

# **BASES ANATÓMICAS DE LA AUDICIÓN Y DEL EQUILIBRIO**

**Texto Original:**

**“Bases Anatômicas da Audicao e do Equilibrio”**

**autora: Laís Vieira Bonaldi,**

con la colaboración de Marco Antonio De Angelis, Eduardo Cotecchia Ribeiro, Ricardo Luis Smith  
2004

**Traducido por alumnos Universidad de La Frontera  
Bajo la supervisión del Dr. Fernando Matamala**



Noelia Pérez Chávez  
David Ibarra Gallardo  
Katherine Illanes Suárez

## **PARTE I: OÍDO EXTERNO Y OÍDO MEDIO**

### **Capítulo 1**

#### **Origen de La Audición: Un Capítulo en La Evolución del Equilibrio**

La Audición permite al ser humano discriminar cerca de 400.000 sonidos. El sonido, estímulo específico para la audición, puede ser caracterizado básicamente en términos de amplitud y frecuencia. La amplitud es definida por niveles de presión sonora en decibelios (dB), y la frecuencia por número de oscilaciones por segundo en Hertz (Hz). Para el oído humano normal, aunque la sensibilidad varíe para cada frecuencia, la amplitud varía una fracción de intensidades comprendidas entre un límite de audición (0 dB en la fracción de frecuencia más sensible) y los sonidos que producen dolor y pueden causar lesiones (120 a 140 dB). En general, la fracción de percepción para las frecuencias varía entre 20 a 20.000 HZ, con mayor sensibilidad para aquellas en la fracción media (1.000 a 4.000 Hz), teniendo que la mayoría de la energía liberada durante el habla está entre 250 y 3.000 Hz. Entre tanto, la mayoría de los estímulos sonoros son complejos, teniendo múltiples frecuencias de diferentes amplitudes.

El origen de la audición revela que esta función, desempeñada por un órgano complejo, es consecuencia de la evolución de una estructura extremadamente simple de organismos pre-históricos y peces primitivos que no eran capaces de oír, pero poseían un mecanismo básico de equilibrio, función considerada “secundaria” en el sistema vestibulo-coclear de mamíferos.

El sistema vestibulococlear posee semejanzas en términos funcionales y evolutivos con otros sistemas que presentan mecano-receptores basados en una estructura de células ciliadas que responden a estímulos externos por medio de una dislocación de los cilios. Tales semejanzas pueden ser observadas desde los primordios de la evolución.

Considerado como la base de la evolución de las estructuras auditivas por ser el primer órgano sensorial del que se tiene conocimiento, el estatocisto (bolsa que mantiene el equilibrio) es el órgano sensorial del Agua-viva (nombre popular de un Celenterado, animal que presenta cavidades digestivas divididas en compartimientos, pero con una única abertura guarnecida de tentáculos, que además tiene forma de medusa), presente en la base de sus tentáculos.

Semejante a la estructura de la mácula del sáculo y del utrículo, el mecanismo de estatocisto mantiene el equilibrio debido a la fuerza de gravedad. Cuando el Agua-viva está en posición horizontal, una partícula microscópica de calcáreo en una membrana (estatólito) reposa en cerdas que llevan las células sensoriales. Si el animal se inclina, la partícula se mueve y estimula las células sensoriales y, en reacción a esa señal, el animal corrige su posición.

Otro mecanismo presente en todos los peces y en algunos anfibios es una estructura llamada Línea Lateral, constituida de células ciliadas y fibras nerviosas, semejantes a aquellas del oído interno humano. Son ambos filamentos nerviosos los que recorren el cuerpo bajo la superficie y están ligados a puntos sensoriales (terminaciones nerviosas) dispuestos en varios ángulos y en planos diferentes del cuerpo, expuestos al medio

externo. Cada punto sensorial está formado por varias protuberancias sensitivas o "tacto acuático", entre las cuales hay columnas gelatinosas semejantes a las cúpulas de las crestas ampulares, que reaccionan a las corrientes de agua, convirtiendo vibraciones en impulsos nerviosos. Esa Línea garantiza la percepción para movimientos de agua provocados por corrientes y reflexión de barreras u otros animales en movimiento, ayudando a cardúmenes de peces a mantenerse en formación.

Complementando la Línea Lateral, surge evolutivamente en peces una estructura conocida como Vejiga Nadadora, que consiste en una bolsa localizada en la Cavidad Celómica revestida por células sensoriales capaces de hacer una transducción de movimientos de aire en impulsos nerviosos, en el interior de la misma cavidad celómica. La función primordial de la vejiga nadadora es mantener el pez en la profundidad adecuada por medio de la flotación, sin embargo, en algunos peces es utilizada también para producir sonidos. Entretanto, la vejiga nadadora indica al pez sus desplazamientos y presenta sensación para vibraciones provocadas por ondas sonoras, principalmente de frecuencias bajas, pues se retrae o se expande, agitando otros fluidos en el cuerpo del pez y, en consecuencia, estimulando las células sensoriales del oído interno. Algunos peces, generalmente llamados "peces que escuchan", poseen los Huesecillos Weberianos, una cadena de cuatro huesecillos que transmiten al oído interno las vibraciones del agua captadas por la vejiga nadadora. El movimiento de los líquidos que rellenan el laberinto excita las células ciliadas y los filamentos nerviosos transmiten los impulsos al cerebelo.

Los animales que viven en el agua no tienen necesidades de tener oído externo y medio, pues la onda sonora puede vibrar los líquidos próximos a la vejiga nadadora y la vibración será transmitida directamente al oído interno. En animales del medio terrestre, las ondas sonoras son transmitidas desde el aire hasta el líquido, y si no existiesen tanto el oído externo como el oído medio, esas ondas seguirían la vía de menor resistencia, o sea, retornarían, y la mayor parte de la energía sonora no entraría en contacto con el líquido del oído interno.

Algunos peces llevan miles de años pasando del medio acuático al terrestre y viceversa, tornándose anfibios, donde varias modificaciones adaptativas ocurrirán, entre las cuales las del oído primitivo, pues el sonido es transmitido con menor velocidad en el aire que en el agua. Las modificaciones que posibilitaron la audición en el medio terrestre provocaron el desarrollo del oído medio, con la transferencia de los huesos de la mandíbula para ese oído y el desarrollo de la membrana timpánica observada en los anfibios. En el Girino (un ejemplo de anfibio), las ondas sonoras hacen vibrar las branquias en el pulmón y son transmitidas por la columnilla (huesecillo del oído medio), tocando el oído interno por medio de la ventana de la cóclea. Después de la metamorfosis, el rudimento timpánico se expande en una membrana timpánica que excede la función anteriormente descrita por el pulmón, y las vibraciones llegan al oído interno por medio de la ventana del vestíbulo.

En los reptiles (cocodrilos y caimanes), evolutivamente, una pequeña protuberancia en forma de tubo curvo se proyecta, proporcionando más espacio a las células del oído interno. En mamíferos, esa proyección está formada por una membrana larga, con células sensoriales en su superficie que envían los impulsos al cerebro, desenrollándose en forma espiralada, a semejanza de un caracol (cóclea). En los pájaros, ese caracol (cóclea primitiva) es ligeramente encorvado.

En cuanto a los insectos, presentan una audición extremadamente simple, pues su desarrollo fue únicamente terrestre, sin la necesidad de modificaciones adaptativas. Están apenas la membrana timpánica y los "nervios" que captan directamente desde las vibraciones sonoras, siendo extremadamente eficiente y permitiendo oír sonidos mucho más allá que la audición humana. Esa estructura puede situarse en diferentes lugares del cuerpo del insecto, tales como la base de las alas, las antenas y las patas.

Otros animales como los murciélagos y los delfines, utilizan la audición para guiarse, por medio de una onda sonora reflejada por el medio ambiente. Es la llamada "visión sonora" o "localización por el eco".

Así como la evolución de ese sistema, el conocimiento de la anatomía del oído humano es resultado de una serie de especulaciones y estudios empíricos que transcurrieron por milenios hasta toparnos con la etapa actual.

Inicialmente, se acreditó la presencia de "aire interno" en el sistema auditivo (Aristóteles, 384 a 322 a.C.) como la base de la audición. Ese concepto permaneció hasta el siglo XVIII, acreditándose que las secreciones purulentas del oído serían provenientes del cerebro (Hipócrates, 400 a 377 a.C.). Se supuso además que la percepción del sonido ocurría por el impacto de partículas materiales en el órgano de la audición (Lucrecia, 99 a 55 a.C.). Por otra parte, términos específicos comenzarían a ser utilizados para designar la anatomía tanto de la Oreja – descrita con el uso de los términos Hélice, Antihélice y Concha (Rufus de Ephesus, 97 d.C.) – como de los espacios observados en el hueso temporal, citados como "Laberinto" (Galeno, 130 al 200 d.C.).

En cuanto al oído medio, surgieron las denominaciones de los huesecillos Martillo, Yunque (Vesalius, 1543) y Estribo, descubierto posteriormente (Ingrassia, 1546).

Es así como nuevos conocimientos del oído medio continuarían siendo divulgados, entre ellos la descripción de la Tuba Auditiva y del Músculo Tensor del Tímpano (Eustaquio, 1564), seguidos por el descubrimiento del Músculo Estapedio (Varolio, 1591). Las relaciones del oído medio con el espacio mastoideo definirían el término Entrada al Antro Mastoideo (Valsalva, 1666). La membrana timpánica fue diferenciada en dos partes: una parte tensa y una parte blanda (Shrapnell, 1832).

El oído interno fue descrito como un Laberinto formado, por el Vestíbulo, Canales Semicirculares y la Cóclea, llamada así debido a sus características anatómicas (Falopio, 1561), sin embargo el laberinto óseo y el membranoso tienen su descripción detallada posteriormente (Duverny, 1648 a 1730). Asta entonces, se suponía que el laberinto óseo era relleno por aire, hasta cuando fue observado un hueso temporal congelado, definiéndose su relleno por líquido (perilinfa) y la existencia de los acueductos de la cóclea y del vestíbulo y del saco endolinfático (Cotugno, 1736 a 1822). Posteriormente, la porción vestibular del laberinto membranoso

(Utrículo y Sáculo) y su relleno líquido (endolinfa) fueron descritos (Scarpa, 1747 a 1838, en cuyo homenaje llegaría a ser designado el Ganglio Vestibular).

Con la identificación de la membrana vestibular (Reissner, 1824 a 1878), la cóclea fue dividida en tres rampas, siendo descrito el Órgano Espiral (Corti, 1822 a 1876), receptor auditivo en la rampa media (ducto coclear). Se inició una nueva era de investigaciones, en la cual la funcionalidad del sistema vestibulococlear pasó a ser ampliamente investigado. Los aspectos clínicos y diagnósticos pasaron a ser directamente influyentes, destacándose la teoría de las Ondas Viajeras (George von Békésy, 1952) y las emisiones otoacústicas generadas por las células ciliadas externas (David Kemp, 1978), entre otras investigaciones que abarcan niveles cada vez más superiores del procesamiento auditivo de estímulos complejos.

---

## **Aspectos estructurales del hueso temporal humano**

---

La región temporal de la cabeza está constituida por el hueso temporal, que contiene las estructuras relacionadas con la audición y el equilibrio, es decir, el oído externo, el oído medio y el oído interno.

El hueso temporal presenta las siguientes relaciones óseas con el resto del cráneo (Fig. 2.1A):

- *Anteriormente* – ala mayor del hueso esfenoides, por medio de la sutura esfenoescamosa; proceso temporal del hueso cigomático, por medio de la sutura temporocigomática; parte basilar del hueso occipital, por medio de la parte petrosa;
- *posteriormente* – hueso occipital, por medio de la sutura occipitomastoídea
- *superiormente* – hueso parietal, por medio de las suturas parietomastoídea y escamosa;
- *inferiormente* – mandíbula, por medio de la articulación temporomandibular.

Didácticamente, el hueso temporal puede ser dividido en tres partes, que a continuación se describen: escamosa, timpánica y petrosa.

### **Parte escamosa**

Comprende las porciones anterior y superior del hueso temporal y tiene como origen de su denominación la semejanza que presenta a la forma de una concha (Fig. 2.1B). Se relaciona con los huesos esfenoides y parietal (suturas esfenoescamosa y escamosa, respectivamente) y con las partes petrosa (fisura petroescamosa) y timpánica (fisura timpanoescamosa). También mantiene relación con el proceso mastoídeo, que pertenece a la parte petrosa por medio de la cresta supramastoídea.

En la cara cerebral pueden observarse impresiones de los giros y surcos arteriales, como el surco de la arteria meníngea media, la fisura petroescamosa y los forámenes de los vasos diploicos.

En la cara temporal se observa el surco de la arteria temporal media, la cual es lisa, convexa y presenta los siguientes accidentes:

- Proceso cigomático – arco largo que se proyecta anteriormente de la escama del temporal. Su margen superior es largo y fino, siendo el lugar de inserción de la fascia temporal. El margen inferior es más corto, espeso y arqueado, siendo el lugar de inserción del músculo masétero;
- fosa mandibular – se localiza anterior al meato acústico externo, cuyo techo y parte superior de la pared posterior están formados por la parte escamosa de hueso temporal y posterior al tubérculo articular, donde se desliza la cabeza de la mandíbula. El borde inferior del arco cigomático se proyecta posteriormente y presenta el tubérculo para la inserción del ligamento lateral de la articulación temporomandibular (articulación de tipo sinovial, que posee un disco articular);
- fosa supraraeática – es una pequeña depresión situada superior y posteriormente al meato acústico externo. Aproximadamente a 1 cm, póstero-medialmente, se encuentra el antro mastoídeo;
- cresta supramastoídea – eminencia ósea que se continúa de la porción posterior de la parte escamosa al borde superior del proceso cigomático;
- tubérculo postglenoideo – se encuentra inmediatamente en frente del meato acústico externo.

### **Parte timpánica**

Consiste en una lámina ósea curva que se une posteriormente con la parte petrosa y el proceso mastoídeo además de formar la vaina del proceso estiloideo. Su parte superior forma el suelo, la pared anterior y parte de la pared posterior del meato acústico externo. Medialmente, presenta un surco estrecho para la fijación de la membrana timpánica, el surco timpánico. Su parte ántero-superior está separada de la cabeza y del cuello de la mandíbula por una porción de la glándula parótida.

