVA

A partir dos receptores auditivos do órgão de Corti, as mensagens sonoras são transmitidas pela via auditiva até o córtex auditivo, da forma que será descrita.

Os neurônios periféricos bipolares têm seus corpos celulares no gânglio espiral do canal espiral do modíolo da cóclea. Os prolongamentos periféricos são curtos e em contato com as células ciliadas do órgão de Corti, enquanto os prolongamentos centrais que integram o n. coclear alcançam os núcleos cocleares anterior e posterior da ponte, onde fazem sinapses com os segundos neurônios da via auditiva. Aqueles do núcleo anterior, por sua vez, cruzam para o lado oposto, para formar o corpo trapezóide, e em seguida voltam-se cranialmente para integrar o lemnisco lateral. Admite-se que algumas fibras permanecem do mesmo lado e também que algumas

fazem conexão com o núcleo olivar superior homolateral. Algumas fibras procedentes dos núcleos cocleares são homolaterais, isto é, penetram no lemnisco lateral do mesmo lado.

As fibras do lemnisco lateral passam da ponte para o pedúnculo cerebral, inclinam-se posteriormente, para chegar no colículo inferior da lâmina quadrigêmea (mesencéfalo), onde fazem sinapse com os terceiros neurônios da via auditiva. O colículo inferior recebe fibras curtas que fazem conexão em direção aos centros inferiores, constituindo uma via reflexa através do fascículo longitudinal dorsal. A maioria das fibras passa pelo braço do colículo inferior, onde fazem sinapse com os últimos (4º) neurônios da via auditiva, sensitiva. Esses neurônios dirigem-se para o corpo geniculado medial. Do corpo geniculado medial, os axônios desses neurônios formam a radiação auditiva. Passando sob o tálamo e o núcleo lentiforme, atravessam a cápsula interna para projetar-se no córtex auditivo, ou seja, no giro *temporal transverso anterior* (áreas 41 e 42 de Brodmann), estendendo-se também para a borda lateral do lobo temporal e grande parte do Córtex do lobo da ínsula. A via auditiva diferencia-se das demais vias por apresentar quatro neurônios (conforme foi descrito), enquanto as demais vias são formadas por três neurônios, no seu percurso. Ainda mais, o córtex auditivo recebe impulsos vindos da cóclea do lado oposto e do mesmo lado, visto que muitas fibras são homolaterais. Infere-se daí que as patologias que lesionam apenas uma área auditiva cortical não provoca surdez total. A área auditiva cortical primária (área 41 de Brodmann) tem uma organização tonotópica, também observada em outras áreas corticais próximas.

A projeção da via auditiva no córtex localiza-se principalmente no plano supratemporal do giro temporal superior, estendendo-se também pela borda lateral do lobo temporal e grande parte do córtex do lobo da ínsula. Duas áreas são descritas. Uma é *de curta latência ou área auditiva primária* do córtex cerebral (áreas 41 e 42 de Brodmann), situada no giro temporal transverso anterior. Esse giro, também chamado giro de *Heschl*, se situa profundamente no assoalho do sulco lateral (*de Sylvio*), que recebe as radiações auditivas do corpo geniculado medial que conduz impulsos da cóclea de cada orelha; lesões nesta área causam somente uma surdez discreta, exceto quando são bilaterais. A outra área é de *longa latência ou*



*córtex auditivo secundário* (área 22 de Brodmann). A estimulação direta na área do córtex auditivo primário (área de curta latência) faz o indivíduo ouvir um som tilintante, um rugido intenso ou algum outro som único e discreto. Por outro lado, a estimulação no córtex auditivo secundário (área de longa latência) faz o indivíduo perceber, ocasionalmente, sons inteligíveis ou mesmo sentenças inteiras. Assim, é possível dividir o córtex auditivo em uma *área receptiva primária de curta latência* e uma *área interpretativa de longa latência*.

## VIA VESTIBULAR

A via vestibular conecta o componente vestibular da orelha interna com o cerebelo. É responsável pelo equilíbrio estático, como indicar a posição da cabeça em relação aos efeitos gravitacionais, e o equilíbrio cinético, como indicar as alterações nos movimentos da cabeça.