Limita con la parte escamosa (fisura timpanoescamosa), con el proceso mastoídeo (fisura timpanomastoídea) y con la porción lateral de la parte petrosa del hueso temporal.

La fisura timpanoescamosa, localizada en la región posterior de la fosa mandibular, separa la parte timpánica de la parte escamosa (Fig. 2.2). La porción medial de esa fisura está ocupada por una proyección ósea (cresta tegmentaria) del tegmen timpánico, que la divide en: anteriormente, fisura petroescamosa y posteriormente, fisura petrotimpánica (paso del nervio cuerda del tímpano).

## Parte petrosa

Esta parte del hueso temporal, también denominada "peñasco", debido a la consistencia que presenta, contiene en su interior el oído interno bajo la forma de laberinto (Figs. 2.3A y B). Está formada por una cápsula ótica circundante, un laberinto óseo (serie de cavidades óseas), y un laberinto membranoso (bolsas membranosas comunicantes contenidas en las cavidades óseas).

Las estructuras que componen la porción ósea del laberinto son cavidades excavadas en la sustancia ósea, revestidas por periostio y llenas por perilinfa, conteniendo y protegiendo en su interior las estructuras del laberinto membranoso y sus respectivos órganos sensoriales.

El laberinto óseo comprende los siguientes espacios y canales:

- vestíbulo – presenta un receso esférico, un receso elíptico, un receso coclear y una comunicación con la cavidad timpánica denominada ventana del vestíbulo (oval), que está cerrada por la base del estribo;
- canales semicirculares – son tres, contienen una dilatación en una de sus extremidades que se denomina zona ampular, abriéndose al vestíbulo por 5 orificios;
- cóclea – canal óseo que presenta una comunicación con la cavidad timpánica, la ventana de la cóclea (redonda), cerrada por la membrana timpánica secundaria;
- acueducto del vestíbulo – se extiende desde el vestíbulo a la porción posterior de la parte petrosa del hueso temporal, donde se encuentra la abertura del acueducto del vestíbulo. Contiene el canal endolinfático;
- acueducto de la cóclea – se extiende hacia la cara inferior de la parte petrosa del hueso temporal, comunicando el espacio perilinfático con el espacio subaracnoideo, a través de la abertura del canalículo de la cóclea.

La parte petrosa del hueso temporal tiene relaciones con el hueso occipital (el borde posterior está en contacto con la parte basal del hueso occipital), con el esfenoides (el ápice de la parte petrosa termina en el ala mayor del hueso esfenoides), con la parte escamosa (fisura petroescamosa) y con el proceso mastoideo (surco del seno sigmoideo).

Presenta la forma de una pirámide (Fig. 2.4), con una base, un ápice, tres caras y tres bordes. La base dirigida lateralmente, se une con las caras cerebrales de la parte escamosa y del proceso mastoideo. El ápice está situado entre el borde posterior del ala mayor del hueso esfenoides y la parte basal del hueso occipital. Presenta la abertura interna del canal carotídeo. El ápice de la parte petrosa también constituye el límite pósterolateral del foramen lacerado.

Las tres caras de la parte petrosa son: anterior, posterior e inferior.

La cara anterior se encuentra separada de la cara posterior por el borde superior, donde se encuentra el surco del seno petroso superior, que aloja el seno petroso superior. Presenta los siguientes accidentes óseos:

- eminencia arqueada – indica la posición del canal semicircular anterior;
- tegmen timpánico – depresión que indica la posición de la cavidad timpánica;
- hiato del canal del nervio petroso mayor – paso del nervio petroso mayor y del ramo petroso de la arteria meníngea media;
- canalículo timpánico – lateralmente al hiato del canal del facial da paso al nervio timpánico, ramo del nervio glossofaríngeo;
- impresión trigeminal – donde se aloja el ganglio trigeminal.

En la cara posterior se destacan:

- poro y meatos acústicos internos – paso del nervio facial, intermedio (raíz menor del nervio facial) y vestibulococlear, además del ramo auditivo interno de la arteria basilar;
- fondo del meato acústico interno – área del nervio facial (inicio del canal del nervio facial), área vestibular superior (paso de los nervios del utrículo y de los canales semicirculares anterior y lateral), cresta transversa, área vestibular inferior (pasan nervios que vienen del sáculo), foramen singular (abertura para el nervio del canal semicircular posterior), área coclear (tracto espiral foraminoso, aberturas para fibras nerviosas oriundas del modiollo de la cóclea);
- abertura del canalículo del vestíbulo – se sitúa posteriormente al meato acústico interno y da paso a pequeñas arterias y venas laberínticas;
- fosa subarqueada – se sitúa bajo el surco del seno petroso superior, entre el meato acústico interno y la abertura del canalículo del vestíbulo.

La cara inferior forma parte de la base externa del cráneo. En esta cara se destacan:

- área cuadrada – se sitúa próxima al ápice, entre el canal carotídeo y el foramen lacerado, siendo lugar de inserción del músculo elevador del velo palatino;
- canal carotídeo – la abertura externa está situada posteriormente al "área cuadrada" e inmediatamente al frente del foramen yugular; la abertura interna se sitúa junto al ápice de la parte petrosa. Da paso a la arteria carótida interna y al plexo nervioso carotídeo hacia la cavidad del cráneo;
- abertura del canalículo de la cóclea – se sitúa medial y posteriormente a la abertura externa del canal carotídeo y anteriormente a la fosa yugular;

- fosa yugular – posteriormente a la abertura del canalículo de la cóclea. Aloja el bulbo superior de la vena yugular interna;
- abertura del canalículo timpánico – se sitúa en la cresta ósea entre la abertura interna del canal carotídeo y la fosa yugular. Da paso al nervio timpánico, rama del nervio glosofaríngeo;
- canalículo mastoideo – se sitúa en la pared de la fosa yugular. Da paso a la rama auricular del nervio vago;
- vaina de proceso estiloides – se extiende posteriormente a la abertura externa del canal carotídeo; es una lámina ósea de la parte timpánica que se divide en dos, para envolver lateralmente al proceso estiloides, que es una proyección de la parte petrosa;
- forame estilomastoideo – se sitúa entre los procesos estiloides y mastoides. Es una abertura del canal del nervio facial; da paso al nervio facial y a la arteria estilomastoidea;
- fisura timpanomastoidea – se sitúa entre la parte timpánica y el proceso mastoideo; por esa fisura sale el ramo auricular del nervio vago;
- proceso estiloides – es una proyección de la parte escamosa y tiene relación con la parte timpánica, proceso mastoideo (foramen estilomastoideo) y la parte petrosa. Se dirige inferior y anteriormente, presentando el proceso estiloides. Es el lugar de inserción de tres músculos (estilogloso, estilofaríngeo y estilóideo), además da fijación al ligamento estilomandibular. Lateralmente, este proceso está cubierto por la glándula parótida. Se destaca también el foramen estilomastoideo, que se localiza entre los procesos mastoides y estiloides, por el cual emerge el nervio facial;
- proceso mastoideo – es una proyección cónica, cuya forma y tamaño varían. Lugar de inserción de los músculos esternocleidomastoideo, esplenio de la cabeza y largo de la cabeza. Medialmente a este proceso, hay una incisura mastoidea, lugar de inserción del vientre posterior del músculo digástrico y medialmente a esa incisura está el surco de la arteria occipital.

El proceso mastoideo en el adulto contiene, normalmente, cierto número de espacios aéreos – las celdas mastoideas – observadas a través de un corte del referido proceso. Estas celdas varían en número y tamaño. En la parte superior son mayores e irregulares en relación a la parte inferior. Contienen aire, tienen el mismo revestimiento de la túnica mucosa de la cavidad timpánica (oído medio) y se comunican con ella a través de la entrada al antro mastoideo. El antro mastoideo está separado de la fosa media del cráneo por medio de una lámina ósea delgada – o tegmen timpánico – se abre anteriormente a la porción superior de la cavidad timpánica, denominada receso epitimpánico. Las células mastoideas ya están presentes en el nacimiento o incluso antes. A los cinco años están bien aparentes, pero su desarrollo se completa en la pubertad.

Este proceso tiene relación con los huesos occipital (sutura occipitomastoidea) y parietal (sutura parietomastoidea), y con las partes escamosa (cresta supramastoidea) y timpánica del hueso temporal (fisura timpanomastoidea), la cual se localiza posteriormente. Se continúa medialmente con la parte petrosa, de la cual se desarrolla. El punto de unión de las suturas lambdoidea, parietomastoidea y occipitomastoidea se denomina asterio.

En la cara medial del proceso mastoideo (Fig. 2.5) se destaca: el surco del seno sigmoideo, que aloja al seno sigmoideo y el foramen mastoideo.

En cuanto a la cara lateral, es áspera y en ella se insertan los músculos occipitofrontal (vientre occipital) y auricular posterior.

Se destacan los siguientes accidentes anatómicos:

- fisura timpanomastoidea – separa al proceso mastoideo de la parte timpánica y de la entrada al ramo auricular del nervio vago;
- foramen mastoideo – se sitúa próximo al borde posterior del proceso, dando paso a una vena hacia el seno transversal y a un pequeño ramo de la arteria occipital hacia la dura madre. Tiene posición y tamaño variables.

El foramen mastoideo no está siempre presente y puede estar ubicado en el hueso occipital o en la sutura entre huesos temporal y occipital.

El margen superior de la parte petrosa del hueso temporal está surcada por el seno petroso superior y el tentorio del cerebelo. En su extremidad medial hay una incisura donde se encuentra el nervio trigémino.

La mitad medial del margen posterior está marcada por un surco que forma, con una parte del hueso occipital, el surco del seno petroso inferior.

La región ínfero-anterior de la parte petrosa se relaciona con la parte escamosa por medio de la fisura petroescamosa y se articula con el hueso esfenoides por medio de la sincondrosis esfenopetrosa. En la región de unión de las partes petrosa y escamosa hay dos semicanales, uno superior y otro inferior, separados por una fina lámina ósea, o septo del canal musculotubario. Ambos se comunican con la cavidad timpánica. El superior, semicanal para el músculo tensor del tímpano, da paso a este músculo; el inferior, semicanal de la tuba auditiva, es la parte ósea de ésta.

---

## Oreja externa: Oreja y meato acústico externo

---

### Oreja

La oreja (pabellón auricular) es una estructura flexible de cartílago elástico recubierta por piel (cutis), situada en la región lateral de la cabeza, anteriormente al proceso mastoideo y posteriormente a la articulación temporomandibular. Tiene en promedio, 60 a 65 mm de altura por 25 a 35 mm de ancho y está dispuesta en un ángulo de aproximadamente 30 grados en relación a la superficie lateral de la cabeza, teniendo dos tercios posteriores libres y un tercio anterior unido a la cabeza.

Presenta una cara antero- lateral irregularmente cóncava, con eminencias y depresiones (Fig.3.1), y una póstero-medial menos irregular, convexa, con elevaciones que corresponden a las depresiones de otra cara. La cara antero-medial no presenta tejido subcutáneo, siendo por lo tanto, más susceptible al frío. La parte inferior, o lóbulo de la oreja está desprovista de cartílago y constituida de tejido adiposo recubierto por piel. Hay todavía ausencia de cartílago entre el trago y la hélice. La piel que cubre el pabellón auricular presenta pelos y glándulas sebáceas, siendo éstas más numerosas en la concha de la oreja o en la fosa escafoídea, en tanto los pelos están presentes en el trago, antitrigo e incisura antitrágica, especialmente en hombres viejos.

El pabellón auricular está constituido por una lámina fibrocartilaginosa (Fig.3.2) recubierta por piel, ligamentos y músculos. (Figs.3.3A y B), que ligan las partes circunvecinas, manteniendo su forma y posición, permitiendo el movimiento. Esta estructura está continuada por el meato acústico externo en su porción cartilaginosa que, a su vez, se une por tejido fibroso a su porción ósea.

Eminencias y depresiones.

- Hélice – Borde curvado y saliente que ocupa la región anterior y posterior, cuyo ramo corresponden su origen junto a la cavidad de la concha.
- Tubérculo de la Oreja (de Darwin) – pequeño tubérculo en la región en que la hélice se dobla póstero-inferiormente. No siempre está presente.
- Concha del pabellón auricular – Concavidad profunda, localizada en el centro de la oreja, limitada por cuatro eminencias: hélice, antihélice, trago y antitrago. Está dividida por el ramo de la hélice en dos partes: una superior o menor, denominada fosita de la concha, que recubre a la fosita suprameática de hueso temporal; una inferior y mayor, denominada cavidad de la concha, en la cual se inicia el meato acústico externo.
- Antihélice – Eminencia que acompaña la curvatura de la hélice estando localizada anterior y paralelamente a la misma. Ocupa un espacio entre la hélice y la concha de la oreja. Esta eminencia se divide superiormente en dos ramos que terminan en la hélice.
- Fosa triangular – Espacio triangular delimitado por la bifurcación de la antihélice. El ramo superior en forma redondeada es obtusa, se dirige oblicuamente hacia la hélice y cambia la dirección de vertical a horizontal; el ramo inferior se dirige directamente hacia la hélice y corresponde al límite inferior de la fosa triangular y superior de la concha de la oreja.
- Fosa escafoídea – Estrecha depresión curvada entre la hélice y la antihélice.
- Trago – Proyección laminar situada en la parte anterior de la concha de la oreja inferiormente. Extremidad inferior de la hélice; recubre parcialmente el meato acústico externo.
- Antitrigo – Tubérculo de superficie convexa y lisa situada en oposición al trago.
- Incisura antitrágica – Transversal, variablemente marcada de individuo a individuo, entre el trago y antitrigo.
- Lóbulo de la oreja – Formación flácida que corresponde a un quinto de la oreja. Localizado inferiormente al antitrigo, su forma y dimensión son muy variables, teniendo de 10 a 12 mm de largo. Está constituido por tejido adiposo y fibroso, distinguiéndose del resto de la oreja, constituido por tejido cartilaginoso elástico y firme.

## Ligamentos

Los ligamentos de la oreja son de dos tipos: los ligamentos extrínsecos, que la unen al hueso temporal, y los ligamentos intrínsecos, que unen varias partes del cartílago.

Los ligamentos extrínsecos son:

- Ligamento auricular anterior;
- Ligamento auricular superior;
- Ligamento auricular posterior.

En cuanto a los ligamentos intrínsecos, éstos pueden ser diferenciados en cuatro:

- Cordón que se extiende de la convexidad de la concha de la oreja hasta la prominencia formada atrás de la fosa antihélice (posterior);
- Sistema de fascículos fibrosos que se extienden de la cara convexa de la concha (posterior);
- Cordón que une el antitrágo, la hélice y la antihélice (anterior);
- Ligamento que se extiende del trágo a la hélice, alcanza el espacio entre éstos y los de cartílago y se continúa internamente con la porción fibrosa del meato acústico externo.

## Músculos

Los músculos de la oreja son estriados esqueléticos y pueden ser divididos en músculos extrínsecos y músculos intrínsecos.

Los músculos extrínsecos unen la oreja al cráneo y al cuero cabelludo, remueven en conjunto, y son los siguientes:

- Músculo auricular superior;
- Músculo auricular anterior;
- Músculo auricular posterior.

Los músculos intrínsecos se extienden de una a otra parte de la oreja y son:

- Músculo mayor de la hélice;
- músculo menor de la hélice;
- músculo trágico;
- músculo antitrágico;
- músculo transverso de la oreja;
- músculo oblicuo de la oreja;
- músculo piramidal de la oreja;
- músculo de la incisura terminal.

## Arteria y venas

Las principales arterias de la oreja son ramos de las siguientes arterias:

- Carótida externa: arteria auricular posterior;
- temporal superficial: ramos auriculares posteriores;
- maxilar: arteria auricular profunda;
- occipital: ramo auricular

Las venas responsables del drenaje de la oreja acompañan a las arterias correspondientes, siendo numerosas las anastomosis arteriovenosas en la superficie cutánea de la misma. Son las siguientes:

- Venas temporales superficiales;
- Vena temporal media;
- Venas temporales profundas;
- Venas auriculares anteriores;
- Venas timpánicas;
- Vena estilomastoidea;
- Vena auricular posterior.

## Vasos Linfáticos

Los vasos linfáticos de la oreja se dividen en tres grupos:

- Preauriculares;
- Mastoideos
- Parotídeos
- Cervicales profundos.

## Inervación

Los nervios de la oreja pueden ser divididos funcionalmente en:

- Ramos motores – procedentes del nervio facial, se destinan a los músculos extrínsecos;
- Ramos sensitivos – procedentes del nervio auriculotemporal, que es ramo del nervio mandibular (III par) y del ramo auricular del plexo cervical superficial.

Se pueden, todavía, diferenciar en:

- Nervio auricular magno;
- nervio occipital menor;
- ramo auricular del nervio vago;
- ramo auriculotemporal;
- nervio facial.

## Meato acústico externo

El meato acústico externo se origina a partir de la extremidad dorsal del primer surco braquial. Las células ectodérmicas del fondo de ese tubo proliferan y se extienden internamente bajo la forma de una placa epitelial llamada "tapón meático", cuyas células centrales degeneran, formando la parte interna del meato acústico externo.

El epitelio de esa región ectodérmica situada entre el primer o segundo arco braquial está en contacto con el endodermo de la primera bolsa faríngea. El tejido conjuntivo derivado de mesoderma, situado entre las dos láminas, se torna a una capa fibrosa de la membrana timpánica que es trilaminar.

El tejido conjuntivo alrededor del borde de la membrana timpánica se comienza a osificar cerca del tercer mes de vida intrauterina y forma el anillo timpánico, que sirve como un soporte circunferencial de esa membrana. El meato acústico externo provee comunicación entre el medio ambiente y el oído medio, pues se extiende de la cavidad de la concha a la membrana timpánica, en dirección a la cual el sonido es conducido.

En adultos, consiste en un tubo cerrado de aproximadamente 2,8 cm de largo, cuya luz es elíptica con mayor diámetro en sentido vertical y prácticamente circular junto al anillo timpánico. Los mayores diámetros están en sus extremidades. Dos constricciones pueden ser observadas, una próxima a la extremidad medial de la parte cartilaginosa y otra denominada istmo del meato acústico externo, en la parte ósea, distante aproximadamente 19 mm del fondo de la cavidad de la concha.

Estructuralmente, el meato acústico externo en forma de "s" puede ser en un tercio lateral cartilaginoso (meato acústico externo cartilaginoso) y dos tercios mediales óseos, ambos revestidos internamente por piel (Fig.3.4). Los dos tercios mediales poseen paredes óseas pertenecientes a la parte timpánica y escamosa del hueso temporal, miden aproximadamente 16 mm y son más estrechos que el tercio lateral. La extremidad medial es menor que la extremidad lateral y presenta un surco, el surco timpánico.

El anillo timpánico es responsable de la formación de las paredes anterior, inferior y parte de la posterior de la porción ósea del meato acústico externo, en cuanto su parte pósterio-superior está constituida por la parte escamosa del hueso temporal.

El tercio lateral del meato acústico externo tiene aproximadamente 8 mm de largo y diámetro variable, dependiendo de factores como el movimiento de la mandíbula. Presenta paredes cartilaginosas que sin una continuación del cartílago de la oreja, estando fijadas a la parte ósea del meato acústico externo por tejido fibroso. En tanto la región pósterio-superior presenta una faja en la cual no hay cartílago, siendo ocupada por una lámina de colágeno.

La piel que reviste el meato acústico externo cartilaginoso presenta los siguientes anexos:

- Folículos pilosos – estos son observados excepcionalmente en la parte ósea;
- glándulas sebáceas – menos desenvueltas que las de la oreja; se abren junto a los folículos pilosos en la superficie de la piel;
- glándulas ceruminosas – situadas próximas unas de otras formando una camada en la superficie del meato acústico externo. Secretan la cera de la oreja o cerumen y sus ductos se abren a una superficie epitelial o en una glándula sebácea de un folículo piloso.

El cerumen es una mezcla de secreciones de glándulas sebáceas y ceruminosas que en conjunto a la presencia de pelos tienen una función protectora, inclusive previenen la entrada de insectos y cuerpos extraños impidiendo que el revestimiento del meato sea macerado por agua aprisionada en su espacio.

Puede haber perturbación de las vibraciones sonoras debido al bloqueo del meato acústico externo por excesiva producción o retención de cerumen o por su contacto con la membrana timpánica.

Además de eso, el aire atrapado en dicho meato condiciona un ambiente caliente y húmedo, que es esencial para la efectividad de la respuesta de la membrana timpánica.

La piel del meato acústico externo es una prolongación de aquella que reviste el pabellón auricular y la superficie externa de la membrana timpánica. Esa piel es fina y está íntimamente adherida a las partes cartilaginosas y óseas del meato, lo que torna las inflamaciones en esa región más dolorosas.

### **Arterias y venas**

- Arteria temporal superficial;
- arteria auricular posterior;
- arteria auricular profunda o timpánica.

Las venas del meato acústico externo pueden ser divididas en dos grupos:

- Venas auriculares anteriores – vienen del meato acústico externo y de la oreja y terminan en las venas maxilares internas y en el plexo pterigoideo;
- venas auriculares posteriores – vienen de la parte posterior y superficial del pabellón auditivo y terminan en la vena yugular externa.

### **Vasos Linfáticos**

La red linfática es abundante y extensamente anastomosada, pudiendo ser diferenciada en zona anterior, inferior y posterior, con tres vías de drenaje, la anterior, la media y la posterior.

### **Inervación sensitiva**

La sensibilidad del meato acústico externo viene de ramos de los siguientes nervios:

- auriculotemporal;
- plexo cervical;
- vago;
- facial.

### **Aspectos funcionales del oído externo.**

La función de la oreja y del meato acústico externo es proteger la membrana timpánica contra daños mecánicos y promueve la captación y la conducción de la onda sonora en dirección a dicha membrana. Ahora, los músculos de la oreja deberían, al principio, mover las partes en que se insertan, modificando así su forma general y las dimensiones de entrada del meato para influenciar el modo como se reflejan las ondas sonoras, en el hombre son músculos rudimentarios desprovistos de función activa. Hay todavía, presencia de la propia cabeza en el campo sonoro que ejerce, en conjunto con los elementos estructurales de la oreja, efecto en la intensidad de la onda sonora que llega a la membrana timpánica, siendo su "sombra sonora" importante en el proceso de localización de la fuente. Ese proceso ocurre debido a la audición binaural, basándose en las propiedades de la onda sonora y en la diferencia de la distancia y posición entre las orejas y la fuente sonora, y que propicia diferencias de tiempo de propagación e intensidades las que serán procesadas en el Sistema Nervioso. Se basa también, en la configuración de la oreja y del meato acústico externo, es decir, la intensidad sonora a ser oída depende no sólo del tamaño y de la forma de la cabeza del individuo, como también de la frecuencia sonora, la dirección angular y de la elevación de la fuente sonora en relación al oyente. Depende todavía, de las propiedades acústicas de la oreja y del meato acústico externo, que amplían el efecto de la "sombra sonora" y recalcan la sensibilidad para los sonidos.

El meato acústico externo es un tubo cerrado en una de sus extremidades y por lo tanto, la mayor resonancia es obtenida cuando su largo corresponde a un cuarto del largo de la onda de sonido utilizado, frecuencia de aproximadamente 4000 Hz. El meato acústico externo termina en una membrana compliante que transmite y refleja energía sonora, la que modifica el efecto del largo, generando resonancia por encima de una amplia gama de frecuencia, que es complementado por el efecto de resonancia de la concha de la oreja. El resultado de los efectos combinados de la reflexión de la oreja, de la resonancia del meato acústico externo y de la difracción de la cabeza es un aumento en el nivel de presión sonora que llega a la membrana timpánica. La oreja aumenta el sonido en 5 a 10 dB en la gama de 3000 a 4000 Hz; la difracción de la cabeza permite la percepción de frecuencias graves, aunque una de las orejas no sea volteada directamente hacia la fuente sonora.

---

## Oído Medio

---

### Cavidad Timpánica

El oído medio está constituido por una cavidad llena de aire excavada en el hueso temporal, denominada cavidad timpánica.

Esta cavidad contiene; huesecillos que constituyen una cadena ordenada entre las paredes medial y lateral, articulaciones, músculos y una túnica mucosa.

Se encuentra limitada lateralmente por la membrana timpánica y medialmente por la pared lateral del oído interno. Se comunica anteriormente con la pared nasal de la faringe a través de la tuba auditiva y posteriormente con las células mastoideas a través de la entrada al antro mastoideo.

La cavidad y el revestimiento del oído medio, al igual que el de la tuba auditiva, se origina de la porción terminal expandida de la bolsa faríngea. Esta se expande en un receso denominado receso tubotimpánico, el cual puede ser diferenciado en dos partes, una distal y una proximal. Posteriormente, en el segundo mes de vida intrauterina, mientras que la porción proximal de la primera bolsa faríngea sufre una constricción para formar la tuba auditiva, la distal se expande en un saco achatado formando la cavidad timpánica primaria. Así como la porción distal se expande y se transforma en la cavidad timpánica; su epitelio endodérmico envuelve gradualmente los huesecillos de la audición, los tendones, los ligamentos y el nervio cuerda del tímpano.

Una expansión de la cavidad timpánica da origen al antro mastoideo, por medio de la inducción de la erosión del hueso circundante por el revestimiento epitelial del oído medio que pasa a revestir los espacios aquí constituidos, formando las células aéreas (neumatización). La túnica mucosa de las células aéreas se continúa con la de la cavidad timpánica.

El epitelio de revestimiento de la túnica mucosa timpánica se continúa con el de la túnica mucosa faríngea, siendo, algunas veces, estratificado, otras cuboidal y en otras regiones, cilíndrico ciliado.

La cavidad timpánica es, por lo tanto, un espacio irregular, que puede ser comparado con la forma de un hexágono irregular con 15 mm de altura, 15 mm de ancho y espesor que varía: 6 mm (parte superior), 2mm (parte central) y 4 mm (parte inferior).

Esta cavidad posee un receso denominado receso epitimpánico, que contiene la cabeza del martillo, el cuerpo y el ramo corto del yunque. La parte media de la cavidad timpánica, situada a nivel de la membrana timpánica, es llamada por algunos, mesotímpano y la parte inferior es denominada hipotímpano.

Los límites de la cavidad timpánica son representados por seis paredes (Figs. 4.1A y B): membranosa, laberíntica, tegmentaria, yugular, carotídea y mastoidea.

### Pared membranosa

La pared membranosa está formada, en su mayor extensión, por una porción membranosa – la membrana timpánica - (Fig. 4.2A), siendo apenas completada por una porción ósea, representada por las partes óseas que la rodean, es decir, la pared lateral del receso epitimpánico y la pared lateral del hipotímpano.

La membrana timpánica es una estructura translúcida que separa el oído externo del oído medio (Fig. 4.2B). Presenta 85 milímetro cuadrados de superficie, 10 mm de diámetro y 0,1 mm de espesor. Tiene apariencia circular, a pesar de que normalmente su diámetro vertical predomina sobre el horizontal.

Su inclinación es variable de acuerdo con la edad. Durante la vida embrionaria, está situada en la base externa del cráneo y presenta una disposición horizontal; a medida que el cráneo se desarrolla, va tomando una disposición más vertical. En el adulto, se encuentra en posición oblicua, dispuesta antero-lateralmente. Presenta una pequeña concavidad vuelta hacia el meato acústico externo, y su mayor profundidad se encuentra localizada en el centro de la membrana y se denomina ombligo, corresponde internamente a la fijación local de la extremidad libre del manubrio del martillo. (Fig. 4.3A).

La membrana timpánica se une a la extremidad medial del meato acústico externo por medio del anillo timpánico, fibrocartilaginoso, que está fijo al surco timpánico y se extiende desde el cuadrante antero-superior hasta la mitad del postero-superior. La parte flácida de la membrana se une directamente al hueso, en donde, por no haber presencia de este anillo, se forman los dos pliegues maleolares anterior y posterior que se proyectan en dirección al proceso lateral del martillo.