Para o desempenho dessas funções, o sistema nervoso necessita de informações que são fornecidas pelo *órgão da visão*, pela *sensibilidade proprioceptiva geral* (sensibilidade originada ao nível dos músculos, ossos e articulações) de todo o organismo, pelos receptores cinéticos das máculas utricular e sacular e pelos receptores do equilíbrio estático das cristas ampulares das ampolas dos canais semicirculares. Os neurônios bipolares, cujos corpos celulares se encontram no gânglio vestibular (gânglio de Scarpa) do ramo vestibular do VIII par, no meato acústico interno, têm seu prolongamento periférico nascendo nas sinapses com as células ciliadas das máculas e das cristas ampulares. Os prolongamentos centrais (axônios), em sua maioria, terminam no tronco encefálico do mesmo lado, onde fazem sinapses com os núcleos vestibulares superior, inferior, lateral e medial. As fibras procedentes das cristas ampulares atingem os núcleos medial e superior, enquanto as procedentes das máculas utricular e sacular chegam aos núcleos lateral inferior e também medial. Muitas fibras vestibulares seguem pelo corpo restiforme (pedúnculo cerebelar caudal) e terminam no córtex cerebelar ipsilateral, no lobo floclonodular (arquicerebelo). Também esse lobo e os núcleos cerebelares (fastigial) enviam fibras diretas e cruzadas para os núcleos vestibulares, assim é que a maioria dos impulsos

recebidos pelos núcleos vestibulares tem origem nos receptores vestibulares ( das máculas e ampolas) e no cerebelo.

### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- Anson BJ, Donaldson JA. Surgical anatomy of the temporal bone. 3rd. Philadelphia: Saunders; 1981.
- Avan P, Bonfils P. Anatomie et physiologie de la cochlée. Acta Otorhinolaryngol Belg. 1991;45(2):115-54.
- Bast TH, Anson BJ. The temporal bone and the ear. Springfield: Charles C.Thomas; 1949.
- Bloom W, Fawcett DW. A textbook of histology. 10th ed. Philadelphia: Saunders; 1975.
- Bolz EA, Lim DJ. Morphology of the stapediovestibular joint. Acta Otolaryngol. 1972;73(1):10-7.
- Costa SS, Cruz OL, Oliveira JAA. Otorrinolaringologia: princípios e prática. Porto Alegre: Artes Médicas; 1994.
- Donaldson JA, Warpeha RL. Surgical anatomy of temporal bone. 3rd. Philadelphia: Saunders;1981.
- Goss C. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea, Febiger; 1967.
- Iurato S. Submicroscopic structure of the inner ear. New York: Pergamon; 1967.
- Kimura RS. The ultrastructure of the organ of Corti. Int Rev Cytol. 1975;42:173-222.
- Koç A, Ekinci G, Bilgili AM, Akpınar IN, Yakut H, Han T. Evaluation of the mastoid air cell system by high resolution computed tomography: three-dimensional multiplanar volume rendering technique. J Laryngol Otol. 2003;117(8):595-8.
- Latarjet M, Ruiz-Liard A. Anatomia humana. 2ª. ed. México: Panamericana; 1988.
- Lim DJ. Scanning electron microscope morphology of the ear. In: Paparella MILÍMETROS, Shumrick DA, organizadores. Otolaryngology. Philadelphia: WB Saunders; 1980.
- Litton WB. Epithelial migration over tympanic membrane and external canal. Arch Otolaryngol. 1963;77:254-7.
- Molvaer OI, Vallersnes FM, Kringlebotn M. The size of the middle ear and the mastoid air cell. Acta Otolaryngol. 1978;8(1/2):24-32.

- Nager GT, Nager M. The arteries of the human ear with particular regard to the blood supply of the auditory ossicles. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1953;62(4):923-49.
- Proctor B. The development of the middle ear spaces and their surgical significance. *J Laryngol Otol.* 1954;78:631-48.
- Sade J. Middle ear mucosa. *Arch Otolaryngol.* 1966;84(2):137-43.
- Saito R, Igarashi M, Alford RR, Guilford FR. Anatomical measurement of the sinus tympani. *Arch Otolaryngol.* 1971;94(5):418-25.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus: atlas de anatomia.* Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2007.
- Soares JC, Zorzetto NL, Garcia PJ, Piffer CR, Tamega OJ. Estudo anatômico do canal facial: disposição do conteúdo neural, vascular, muscular e conjuntivo. *Rev Bras Ciênc Morf.* 1984;1(2):12-20.
- Zorzetto NL. Anatomia da fôssula da janela do vestíbulo. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 1970;36(2):125-31.
- Zorzetto NL. Beitrag zum studium des ponticulus promontorii des menschlichen Mitterlohres. *Rev Bras Pesq Méd Biol.* 1970;3(3/4):65-75.
- Zorzetto NL, Escudero LH, Castro AO. Localização e frequência das deiscências do canal facial-intratimpânico. *AMB Rev Assoc Méd Brasil.* 1969;15(10):415-8.
- Zorzetto N, Tamega OJ. The anatomical relationship of the middle ear and the jugular bulb. *Anat Anz.* 1979;146(5):470-82.
- Whittemore Junior, KR, Merchant SN, Rosowski JJ. Acoustic mechanism: canal wall-up versus wall-down mastoidectomy. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1998;118(6):751-61.