La membrana timpánica está formada por la unión de la porción medial del meato acústico externo con la lateral de la cavidad timpánica. Presenta tres capas de origen diverso: piel, de origen ectodérmico, una capa fibrosa intermedia y una túnica mucosa, de origen endodérmica. La capa fibrosa interpuesta entre las otras dos es de origen mesodérmico y no ocupa toda el área de la membrana, estando ausente en su parte superior.

La parte tensa de la membrana timpánica (lámina propia), presenta fibras radiales y no radiales (circulares, transversas y parabólicas), siendo responsable de la complianza de la membrana y la transmisión de la vibración hacia el oído medio, debido a la disposición de las fibras que contiene. El manubrio del martillo se encuentra

firmemente adherido a las fibras de la capa fibrosa, siendo este hueso constantemente traccionado hacia dentro del oído medio por ligamentos y por el músculo tensor del tímpano, que mantiene la membrana tensa y permite la transmisión de las vibraciones sonoras.

La parte flácida (membrana de Shrapnell) corresponde a aquella porción de la membrana que se encuentra constituida apenas por piel y túnica mucosa; es una pequeña porción fina y débil situada sobre ambos pliegues maleolares, teniendo una gran importancia en el desarrollo de un colesteatoma.

La membrana timpánica puede ser dividida en cuatro segmentos o cuadrantes, por medio de una línea vertical que pasa por el manubrio del martillo y por el ombligo de la membrana timpánica y otra perpendicular a esta, también pasando por el ombligo: cuadrantes postero-superior, postero-inferior, antero-superior y antero-inferior.

La disposición de las fibras del cuadrante antero-inferior no es tan densa por el hecho de que la membrana es cóncava, en esa región aparece una zona brillante de aspecto triangular por reflexión de los rayos luminosos durante el examen otoscópico, esta zona es denominada cono de luz, o triángulo luminoso.

La forma de cono de la membrana timpánica produce menos distorsión y amplía determinadas frecuencias. Todavía hay una estrecha relación entre la disposición de las fibras y los movimientos vibratorios de la membrana, por el hecho de que fibras radiales y circulares se cruzan produciéndose una zona de mayor espesor junto al ombligo, tornando a la membrana apta para vibrar como un cono bajo tensión. Funcionalmente, la membrana timpánica puede ser dividida en tres zonas que difieren en la disposición de sus fibras y su modo de vibración: zona central o cónica, zona intermedia y zona periférica.

De modo general, la vibración es transmitida desde la zona central y periférica hacia la intermedia. Sin embargo, los movimientos vibratorios pueden ser diferenciados en relación a la frecuencia de estimulación. Durante la vibración a las frecuencias más bajas, la zona central realiza un movimiento vibratorio semejante al movimiento de un pistón y su forma de cono es conservada; la zona periférica realiza un movimiento de bisagra y la deflexión angular toma espacio junto con el anillo timpánico; la zona intermedia se mueve con mayor amplitud que las dos anteriores. Con las frecuencias altas, la membrana timpánica comienza a vibrar en segmentos secuenciales y reduce la tensión.

En cuanto a la inervación sensitiva de la membrana timpánica, su origen es el mismo que el de la inervación destinada al meato acústico externo y a la túnica mucosa de la cavidad timpánica, se pueden identificar cuatro orígenes: ramos del nervio auriculotemporal (V3); ramo auricular del nervio vago; ramos del nervio de Jacobson, ramo del nervio glossofaríngeo; ramo auricular del nervio facial

En cuanto a la vascularización de la membrana timpánica, podemos considerar una red externa relacionada con el revestimiento cutáneo y una red interna relacionada con la túnica mucosa. Del suministro arterial de la cara externa de la membrana timpánica se destaca la arteria auricular profunda, ramo de la arteria maxilar; de la cara interna, la arteria estilomastoidea, ramo de la arteria auricular posterior y el ramo timpánico de la arteria maxilar. Las venas de la cara externa se dirigen hacia la vena yugular externa y las de la cara interna hacia el seno transversal, venas de la dura madre y en parte, hacia el plexo venoso de la tuba auditiva.

### **Pared Laberíntica**

Corresponde a la pared medial y separa al oído medio del interno, pudiendo también, ser considerada como la pared lateral del oído interno (Fig. 4.3B). Es la pared que posee más detalles anatómicos y está constituida por las siguientes estructuras: ventana del vestíbulo (oval), comunicada con el oído medio y articulada con la base del estribo; promontorio, que corresponde a la base de la cóclea; ventana de la cóclea (redonda), comunicada con el oído medio, cerrada por la membrana timpánica secundaria; proceso cocleariforme; prominencia del canal semicircular lateral; prominencia del canal del facial; y el seno timpánico. Sobre el promontorio se encuentra el plexo nervioso timpánico, compuesto por fibras de los nervios facial y glossofaríngeo, que penetran al nervio timpánico a través de una abertura en el suelo de la cavidad, al igual que las fibras simpáticas del plexo nervioso carotídeo, de la arteria carótida interna.

### **Pared tegmentaria**

Esta pared corresponde al techo de la cavidad timpánica, formada por el tegmen timpánico, una fina lámina ósea, normalmente muy delgada, y algunas veces, translúcida, que separa la cavidad timpánica de la fosa media del cráneo. Esta pared está constituida en su mayor extensión, por la porción petrosa del hueso temporal (tegmen timpánico) y también por la porción escamosa del mismo hueso, separadas por la fisura petroescamosa. Se continúa posteriormente como techo del antro mastoideo y, anteriormente, cubriendo el semicanal para el músculo tensor del tímpano.

### **Pared yugular**

Corresponde al suelo de la cavidad timpánica y está constituida por una lámina ósea más delgada que la de la pared tegmental. En parte, tiene forma de un canal con dirección antero-posterior, está limitada medialmente por el promontorio y lateralmente por el margen óseo, el cual se encuentra fijo a la membrana timpánica.

Inmediatamente debajo de esta pared se encuentra la fosa yugular o el bulbo superior de la vena yugular interna. Por lo tanto, esta pared separa la cavidad timpánica de la fosa yugular y como puede presentarse una

eventual ausencia de hueso en algunos lugares, la cavidad puede estar separada de la vena yugular apenas por una membrana mucosa y una capa fibrosa.

Próximo a la pared laberíntica está la entrada del ramo timpánico del nervio glossofaríngeo, a través de una pequeña abertura.

## **Pared carotídea**

Es la pared anterior de la caja y se relaciona con el canal carotídeo, por donde pasa la arteria carótida interna, inferiormente al hueso timpánico de la tuba auditiva. Hay una lámina ósea normalmente delgada y translúcida entre la cavidad timpánica y la arteria carótida interna.

Se relaciona antero-superiormente con el semicanal para el músculo tensor del tímpano y antero-inferiormente con el semicanal de la tuba auditiva, siendo denominado por algunos como pared *tubaría* debido a su relación con la tuba auditiva. Estos dos semicanales paralelos, situados superiormente uno del otro, se inclinan en forma anterior, inferior y medial, formándose un ángulo entre las partes escamosa y petrosa del hueso temporal, separado por un delgado septo óseo (septo del canal musculotubario). El semicanal para el músculo tensor del tímpano se dirige postero-medialmente a la pared laberíntica de la cavidad timpánica, terminando sobre la membrana del vestíbulo (oval), donde la extremidad posterior del septo señalado se lateraliza, formando el proceso cocleoriforme.

La tuba auditiva (trompa de Eustaquio) consiste en un tubo achatado con dirección medial, anterior e inferior, surge a partir de la pared carotídea de la cavidad timpánica (hueso timpánico de la tuba auditiva) dirigiéndose a la pared lateral de la nasofaringe (hueso faríngeo de la tuba auditiva).

Mide aproximadamente 36 mm y permite la equiparación de presiones de las caras medial y lateral de la membrana timpánica. Presenta una parte ósea y una cartilaginosa que corresponden, respectivamente, al tercio supero-lateral y a los dos tercios infero-mediales. La parte ósea de la tuba auditiva comprende 12 mm aproximadamente y corresponde al semicanal de la tuba auditiva, teniendo en su extremo un margen irregular, que sirve para la fijación de la parte cartilaginosa. El diámetro de la tuba auditiva es variable, siendo mayor en el hueso faríngeo y menor en la unión de las partes ósea y cartilaginosa, ésta última forma el istmo de la tuba auditiva y funciona como una válvula para la entrada de aire a la cavidad timpánica. La parte cartilaginosa de la tuba auditiva tiene aproximadamente 24 mm de largo y su extremo bajo la túnica mucosa de la pared lateral de la nasofaringe forma una prominencia, el toro tubario, situado posterior y superiormente al hueso faríngeo de la tuba auditiva.

En cuanto al revestimiento, la túnica mucosa auditiva se continúa medialmente con la de la nasofaringe y lateralmente con la de la cavidad timpánica, presentando epitelio cilíndrico ciliado semejante al epitelio de los órganos respiratorios. La túnica mucosa es delgada en la parte ósea, contiene glándulas mucosas en la parte cartilaginosa y tejido linfático próximo al hueso faríngeo, formando la tonsila tubárica.

La principal función de la tuba auditiva es la ventilación, es decir, el airear el oído medio e igualar la presión del aire externo con la presión del aire que se encuentra en el oído medio, protegiéndolo de cambios bruscos de presión y manteniendo la túnica mucosa íntegra. Normalmente, la parte cartilaginosa de la tuba auditiva se encuentra aplastada, debido a las propiedades elásticas del tejido cartilaginoso. Acciones como tragar, bostezar, estornudar y gritar pueden determinar su apertura temporal, pues el aumento de presión de la nasofaringe, produce la apertura temporal referida que permite igualar las presiones que se encontraban diferentes. Con la apertura de la tuba auditiva y el consiguiente paso del aire, ocurre el despegue de la túnica mucosa, produciéndose un ruido conocido como el *click* de apertura de la tuba auditiva, generalmente percibido durante la deglución.

El oído medio y la tuba auditiva poseen células ciliadas y células mucosas secretoras (caliciformes), las que forman un sistema de transporte mucociliar que podría ser considerado como un sistema de defensa del oído medio, una función de drenaje de la tuba auditiva. Agentes infecciosos pueden ingresar a través de la tuba auditiva, tornándose comunes las infecciones de oído medio. Luego de que la infección se ha instalado, la tuba auditiva, inflamada, se cierra. Si el proceso bacteriano permanece, aumenta la producción de pus que no puede salir del oído medio y de no ser tratado, la presión negativa de la cavidad se mantiene produciéndose la retracción de la membrana timpánica y edema de la túnica mucosa, causando dolor y posible rotura de la membrana. Debido a la comunicación entre el oído medio y las células mastoideas, estas pueden almacenar bacterias, produciéndose de este modo un proceso infeccioso crónico y, eventualmente, exponiendo estructuras craneanas a infección (meningitis bacteriana). Durante el período de recuperación de la otitis media, las secreciones son reabsorbidas por la túnica mucosa y en parte, excretadas hacia la nasofaringe a través de la tuba auditiva, donde el moco es transportado mediante movimientos ciliares.

El movimiento de apertura del lumen de la tuba auditiva es el resultado de la contracción de los siguientes músculos; tensor velopalatino, elevador velopalatino y el salpingofaríngeo.

Las arterias responsables de la irrigación de la tuba auditiva son la arteria timpánica superior, ramo de la arteria meníngea media y la arteria palatina ascendente, ramos de la arteria facial. Las venas de la tuba auditiva se dirigen al plexo pterigoideo.

## **Pared mastoídea**

Es la pared posterior y se comunica con el antro mastoideo a través de la entrada al antro mastoideo (*aditus ad antrum mastoideum*), una abertura larga e irregular a partir del receso epitimpánico. Contiene un receso o fosa para el yunque, que corresponde a una pequeña depresión en la parte infero-posterior del receso epitimpánico, donde se encuentra alojado el ramo corto del yunque. Hay una saliente, la eminencia piramidal, situada inferiormente a la entrada referida, inmediatamente posterior a la ventana del vestíbulo y anterior a la porción vertical del canal del nervio facial. Esta eminencia contiene al músculo del estapedio y posee en su ápice, que se proyecta anteriormente, una pequeña abertura, que da paso al tendón del músculo. Lateralmente a la eminencia piramidal hay una abertura que permite el paso al nervio cuerda del tímpano, a través de la cual penetra en la cavidad timpánica (abertura timpánica al canalículo del nervio cuerda del tímpano).

## **Cadena osicular**

### *Huesos de la audición*

La cavidad timpánica contiene una cadena de tres huesecillos: el martillo, fijado a la membrana timpánica, el estribo, fijado a la ventana del vestíbulo y al yunque, posicionado entre los dos anteriores articulándose con ambos (Fig. 4.4). Esos huesos son, en gran parte, originados de los arcos mandibular e hioideo, respectivamente cartílagos de Meckel y Reichert, llegando a la configuración que caracteriza la apariencia en el adulto en el embrión de nueve semanas.

Los tres huesos se encuentran revestidos por la túnica mucosa del oído medio.

El martillo (*malleus*) es el mayor de los tres huesos, mide 8 a 9 mm de largo y presenta tres partes y dos procesos, es decir:

- Cabeza del martillo – corresponde a la extremidad mayor y superior del hueso, está situada en el receso epitimpánico, tiene forma irregular redondeada, lisa y convexa en casi toda su extensión; posee una superficie articular destinada al yunque en su cara póstero-interna, que está revestida de cartílago;
- cuello del martillo – parte estrecha del hueso que sustenta la cabeza;
- manubrio – en conjunto con el proceso lateral, está incluido en la capa fibrosa de la membrana timpánica; tiene dirección inferior, medial y posterior, presentando próximo a la extremidad superior, en su cara medial, una proyección en la cual se inserta el tendón del músculo tendón del tímpano;
- proceso anterior – fijado por medio del ligamento anterior del martillo a la fisura petrotimpánica;
- proceso lateral – fijado a la parte superior de la membrana timpánica y, por medio de los pliegues maleolares anterior y posterior, a las extremidades del surco timpánico.

El yunque (*incus*), mide aproximadamente 7 mm de largo y presenta un cuerpo y dos ramas divergentes:

- Cuerpo del yunque – ocupa la región superior de la cavidad timpánica, estando situado en el receso epitimpánico; se articula con el martillo por medio de su cara articular de característica cóncava, la cual se encaja en la cabeza del martillo de configuración convexa;
- ramo corto – situado en el receso en el epitimpánico, fijado por ligamentos a la fosa para el yunque (parte póstero-inferior del receso);
- ramo largo – situado paralelamente, medial y posteriormente al manubrio. Presenta el proceso lenticular en su extremidad inferior, que se curva medialmente y termina en una proyección redondeada, articulándose con la cabeza del estribo.

El estribo (*estapedio*), hueso más pequeño del cuerpo humano, mide aproximadamente 3,3 mm de largo, contiene las siguientes partes:

- cabeza del estribo – se articula con el proceso lenticular del yunque por medio de una cara cóncava, es decir, una pequeña depresión revestida de cartílago de la inserción al tendón del músculo del estapedio en su superficie posterior;
- ramo anterior del estribo – es más corto y curvado en relación al ramo posterior;
- base del estribo – está fijada al margen de la ventana del vestíbulo (oval) por el ligamento estapedial anular, la cara interna o vestibulares ligeramente convexa y está separada de la perilinfa por el periostio del vestíbulo, en cuanto a la cara externa está volteada hacia la cavidad timpánica.

## **Factores de estática de los huesos de la audición**

Para que el sonido sea conducido del medio externo de la membrana timpánica a los huesecillos es necesario que éstos últimos estén suspendidos con pesos igualmente distribuidos entre las dos extremidades de la cadena osicular,

o que e feito por medio de ligamentos, pliegues y músculos que, al igual que los huesos, son de origen mesodérmico.

Por lo tanto, los factores que definen la posición de los huesecillos, denominados factores de estática de los huesos de la audición son: articulaciones, ligamentos, músculos y tónicas mucosas del oído medio.

### *Articulaciones*

Las articulaciones de los huesecillos de la audición son las siguientes:

- incudomaleolar – articulación de tipo sinovial, subtipo selar;
- incudoestapedial – articulación de tipo sinovial, subtipo esferoide;
- sindesmosis timpanoestapedial – articulación de tipo fibrosa.

### *Ligamentos*

Los ligamentos de los huesos de la audición sujetan los huesecillos a las paredes de la cavidad timpánica, siendo tres en relación al martillo, dos al yunque y uno al estribo como se describen a continuación:

- Ligamento superior del martillo – une la cabeza del martillo a la pared tegmentaria de la cavidad timpánica;
- ligamento lateral del martillo – se extiende del manubrio del martillo al borde de la incisura timpánica, en la pared lateral (receso epitimpánico);
- ligamento anterior del martillo – se extiende desde el cuello encima del proceso anterior, hasta la pared carotídea de la cavidad timpánica y hasta la fisura petrotimpánica;
- ligamento superior del yunque – desde el cuerpo del yunque a la pared tegmentaria de la cavidad timpánica;
- ligamento posterior del yunque – va desde el ramo corto a la pared mastoidea en la fosa del yunque;
- ligamento estapedial anular – anillo fibroso que se extiende de la base del estribo al borde de la ventana del vestíbulo (ventana oval), siendo más corto y denso posteriormente.

### *Músculos*

Los músculos de los huesos de la audición son músculos intrínsecos del oído (intrauriculares o intratimpánicos) y son los músculos más pequeños del cuerpo humano.

El músculo tensor del tímpano se inserta en el semicanal para el músculo para el músculo tensor del tímpano, que es superior y paralelo al de la tuba auditiva; su tendón emerge en el proceso cocleariforme y se dirige lateralmente insertándose en el manubrio del martillo. La acción de este músculo es traccionar medialmente al martillo, tensionando la membrana timpánica.

El músculo del estapedio se inserta en el interior de la eminencia piramidal, su tendón atraviesa una abertura en el ápice de la eminencia y se inserta en la cabeza del estribo. Este músculo tracciona la cabeza del estribo lateralmente, reduciendo la tensión en la endolinfa; su contracción ocurre para sonidos intensos, provocando rigidez de la cadena osicular y funcionando como mecanismo de protección contra trauma acústico.

El músculo tensor del tímpano es derivado del mesénquima del primer arco braquial y está inervado por el nervio trigémino (V par craneano) por medio del nervio para el músculo tensor del tímpano, que es ramo del nervio mandibular. El músculo del estapedio proviene del segundo arco braquial y está inervado de lleno por el nervio facial (VII par craneano), por medio del nervio al músculo del estapedio. Estos músculos están compuestos de pequeñas fibras musculares estriadas esqueléticas y lisas que presentan contracción involuntaria durante la estimulación acústica.

### *Túnica Mucosa*

La túnica mucosa de la cavidad timpánica reviste todas las paredes, músculos, tendones y huesos, constituyendo así pliegues entre los huesos y las paredes:

- pliegue maleolar anterior – reviste el ligamento anterior del martillo, el nervio de la cuerda del tímpano y el proceso anterior del martillo;
- pliegue maleolar posterior – del cabo del martillo (manubrio) a la parte posterior del anillo timpánico. Y el pliegue de la parte superior de la cavidad timpánica;
- pliegue del nervio de la cuerda del tímpano – reviste el nervio de la cuerda del tímpano próximo al cabo del martillo (manubrio);
- pliegue estapedial – formación espesa que cierra el espacio entre los ramos de la base del estribo;
- pliegue del yunque.

## **Dinámica de los huesos de la audición**

La dinámica de la cadena osicular corresponde al modo como los huesecillos se mueven, pudiendo ser diferenciados dos factores en cuanto a ese movimiento: un factor extrínseco – el sonido – y un factor intrínseco – los músculos.

Los músculos de los huesos de la audición presentan contracciones reflejas que dependen de la intensidad y de la frecuencia del estímulo sonoro. Normalmente, son necesarios valores entre 70 y 90 dB encima del umbral mínimo de audición de un individuo, en la franja comprendida entre 250 – 4000 Hz. Por otro lado, de la contracción de los músculos en respuesta a sonidos intensos, también se contraen en respuesta a varios estímulos no acústicos, como el movimiento de los párpados y de la oreja, deglución y adecuación para la vocalización.

Ambos músculos actúan como mecanismo de amortiguación que reduce el grado de movimiento osicular pudiendo ser caracterizados como: antagonistas anatómicos, pues ejercen fuerzas en direcciones opuestas y sinergistas funcionales, una vez que actúan perpendicularmente al eje rotacional primario de la cadena osicular.

La contracción del músculo tensor del tímpano produce un desplazamiento medial del cabo del martillo (manubrio) y, consecuentemente, de la membrana timpánica, en cuanto a la contracción del músculo del estapedio resulta en la dislocación lateral de la base del estribo en relación a la ventana del vestíbulo (ventana oval).

El músculo del estapedio se contrae antes que el músculo tensor del tímpano en su contracción aislada no causa dislocación de la membrana timpánica, cuya amplitud de vibración está reducida solamente debido al desplazamiento producido por la contracción del músculo tensor del tímpano. En tanto, la mayor parte de la atenuación sonora está producida por la contracción del músculo del estapedio, siendo pequeña la contribución del músculo tensor del tímpano.

Como efecto de las contracciones simultáneas, ocurre una restricción del movimiento de la cadena osicular por medio del aumento de la rigidez del sistema, es decir, aumenta la impedancia del oído medio, evitando que ocurra lesión en el oído interno por sonidos de fuerte intensidad, principalmente para frecuencias bajas. En esas frecuencias, el efecto de fuerte contracción de ambos músculos corresponde a una reducción en la transmisión del sonido alrededor de 5 a 10 dB. Sin embargo, debido al tiempo de latencia de la contracción refleja acústica de esos músculos (150 a 250 ms, dependiendo de la intensidad), el oído interno no está protegido contra daños causados por ruidos intensos súbitos. El factor de atenuación de apenas 10 dB también no propicia protección efectiva a la exposición y sonidos intensos de larga duración.

## **Funciones de los músculos de los huesos de la audición**

Las funciones atribuidas a los músculos de los huesos de la audición son:

- Protección/ control de la intensidad – como efecto del mecanismo reflejo, ocurre una reducción en la transmisión sonora, que actúa protegiendo a la cóclea de una estimulación excesiva causada por sonidos intensos;
- Acomodación o selección de las frecuencias – se supone que para determinar frecuencias, la contracción muscular aumenta selectivamente la sensibilidad auditiva;
- Prevención y eliminación de armónicos – la agudeza para tonos de frecuencias altas aumenta en consecuencia del efecto enmascarador de las frecuencias bajas y eliminación de armónicos, obtenidos por la contracción muscular;
- Fijación (estática) – promueve la estabilidad de la suspensión para la cadena osicular.

## **Vibración de la cadena**

En la vibración de la cadena osicular la articulación entre el yunque y el martillo funciona rígidamente, ocurriendo tal rigidez con frecuencia bajo determinadas intensidades, como sonidos del habla. Cuando la intensidad excede cierto nivel, ocurre movimiento en la articulación, es decir, protección del oído por la acción del músculo tensor del tímpano, que tensiona la membrana timpánica.

Con relación a la vibración del estribo, este hueso posee dos tipos de vibración, también de acuerdo con la intensidad del sonido:

- sonidos de intensidad moderada (menor que 70 a 90 dB, nivel de sensación) – el ramo anterior oscila con amplitud mayor que el posterior, desarrollando un movimiento similar al pistón del motor en eje transversal, debido a que el ligamento estapedial anular está más fijo posteriormente;
- sonidos de intensidades elevadas (por encima de 70 a 90 dB) – deslizamiento en eje longitudinal.

## **Impedancia acústica del oído medio**

El oído medio presenta un importante papel en la transmisión del flujo de energía sonora que viene del oído externo en dirección a los líquidos presentes en el oído interno, sin que haya pérdida o alteración de sus

características físicas. La extremidad externa de la cadena osicular está en contacto con el aire por medio de la membrana timpánica, en cuanto a la extremidad interna, ésta está en contacto con los líquidos presentes en el oído interno a través de la ventana del vestíbulo (ventana oval). Así mismo la cadena osicular une medios de densidades diferentes. La resistencia efectiva a la transmisión del sonido entre esos dos medios es la impedancia acústica del oído medio, determinada por tres factores: masa rigidez y fricción. Cualquier alteración del conjunto membrana timpánica/cadena osicular o en la propia cavidad timpánica tendrá como resultado un aumento de la impedancia acústica y consecuente pérdida de la audición. Los factores que interfieren en el movimiento de la cadena osicular, tales como infecciones del oído medio y procesos de otosponjosidad, provocan pérdida auditiva por restricción del movimiento osicular.

Cuando una onda mecánica incide en la región de separación entre medios de propagación diferentes, parte de la onda es reflejada, retornando al medio de origen, y parte es refractada propagándose al otro medio. Por lo tanto, si el oído medio no existiese habría una pérdida de 99.9% de esa energía debido a la diferencia de las densidades de los medios existentes entre aire y líquido, o sea, apenas 0.1% de sonido sería transmitido (refractada), siendo los 99.9% restantes reflejados.

La función de la cadena osicular no es sólo transmitir la vibración hacia la cóclea, sino más bien hacer acoplamiento de impedancias para que la reflexión del sonido sea mínima y la transmisión máxima. Si la función fuese sólo transmisión, sería necesaria simplemente una estructura intermediaria, como la columela auris observada en vertebrados inferiores. Entre tanto, evolutivamente, los tres huesos fueron observados por primera vez en mamíferos, cuyo oído medio presentaba el más alto grado de desarrollo con aumento de la complejidad en la estructura y la función.

### **Acción transformadora del oído medio.**

Una acción transformadora está establecida, entonces, por el oído medio (Fig. 4.5), realizando el ajuste de diferentes impedancias por los siguientes sistemas de mecanismos de amplificación:

- efecto de área – el tamaño de la membrana timpánica en comparación a la ventana del vestíbulo (ventana oval) produce una amplificación para armonizar las impedancias entre la onda sonora en el aire y la consecuente onda vibratoria en el líquido de la cóclea. La fuerza total de las ondas sonoras sobre la membrana timpánica es transmitida por los huesecillos a la ventana oval, cuya área es menor, o sea, el tamaño de la ventana oval en relación a la membrana timpánica es ampliamente reducido y la presión es aumentada en la misma proporción. El área útil de la membrana timpánica corresponde a 55 mm<sup>2</sup> del área total de 85 mm<sup>2</sup>, pues esa porción entra en vibración considerada máxima para los sonidos entre 800 y 1600 Hz. Así mismo, considerando como el área útil de la membrana timpánica (55 mm<sup>2</sup>) y el área de la base del estribo (3.1 mm<sup>2</sup>), la razón del área entre ambas es de 17:1.
- Efecto de palanca – los huesecillos forman un sistema de palanca interfijo que actúa como amplificador de las ondas sonoras en el cual el martillo impulsa al yunque y éste al estribo. En conjunto los huesos de la audición multiplican la fuerza recibida en la membrana timpánica. En tanto, es necesario que la articulación entre el martillo y el yunque sea rígida. El cabo del martillo (manubrio) constituye un brazo largo de la palanca y el ramo largo del yunque, que se articula con el estribo, constituye el brazo corto, haciendo que esta extremidad de palanca se mueva en menor distancia, pero ejerce mayor fuerza que la otra extremidad. El largo del cabo del martillo, sumado a su cabeza, es mayor que el ramo largo del yunque. La razón de palanca es de 1.3:1.0. La fuerza ejercida sobre la membrana timpánica aumenta 1.3 veces en la base del estribo, siendo reducida la amplitud correspondiente.
- Fuerza catenaria – la palabra catenaria significa cadena, secuencia, uno al lado del otro, indicando que las fuerzas de desplazamiento de la membrana timpánica convergen hacia su centro. Tiene pequeña expresión cuantitativa.

El dispositivo membrana timpánica/cadena osicular multiplica la presión acústica para compensar la pérdida de audición, teóricamente evaluada por el cálculo de la impedancia acústica en casi 30 dB. La fuerza que actúa sobre la ventana del vestíbulo es aquella originalmente aplicada sobre la membrana timpánica y transformada en una razón de 22:1 (17 x 1.3), siendo la ventaja mecánica total producida por el oído medio humano alrededor de 28.5 dB.

Además de eso, ocurre un fenómeno conocido como inversión de fase, que la energía sonora es expuesta apenas a una de las ventanas de la pared laberíntica de la cavidad timpánica. Si ambas ventanas fuesen expuestas igualmente al sonido, la transferencia de energía sería pequeña, pues sería contrariada por la inercia y la incompresibilidad de los líquidos contenidos en la cóclea, que es indeformable. La fase de los sonidos que llegan a la ventana de la cóclea es diferente aquélla de los sonidos que llegan a la ventana del vestíbulo, por este hecho, dichas ventanas no están situadas en el mismo plano (aproximadamente a 90 grados entre sí). El líquido ofrece menor resistencia por estar la ventana de la cóclea libre para desplazarse en sentido inverso a la base del estribo.

# PARTE II: OÍDO INTERNO Y SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

## Capítulo 5

### Anatomofisiología Coclear

#### **Aspectos Anatómicos de La Estructura Coclear**

La cóclea se sitúa en la parte anterior del oído interno y está directamente relacionada con la audición, ya sea recibiendo la transmisión sonora, por medio de vibraciones de la membrana timpánica y de la cadena de huesecillos (vía aérea), o por la vibración directa de los huesos del cráneo (vía ósea). La cóclea forma parte del laberinto óseo. La palabra se origina del griego kokhlias, que significa caracol, debido a que se encuentra enrollada como una concha en forma de caracol. Está rellena de perilinfa, líquido semejante al líquido cerebroespinal. La perilinfa penetra en el laberinto óseo por el acueducto de la cóclea, siendo rico en sodio (Na<sup>+</sup>) en concentraciones casi idénticas al líquido extracelular. Contenido en el laberinto óseo se encuentra el laberinto membranoso, representado por el conducto coclear y relleno de endolinfa. Este líquido es semejante al líquido intracelular y presenta altas concentraciones de potasio (K<sup>+</sup>) y bajas de sodio (Na<sup>+</sup>). En la estructura del laberinto membranoso se destaca el órgano espiral (de Corti), órgano receptor responsable de la transducción del estímulo sonoro (energía mecánica) en potenciales de acción (impulsos nerviosos).

#### Cóclea

La cóclea humana, situada anteriormente al vestíbulo, es una estructura helicoidal con aproximadamente dos giros más 2/3 de un giro, midiendo cerca de 3,5 mm de altura y 7,5 mm de diámetro en su base. La región periférica de la cóclea está constituida por una lámina de tejido rígido, cápsula ósea, mientras que en la región central se encuentra el modiollo, eje óseo de forma cónica, que presenta, en determinadas regiones, canales para el pasaje de ramos nerviosos y vasculares que se dirigen desde el meato acústico interno hasta la cóclea.

La base del modiollo corresponde al fondo del meato acústico interno, donde el área coclear presenta orificios (tracto espiral perforado) por los cuales penetran las fibras del nervio coclear, que recorren los conductos (canales longitudinales del modiollo). Estos se abren en el canal espiral del modiollo (de Rosenthal) que contiene el ganglio espiral de la cóclea. Del canal espiral emergen conductos que contienen fibras nerviosas, que recorren una expansión perpendicular al modiollo, la lámina espiral ósea, terminando en orificios en el margen libre de esta lámina.

El canal espiral de la cóclea es un canal óseo espiralado, situado alrededor del modiollo, en torno de la lámina espiral ósea. Presenta aproximadamente 35 mm de longitud, con una reducción gradual del diámetro desde la base hasta la cúpula de la cóclea, teniendo que su primer giro sale hacia la cavidad timpánica formando el promontorio. Está dividido incompletamente por la lámina espiral ósea en dos porciones, ambas de origen mesodérmico. Superior a la lámina espiral ósea se delimita la rampa del vestíbulo e inferiormente, la rampa del tímpano, ambas rellenas de perilinfa y en comunicación con el helicotrema, abertura situada en la cúpula de la cóclea (ápice), donde la lámina espiral termina, formando el hámulo (gancho terminal).

En la base del canal espiral de la cóclea existen las aberturas de la ventana de la cóclea y del acueducto de la cóclea. Este establece la comunicación de la rampa del tímpano con el espacio subaracnoideo.

#### Conducto Coclear

De la lámina espiral ósea parten dos membranas, la lámina basal y la pared o membrana vestibular (de Reissner), que se fijan en el ligamento espiral situado en la pared externa del canal espiral de la cóclea, dividido en tres rampas. El espacio triangular delimitado entre las mencionadas membranas es el conducto coclear (rampa media), tubo cerrado, dispuesto espiraladamente a lo largo del canal óseo espiral de la cóclea y relleno de endolinfa. La lámina basal es la continuación de la lámina espiral ósea, estando formada por fibras cuya longitud aumenta mientras el diámetro disminuye desde la base hasta la cúpula de la cóclea, lo que determina una disminución gradual de su rigidez. Asimismo, las fibras cortas y rígidas (base) tienden a vibrar a frecuencias altas, mientras que las fibras largas y flexibles (cúpula) tienden a vibrar a frecuencias bajas. La pared o membrana vestibular forma un ángulo de 30° con la lámina basal y está constituida por dos estratos de diferentes tipos de células – una volteada hacia la endolinfa; con un orden hexagonal y conteniendo microvellosidades – y otra volteada hacia la perilinfa, con células irregulares situadas unas sobre otras. Según algunos autores, esta membrana funciona como un filtro, permitiendo el pasaje de ciertos iones.

El conducto coclear es de origen ectodérmico. Su piso está formado por la lámina basal y por la lámina espiral ósea; el techo está formado por la pared o membrana vestibular; la pared lateral está formada por el ligamento espiral.

Situada sobre el ligamento espiral, la estría vascular es una estructura vascularizada y da actividad metabólica; está relacionada con la producción de endolinfa; produce energía; mantiene la composición de los líquidos cocleares y está formada por tres tipos de células (marginales externas, intermediarias y basales). La energía necesaria para la producción de endolinfa proviene de la estría vascular, cuyas células marginales tienen alta concentración de sodio, potasio y ATPasa, una enzima que ayuda en la acumulación de potasio en el conducto coclear y en el potencial endococlear del canal espiral. La estría vascular posee vasos sanguíneos situados en la pared externa de la cóclea, distante del órgano espiral. Esta disposición posibilita una menor demanda de energía por parte de las células ciliadas, que, asimismo, no necesitan de flujo sanguíneo directo, lo que podría causar ruido en el órgano espiral y consecuentemente interferencia en la recepción sonora.

En la región medial del conducto coclear, la porción superior de la lámina espiral ósea presenta un espesamiento formado por tejido conjuntivo semejante al ligamento espiral, denominado limbo espiral. Esta estructura contiene vasos sanguíneos y hace contacto con la rampa del vestíbulo y el conducto coclear, atribuyéndole las funciones de anclar y mantener la membrana tectoria.

### Órgano Espiral

La función sensorial está representada por el órgano espiral u órgano de Corti, situado sobre la lámina basal y destinado a la transformación de las ondas sonoras en impulsos nerviosos. Este órgano está formado por la membrana tectoria, por las células de sostén y las células ciliadas. La membrana tectoria es una cúpula gelatinosa que se sitúa sobre las células ciliadas y se fija a la lámina espiral ósea, entrando en contacto con los cilios de las células ciliadas externas durante las vibraciones de la lámina basal. En cuanto a las células de sostén, se destacan: Células de Claudius; Células de Boettcher; Células de Hensen (delimitan el surco espiral); Células Falángicas Externas o de Deiters y Células Falángicas Internas; Células Pilares (forman el túnel de Corti) y Células Marginales. Una placa principal de células pilares internas y falanges de las células falángicas externas forman la membrana reticular que circunscribe la región apical de las células ciliadas.

Las células receptoras ciliadas, o simplemente células ciliadas, son las células sensoriales, las cuales pueden ser diferenciadas en células ciliadas internas y células ciliadas externas, de acuerdo con su posición a lo largo del conducto coclear.

Existen alrededor de 3.500 células ciliadas internas dispuestas en la disposición de una única hilera, con aproximadamente 50 a 70 estereocilios por célula, con disposición lineal. Los cilios no alcanzan la membrana tectoria y están unidos entre sí por ligamentos de elastina asociados a los canales iónicos de la célula. Estas células son piriformes, sostenidas por las células de sostén y no presentan espacios libres a su alrededor, estando bañadas por la endolinfa apenas en la extremidad ciliar. Estas células ciliadas internas reposan sobre las células falángicas internas, las que emiten falanges hacia su superficie apical. Poseen un potencial de reposo (en ausencia de sonidos) de -40 mV y son responsables de la transducción sensorial, es decir, producen un mensaje eléctrico codificado que es enviado por medio de las vías nerviosas al lóbulo temporal; presentan selectividad de frecuencia fina y están relacionadas a los sonidos más intensos. Especialmente en la porción apical de los estereocilios, estas células presentan canales catiónicos que se abren cuando la lámina basal vibra y provoca la inclinación de los cilios por el contacto con la membrana tectoria. Ocurre, entonces, la entrada de potasio con consecuente despolarización de la célula y formación de potenciales eléctricos receptores (generados en la célula receptora).

Las células ciliadas externas, en número aproximado de 12.000 a 15.000 células en el hombre, están dispuestas en un orden de tres hileras a lo largo del conducto coclear. Cada célula tiene de 100 a 300 estereocilios que mantienen una disposición en forma de "V" o "W", proyectándose desde la superficie apical de la célula. En estas células se observa solamente el cuerpo basal del kinocilio, que es un cilio diferenciado observado en las células sensoriales vestibulares, que no se desarrollan integralmente en la porción auditiva. En esta región, se observa una elevada concentración de mitocondrias y aparato de Golgi, sugiriendo un área metabólicamente activa que podría tener una participación importante en el proceso de transducción de energía mecánica en eléctrica. Los estereocilios están conectados unos a otros por finos filamentos, que se supone están relacionados con canales iónicos en la membrana de la célula ciliada externa. Estas células tienen forma cilíndrica, son menores en la base de la cóclea y mayores en la cúpula y están firmemente fijadas a la lámina basal, siendo bañadas por la endolinfa en la extremidad ciliar y por la perilinfa en las extremidades laterales. En su extremidad basal se encuentra parcialmente envuelta y fijada a las células falángicas externas, que emiten prolongaciones hacia la superficie del órgano espiral, haciendo contacto con la superficie apical de las señaladas células ciliadas. Este involucramiento parcial determina la presencia de espacios entre las células (espacios de Nuel), que permiten, consecuentemente, movimientos de las células ciliadas externas, los cuales repercuten sobre la lámina basal y la estructura del conducto coclear. Sus cilios presentan alturas diferentes: los cilios de las hileras más internas son más cortos y los más externos son más largos y están insertos en la membrana tectoria. Los estereocilios se mantienen unidos entre sí en cada hilera por medio de ligamentos de elastina, que salen de la extremidad apical del cilio más corto y se unen al cilio más largo del estrato siguiente, formando una unidad. Recientemente ha sido demostrado que estas células poseen proteínas contráctiles como actina, miosina, tropomiosina y agentes moduladores como la calmodulina. Además de esto, existe un sistema de cisternas laminadas que consiste en un conjunto de sacos o

vesículas membranosas, adyacentes a la membrana plasmática lateral, a lo largo de toda la longitud de la célula, en la misma área correspondiente a los espacios de Nuel. Este sistema de cisternas puede ayudar a mantener la forma de la célula, su integridad estructural y, además, funcionar como fuerza elástica. Las células ciliadas externas no son receptoras, es decir, no codifican a mensaje sonoro, estando relacionadas a sonidos menos intensos. Presentan alteraciones de longitud que pueden ser rápidas o lentas, producidas por mecanismos moleculares, constituyéndose en efectores cocleares activos debido a la electromotilidad. Es así como se encogen cuando se despolarizan y se extienden cuando se hiperpolarizan. Pueden presentar, además, motilidad lenta, con cambios lentos de longitud producidos posiblemente por activación de terminales eferentes en sus bases. Por lo tanto, funcionan como un sistema amplificador coclear, aumentando en hasta 50 dB la intensidad de un estímulo, como la capacidad de selectividad de frecuencias, pues la contracción rápida no requiere de ATP y calcio y sigue ciclo por ciclo la frecuencia de estimulación. Estas contracciones rápidas son las responsables de las emisiones otoacústicas, decorrentes de la liberación de energía de las células ciliadas externas. Las contracciones lentas son moduladas por el sistema eferente medial, controlan la tonicidad de las células ciliadas externas y las propiedades mecánicas de la lámina basal, teniendo, inclusive, otras implicaciones audiológicas.

Las lesiones de las células ciliadas o destrucción de sus estereocilios pueden ser ocasionadas por sonidos intensos o agentes químicos, tales como antibióticos y aminoglucósidos. Los daños causados por los sonidos intensos pueden ser minimizados por el decrecimiento de la exposición al ruido o de la duración del sonido; sin embargo, cualquier pérdida de células ciliadas es permanente.

### Vascularización de la Cóclea

Las estructuras del órgano espiral no poseen vasos sanguíneos, teniendo que el aporte de oxígeno y nutrientes es absorbido de modo indirecto, lo que propicia una reducción de su masa, mejorando la sensibilidad a la estimulación acústica y reduciendo la posibilidad de detección de sonidos cardiovasculares. La estría vascular, los vasos espirales subyacentes a la lámina basal y el limbo espiral son los responsables del aporte sanguíneo para las estructuras del órgano espiral.

En cuanto a la irrigación de las demás estructuras cocleares, de destaca la arteriola espiral del modiolo que lo recorre también a nivel de la lámina espiral ósea, donde las arteriolas se dividen en dos sistemas. El primer sistema hace un camino sobre la lámina basal y el segundo se dirige al ligamento espiral, formando tres redes capilares: para la región del ligamento espiral, de la estría vascular y de la prominencia espiral. Parte de estas arteriolas forman vasos que se conectan con las venas de la rampa del tímpano. Este sistema arterial drena para las venas espirales apical y basal del modiolo, las que forman la vena común de este último, la cual desemboca en la vena del acueducto de la cóclea.

### ***Principios de la Mecánica Coclear***

#### Propiedades Mecánicas de la Lámina Basal

La función coclear debe principalmente a la parte estructural de la cóclea compuesta por la lámina basal y por el órgano espiral (células ciliadas, células de sostén y membrana tectoria), que se extienden a lo largo del conducto coclear., sin embargo sus características se modifican desde la base hasta la cúpula de la cóclea. Esta estructura es más larga, más rígida y posee más masa (aumento en el número y tamaño de las células de sostén) en la base que en la cúpula de la cóclea.

Según Georg Von Bekesy, quien describió la teoría de las ondas viajeras, la cóclea presenta una organización tonotópica, demostrada por medio de las características del movimiento de la lámina basal en relación a las diferentes frecuencias del estímulo sonoro. Como la membrana vestibular es delgada y se mueve con facilidad, ella no impide la transmisión de las vibraciones sonoras de la rampa del vestíbulo hacia el conducto coclear. Por lo tanto, en términos de la transmisión sonora, la rampa del vestíbulo y el conducto coclear son considerados una cámara única. Cuando el estribo oscila, transmite la vibración de su platina en la ventana del vestíbulo a la perilinfa de la rampa del vestíbulo, gracias a la acción compensadora en la ventana de la cóclea, pues, al ser los líquidos del oído interno prácticamente incompresibles y la cóclea limitada por paredes óseas, ocurre un movimiento correspondiente al de la ventana del vestíbulo, en la ventana de la cóclea.

Por lo tanto, es indispensable la diferencia de base y de presión acústica en el proceso de la hidrodinámica, en el cual las ondas sonoras llegan a las ventanas en fases diferentes, es decir, la fase de compresión en la ventana del vestíbulo corresponde a la descompresión o rarefacción en la ventana de la cóclea.

---

## **Procesamiento Central de la Audición**

---

El procesamiento de la información auditiva abarca las estructuras situadas en la cóclea y las pertenecientes al Sistema Nervioso Periférico (Nervio Vestibulococlear) y Sistema Nervioso Central (Tronco Encefálico, Diencefalo y Telencefalo).

El Nervio Vestibulococlear (VIII par craneano) está alojado en el meato acústico interno y se diferencia en dos porciones, una anterior o Nervio Coclear, relacionada con la audición, y una posterior, el Nervio Vestibular, relacionada con el equilibrio. El nervio coclear presenta fibras que recorren los orificios del canal espiral del modiol y que con el nervio vestibular penetran en el tronco encefálico (ángulo pontocerebelar).

El nervio coclear tiene su origen en las neuronas bipolares situadas en el ganglio espiral de la cóclea (ganglio coclear). Las prolongaciones periféricas son axones con función de dendrita, siguen en dirección al órgano espiral y se dirigen al margen externo de la lámina espiral ósea, donde pierden sus vainas de mielina en la Habénula Perforada, pasando por los forámenes del labio timpánico. Las fibras pueden terminar en arborizaciones alrededor de las extremidades profundas de las células ciliadas internas o pasar entre los pilares, cruzando el Túnel de Corti y terminando en las células ciliadas externas. Las prolongaciones centrales son axones de aquellas neuronas bipolares que constituyen el propio nervio o ramo coclear del nervio vestibulococlear, estando sus fibras secuencialmente dispuestas en correspondencia con los lugares de origen de la cóclea, formando fascículos de fibras nerviosas de la base de la cóclea posicionadas externamente a aquellas procedentes de la cúpula.

### ***Vías Auditivas***

#### Terminaciones Aferentes y Eferentes en La Cóclea

La cóclea se sustituye por tres grupos de fibras nerviosas: las fibras aferentes del nervio coclear, las fibras eferentes del tracto olivococlear y las fibras simpáticas. Solamente las simpáticas no están en contacto directo con las células ciliadas.

Las células ciliadas del giro basal y de giro medio de la cóclea tienen una sustitución nerviosa más rica que las del giro de la cúpula, y la mayoría de las fibras del nervio coclear están asociadas a las células ciliadas internas. De aproximadamente 30.000 neuronas auditivas aferentes, el 90 a 95% de las fibras aferentes realizan una sinapsis con células ciliadas internas, mientras que el 5 a 10% realiza varias sinapsis con numerosas células ciliadas externas.

Las células ciliadas internas reciben, individualmente, terminaciones de diversas fibras aferentes dispuestas radialmente, las cuales, a su vez, reciben terminaciones sinápticas de ramos colaterales de fibras eferentes inhibitoras también dispuestas radialmente. Las neuronas aferentes presentes en el ganglio coclear son neuronas ganglionares del tipo I con fibras radiales sin ramificaciones, de gran calibre y mielínicas, cuya información llega al cerebro rápidamente. Existen aproximadamente 10 neuronas por cada célula ciliada interna, siendo el glutamato el neurotransmisor sináptico excitatorio de ese sistema, el que funcionaría como neurotransmisor de mensajes sonoros codificados desde la cóclea para los núcleos cocleares; y de éstos a la corteza auditiva.

La transmisión de la información al cerebro ocurre por medio de la producción de potenciales de acción en las fibras aferentes de las neuronas tipo I, los que presentan una curva de frecuencia característica, es decir, el estímulo sonoro es analizado en relación a su frecuencia, en cada fibra aferente primaria que proviene de una región de la cóclea y de determinadas células ciliadas. La frecuencia característica es aquella que desencadena respuestas con niveles mínimos de intensidad. En esos niveles, la fibra nerviosa responde apenas para una fracción estrecha de frecuencias próximas a la frecuencia característica, proceso que abarca el movimiento de la lámina basal promovido por las células ciliadas externas. El aumento de la intensidad del estímulo sonoro torna esa fracción de frecuencias más amplia, aumenta la excitación de las fibras nerviosas correspondientes y excita fibras adicionales, principalmente para frecuencias más graves que aquella característica, reflejando las cualidades mecánicas de la lámina basal, sin la participación de las células ciliadas externas.

En cuanto a las fibras eferentes que se relacionan con las células ciliadas internas, está el sistema denominado Sistema Eferente Lateral y corresponde al tracto olivococlear. Se supone funciona como inhibidor durante la exposición a sonidos intensos. Es un sistema ipsilateral que posee fibras nerviosas amielínicas y cuyos neurotransmisores más importantes son la acetilcolina, el ácido gama-aminobutírico (GABA), la dopamina, neuropéptidos y el péptido relacionado con el gen de la calcitonina (CGRP).

Las células ciliadas externas reciben la minoría de las fibras aferentes del nervio coclear, en un sistema espiral geoméricamente organizado en el cual cada fibra nerviosa hace sinapsis con varias células ciliadas, considerándose la existencia de una fibra nerviosa para 10 o más células ciliadas externas. Las neuronas presentes en el ganglio coclear son del tipo II, con fibras espirales finas, amielínicas y ramificadas que solamente envían a los centros nerviosos mensajes lentos y pocos selectivos. El neurotransmisor de esa sinapsis aún no está definido. Son

sinapsis que no responden a estímulos sonoros, suponiéndose que serían parte de una vía que no conduciría mensajes al sistema nervioso central. Funcionalmente, esta vía actuaría captando información del estado de contracción de las células ciliadas externas y también como sistema de alerta ante sonidos intensos.

Las células ciliadas externas reciben, además, una fracción de fibras eferentes que parten del núcleo olivar superior (sistema eferente medial) que corresponde al tracto olivococlear, cuyas terminaciones nerviosas en las sinapsis son amplias y con muchas vesículas que secretan acetilcolina. Este sistema presenta una disposición radial, en la que cada fibra establece sinapsis inhibitorias con muchas células ciliadas, funcionando como un regulador de la contracción lenta y atenuando las contracciones rápidas de las células ciliadas externas por medio de la regulación del tamaño, tensión y rigidez. Cuando es estimulado, este sistema eferente eleva el umbral de las respuestas del nervio coclear, reduce las respuestas de las células ciliadas internas, refuerza el enmascaramiento ipsilateral y disminuye, contralateralmente, el traumatismo acústico.

### Vía Auditiva Aferente

La vía auditiva aferente (centrípeta o ascendente) envía información de los receptores auditivos desde el órgano espiral a la corteza cerebral, posee representación bilateral con predominio contralateral en la corteza y presenta una organización tonotópica que se mantiene desde la cóclea hasta la corteza cerebral.

Se puede destacar estaciones en la propagación central de la información auditiva que lleva la percepción consciente, tales como: núcleos cocleares, núcleo olivar superior, colículo inferior y cuerpo geniculado medial. Estas estaciones corresponden a agrupaciones celulares que median la integración con otros tipos de información, estando sujetos a influencias superiores, descendentes, todo esto influyendo también en la transmisión central.

#### *Núcleos Cocleares*

De las neuronas del ganglio espiral de la cóclea (ganglio coclear) parten fibras aferentes desde el nervio coclear a los núcleos cocleares, haciendo sinapsis en sus núcleos anterior (parte anterior y posterior) y posterior localizados en el bulbo. Luego de llegar al tronco encefálico, las fibras aferentes se dividen en un ramo ascendente, que termina en la parte anterior del núcleo coclear anterior, y un ramo descendente, que termina en la parte posterior del núcleo coclear anterior y en el núcleo coclear posterior.

Existe una disposición ordenada de fibras aferentes, es decir, fibras del giro de la base de la cóclea terminan en la porción medial del núcleo posterior y las fibras provenientes de los giros de la cúpula de la cóclea terminan en la porción lateral del núcleo anterior. Por lo tanto, en ese nivel de la vía se puede observar un patrón cocleotópico para la representación espacial de las frecuencias sonoras.

Las fibras que parten del núcleo coclear posterior se cruzan parcialmente, formando la estría coclear posterior, y terminan en el núcleo posterior del lemnisco lateral. Debido a las propiedades fisiológicas complejas observadas en las neuronas del núcleo coclear posterior, se considera que sus proyecciones son importantes en la percepción auditiva, en sus aspectos de localización de la fuente sonora y en el reconocimiento de patrones temporales del sonido.

La irrigación de los núcleos cocleares está realizada por la arteria cerebelar posteroinferior.

#### *Núcleo Olivar Superior*

Las fibras nerviosas del núcleo coclear anterior se dirigen al núcleo olivar superior ipsilateral y contralateral formando el cuerpo trapezoide, en el cual pueden o no ocurrir sinapsis intermedias en el núcleo del cuerpo trapezoide, ubicado en el puente. El núcleo olivar superior está involucrado en el mecanismo de localización sonora de frecuencias bajas y altas. Las frecuencias bajas producen una diferencia interauditiva del tiempo, activan los dos oídos en tiempos diferentes, y las frecuencias altas generan una diferencia interauditiva de intensidad, debido a la atenuación causada por la cabeza cuando el sonido llega a los dos oídos. Este mecanismo abarca a las neuronas del núcleo olivar superior medial, las que son sensibles a las diferencias interauditivas del tiempo (responden selectivamente a las frecuencias bajas), y también abarca a las neuronas del núcleo olivar superior lateral, las que son sensibles a diferencias interauditivas de intensidad (presentan especificidad para frecuencias altas).

Existe una disposición tonotópica de los núcleos del cuerpo trapezoide. Las conexiones de estos núcleos con el núcleo del nervio abducente están relacionadas con movimientos reflejos oculares como resultado de estímulos sonoros.

Los axones de las neuronas olivares cuando ascienden, constituyen el lemnisco lateral, en cuyos núcleos (núcleos del lemnisco lateral) pueden o no establecer sinapsis, como también cruzar, haciendo sinapsis con núcleos del lemnisco lateral del lado opuesto.

### *Colículo Inferior*

El lemnisco lateral está formado por fibras que ascienden desde el puente al mesencéfalo en dirección al colículo inferior. El colículo inferior recibe fibras de los núcleos cocleares posterior y anterior, del núcleo olivar superior y de los núcleos del lemnisco lateral, recibiendo conexiones bilaterales. Se cuentan tres núcleos principales: el núcleo central, con organización tonotópica precisa; y los núcleos periférico y pericentral, ambos con menor precisión o ausencia de organización tonotópica.

El colículo inferior participa en la percepción de la cualidad sonora, incluyendo intensidad y frecuencia, y está relacionado con los reflejos acústicos, enviando fibras optoacústicas a los colículos superiores y fibras tectocerebelares para el cerebelo. Esta región está relacionada con funciones motoras auditivamente guiadas, debido a sus conexiones con circuitos neuronales, que incluyen el cerebelo. Los colículos inferiores se encuentran interconectados por la comisura del colículo inferior.

### *Cuerpo Geniculado Medial*

Por medio del brazo del colículo inferior, las fibras de los núcleos del colículo inferior se dirigen al cuerpo geniculado medial, localizado en el metatálamo, donde realizan sinapsis en los tres núcleos que componen el cuerpo geniculado medial (ventral, dorsal y medial magnocelular). Se encuentra conectado con varios sistemas, recibe fibras somatosensoriales y fibras cerebelares, funcionando no sólo como una estación sináptica de la vía auditiva.

Las fibras geniculotemporales que parten del cuerpo geniculado medial forman las radiaciones acústicas, recorren la cápsula interna y ascienden al lóbulo temporal hasta la corteza auditiva ipsilateral.

### *Corteza Auditiva*

La corteza auditiva primaria, en el ser humano, está situada en el lóbulo temporal, oculta en el surco lateral, y su campo auditivo ocupa los giros temporales transversos (de Heschl) y una región variable del plano temporal, situada posteriormente. Comprende las áreas 41 y 42 de Brodmann. El área 41 se localiza predominantemente en el giro temporal anterior, extendiéndose hasta la parte adyacente al giro transversos posterior. En continuidad se sitúa el área 42, y adyacente a ésta, el área de asociación 22, localizada en el giro temporal superior. Estas áreas reciben fibras nerviosas del cuerpo geniculado medial y su estimulación eléctrica produce sensaciones acústicas.

Estas tres regiones auditivas pueden, además, ser diferenciadas de esta manera: primera región auditiva, que corresponde al área 41 (giros temporales transversos) y es la región Terminal de las radiaciones acústicas; segunda región auditiva, que corresponde a las áreas 42 y 22, incluyendo el centro del habla de Wernicke y la región del giro ectosilviano. Las áreas primaria y secundaria de la audición están relacionadas con la interacción de las entradas de la vía visual y somestésica, relacionadas con el habla.

La corteza auditiva primaria presenta mapas tonotópicos de espectro de frecuencia, con las frecuencias altas representadas medialmente a las frecuencias bajas. Existe, por lo tanto, una organización tonotópica en la corteza auditiva, en la cual la cóclea está representada desde la base hasta la cúpula, como si estuviese desenrollada. Esta tonotopía presenta plasticidad, es decir, ocurre una pérdida auditiva periférica, donde regiones de la corteza cerebral que originariamente respondían a determinadas frecuencias pasan a responder también a otras frecuencias.

Debido a las características de asimetría, hay hasta ahora una diferenciación funcional entre la corteza auditiva en los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo, que correspondería, respectivamente a las funciones relacionadas con la música y el habla. En la corteza cerebral hay una organización funcional columnar con fracciones de isofrecuencia, siendo también descrita una organización columnar de interacción biauditiva, en la cual se encuentran dos grupos columnares alternados de células biauditivas, una columna de suma y una columna de supresión, constituyendo fracciones alternadas transversalmente a las columnas de isofrecuencia. En cuanto a la suma, las células biauditivas relacionadas con el proceso de información ipsilateral de ambos lados predominan al entrar; mientras que en la supresión, una célula tiene una entrada dominante en perjuicio de aquella que proviene del otro oído, es decir, existirían mapas de localización sonora en la corteza cerebral. Existen, además, comisuras que transmiten información de un hemisferio cerebral a otro y regiones biauditivas que reciben y envían información a ambos lados, teniendo que las zonas que se conectan por medio del cuerpo calloso se alternan con zonas que no se conectan. En este proceso de localización sonora, la corteza cerebral utiliza diferencias de intensidad y tiempo de llegada del sonido, y cada hemisferio posee principalmente zonas de localización de sonidos del lado opuesto.

La vía ascendente posee comisuras en casi todos sus niveles: decusación en el cuerpo trapezoide y estrías cocleares posterior e intermedia, formación reticular bulbar y pontina, comisura del lemnisco lateral, comisura del colículo inferior y cuerpo calloso. Asimismo, lesiones unilaterales en niveles subcorticales permiten la activación de ambos hemisferios cerebrales por estimulación auditiva, pues en la vía auditiva ascendente cada lado de la corteza cerebral recibe información de ambos oídos.

Mientras más elevado es el nivel neuronal de la vía auditiva, más complejos serán los estímulos sonoros necesarios para activarlo, como por ejemplo, el habla. La corteza cerebral contiene áreas funcionales en los lóbulos temporal y frontal, relacionadas con la percepción de los sonidos del habla, cuyas funciones son exclusivas del cerebro humano. Aparentemente, la corteza auditiva no es esencial para la diferenciación de intensidades y frecuencias, pero sí en la discriminación de funciones complejas que abarcan identificación de timbre, ritmo y eventos auditivos.

Las lesiones de las estructuras auditivas del Sistema Nervioso Central causan deficiencias auditivas poco evidentes, debido al cruzamiento de información en varios niveles de la vía auditiva y la representación biauditiva del estímulo sonoro, observada en los niveles superiores a los núcleos cocleares. Por lo tanto, en el sistema nervioso central solamente lesiones localizadas en los núcleos cocleares pueden causar sordera ipsilateral a la lesión. De modo general, la deficiencia auditiva unilateral es señal de daño en el sistema nervioso periférico. Lesiones unilaterales por encima del nivel de los núcleos cocleares tienen poco efecto en los umbrales auditivos, en la localización sonora, en la percepción de frecuencias y así mismo en la percepción del habla. Aparentemente, es necesaria una lesión bilateral para la pérdida completa de la percepción y discriminación del habla. Entre tanto, las lesiones bilaterales son raras, pues los núcleos, los tractos y las áreas auditivas de la corteza cerebral se localizan en regiones laterales del tronco encefálico y del cerebro.

### Vía Auditiva Eferente

La vía auditiva eferente (centrífuga o descendente) ha sido considerada desde finales del siglo XIX. Está organizada en una cadena neuronal que se dirige desde la corteza cerebral o desde otras estructuras en niveles superiores a la cóclea para el órgano espiral. Se destacan tres sistemas de neuronas eferentes: tracto olivococlear, que envía fibras para el órgano espiral, neuronas motoras de los músculos del oído medio y fibras simpáticas.

Los tractos descendentes se originan en diferentes estratos de la corteza auditiva y las células receptoras reciben una provisión nerviosa eferente a partir del núcleo olivar superior en el tronco encefálico, cuyas fibras colinérgicas llegan a la cóclea por medio del tracto olivococlear.

Frecuentemente, estas fibras descienden próximas a los tractos ascendentes, asimismo, las vías centrífugas son paralelas a lo largo del sistema como un todo, formando una cadena en la que la actividad en los niveles bajos del sistema nervioso central puede ser influenciada por respuestas complejas en los niveles más altos, como en el caso de la formación reticular, con la cual estas vías pueden ser influenciadas. Pueden, además, ser influenciadas por vías ascendentes, estableciendo un mecanismo de modulación de la información auditiva.

Cada área cortical envía una proyección descendente a una región del cuerpo geniculado medial. Las fibras descendentes terminan en células que se proyectan de vuelta hacia la corteza, lo que sugiere que el tálamo (metatálamo) y la corteza cerebral funcionan como una unidad. Por lo tanto, el cuerpo geniculado medial no constituye un vínculo en la proyección cortical descendente para los centros inferiores, teniendo que la proyección corticogeniculada es recíproca a la proyección geniculocortical, estableciendo un sistema de retroalimentación.

Otras fibras descendentes son enviadas desde la corteza cerebral para los núcleos diencefálicos y mesencefálicos, incluyendo regiones talámicas, el tegmento del mesencéfalo, el colículo inferior y otras dos áreas conectadas al sistema motor, el cuerpo estriado y los núcleos pontinos. La proyección corticonuclear parte desde la corteza primaria y termina bilateralmente en el colículo inferior, el cual recibe fibras descendentes de la corteza auditiva y cuerpo geniculado medial de ambos lados.

Del colículo inferior parten dos proyecciones, la proyección colículo-olivar y la coliculococleoneuclear. La proyección colículo-olivar termina en los núcleos periolivares ipsilaterales y regiones de origen del tracto olivococlear cruzado, mientras que la proyección coliculococleoneuclear tiene una terminación bilateral, vía cuerpo trapezoide, en el núcleo coclear posterior.

Se puede diferenciar, además, una proyección periolivarcocleoneuclear, con fibras que pasan a través del cuerpo trapezoide y las estrías medulares cocleares intermedia y posterior, ipsilateral y contralateralmente.

Los núcleos cocleares reciben, asimismo, fibras del tracto olivococlear junto a otras fibras centrífugas del núcleo olivar superior y de otros núcleos auditivos más superiores, incluyendo el núcleo del lemnisco lateral y del colículo inferior. Los núcleos cocleares no envían fibras a la cóclea, la que recibe su supresión eferente directamente del núcleo olivar superior.

El tracto olivococlear tiene componentes cruzados, que provienen de neuronas del grupo olivar retrolateral del lado opuesto, y no cruzados que provengan del núcleo olivar superior ipsilateral. La inervación es bilateral y las fibras contralaterales recorren un trayecto en la superficie posterior junto al piso del IV ventrículo, uniéndose a las fibras ipsilaterales, teniendo que una pequeña ramificación se dirige al núcleo coclear. Aproximadamente dos tercios de las neuronas del tracto olivococlear medial son activados por sonidos presentes en el oído ipsilateral, mientras que un tercio es activado por sonidos presentes en el oído opuesto. Además de eso, la densidad de las terminaciones eferentes es mayor en la base y en la porción media de la cóclea, las que están relacionadas a las frecuencias medias y altas.

En cuanto al origen de las fibras olivococleares, se puede hacer una correlación funcional teniendo diferentes acciones en la transducción, pues estas fibras se originan de neuronas olivares superiores. Estas neuronas pueden ser diferenciadas en dos grupos de acuerdo con la posición del cuerpo celular en los núcleos olivares superiores medial y lateral (neuronas del tracto olivococlear medial y lateral), los que inervan respectivamente las células ciliadas externas e internas. Los fascículos de fibras nerviosas que parten de los

núcleos olivares superiores medial y lateral difieren en relación a la velocidad de conducción del impulso nervioso. Los axones del núcleo lateral (tracto olivococlear lateral) son muy finos.

Las fibras nerviosas que llegan a la cóclea también presentan dos tipos diferentes de terminaciones, relacionados respectivamente a las células ciliadas externa e internas. Un primer tipo está representado por grandes terminales sinápticos vesiculados, que presentan un desarrollo en la región basal de las células ciliadas externas con sus terminaciones aferentes. Este tipo está relacionado en el control no sólo del estado de contracción de las células ciliadas externas, como en la transmisión sináptica de la vía aferente. En la región basal de las células ciliadas internas hay una proporción mayor de fibras nerviosas, las cuales hacen sinapsis axodendríticas con las fibras aferentes y contacto con terminales aferentes, pero rara vez hacen contacto directo con las células ciliadas internas.

En cuanto al neurotransmisor utilizado en esta vía, es necesario considerar que el tracto olivococlear no es homogéneo, pues fibras diferentes usan neurotransmisores diferentes, destacándose la acetilcolina. El mecanismo de acción de la membrana de la célula ciliada es procesado por medio de la abertura de canales de potasio y cloruro por las fibras centrifugas, provocando alteración en la membrana celular y, en algunos casos, la hiperpolarización de la célula. La hiperpolarización reduce la motilidad de la célula ciliada externa, disminuye el movimiento de la lámina basal y, consecuentemente, reduce las respuestas de las células ciliadas internas y de las fibras del nervio coclear, cambiando el nivel de saturación de las fibras nerviosas auditivas. Asimismo, las fibras del núcleo olivar superior medial (tracto olivococlear medial) controlan la ganancia del sistema auditivo y previenen la saturación de las respuestas por medio de sinapsis con las células ciliadas externas, controlando la amplificación coclear.

El tracto olivococlear presenta acción inhibitoria, alterando el nivel umbral de las células ciliadas externas y modificando la transmisión a través de fibras aferentes de las células ciliadas internas. Actúa en el enmascaramiento de la respuesta de las fibras auditivas por la presencia de otro estímulo, pues las fibras del núcleo olivar superior medial (tracto olivococlear medial) pueden reducir los efectos de ese ruido enmascarante, modificando la entrada sensorial durante procesos tales como el mecanismo de atención. Actúa también protegiendo la cóclea contra daños ante sonidos intensos, por medio de terminales sinápticos amplios en las células ciliadas externas, que son frecuentemente dañadas por sonidos intensos, y está relacionado a la estabilización de reflejos auditivos que ocurren en niveles bajos del sistema auditivo.

Asimismo, si bien la función del tracto olivococlear en el desempeño auditivo es incierta, sus fibras responden a estímulos sonoros y tienen curvas de ajuste fino, terminan en áreas de la cóclea correspondientes a la frecuencia que les llega y cierran un circuito con retroalimentación de frecuencia específica. Por lo tanto se pueden citar como funciones de esta vía eferente: control de la situación mecánica de la cóclea; reducción de actividad nerviosa auditiva causada por estímulos sonoros; protección de daños por ruido intenso, desarrollo de mecanismos de retroalimentación que sirven para la supresión de señales auditivas indeseables, con aumento de la detección de señales en el ruido y agudeza en el poder de resolución de frecuencias en el oído interno.

### ***Arco Reflejo de Los Músculos de Los Huesecillos de La Audición***

Los músculos de los huesecillos de la audición, el tensor del tímpano y principalmente el estapedio actúan en la protección del oído ante sonidos intensos (sobre 80 – 90 dB NPS) y, en especial, en la captación de frecuencias bajas. Asimismo, reducen la transmisión del sonido del oído medio para la cóclea, en una amplia gama de sonidos graves (< 1 KHz), complementando la acción del tracto olivococlear por medio de fibras del núcleo olivar superior medial (tracto olivococlear medial).

Están relacionados directamente con el proceso de la comunicación, pues aumentan la fracción dinámica de la audición y, al atenuar las frecuencias bajas, reducen el enmascaramiento de frecuencias altas, posibilitando la mejora de la discriminación del habla en el ruido y, al contraerse durante la vocalización, reducen la respuesta a estímulos autogenerador, como la propia voz.

Estos músculos son inervados por los nervios trigémino (V par) y facial (VII par), y presentan una amplia inervación motora, presentando una relación en las unidades motoras de aproximadamente una neurona motora por cada fibra muscular, caracterizando necesidades de alto grado de control, es decir, realización de movimientos extremadamente precisos. En la formación del arco reflejo, la parte sensitiva está constituida por el nervio coclear y la parte motora proviene de neuronas del núcleo olivar superior.

Si el estribo se mueve muy lentamente en dirección al oído interno, el líquido de la ramba vestibular es empujado a través del helicotrema hacia la ramba timpánica, produciendo una protrusión hacia el oído medio de la membrana timpánica secundaria de la ventana de la cóclea (redonda). Pero si el estribo vibra rápidamente en dos direcciones no habrá tiempo para que el líquido pase a través del helicotrema entre dos vibraciones sucesivas. En vez de eso, la onda viaja por un atajo a través de la lámina basilar, haciéndola arquearse frente a cada vibración sonora. Ocurren, por lo tanto, desplazamientos en la base de la cóclea, en los cuales participan la membrana basilar y la membrana vestibular. Esta región vibra simultáneamente con el estribo y alternadamente en dirección a la ramba timpánica y vestibular.

Ese desplazamiento inicial en la base de la cóclea desencadena una onda vibratoria relativamente débil pero que se torna potente cuando llega al lugar de la lámina basilar que tiene una frecuencia natural de resonancia igual a la frecuencia del sonido correspondiente. En este lugar ocurre una amplificación máxima de la vibración y la energía de la onda sonora se disipa por completo. La existencia de esos puntos de desplazamiento máximo debido

a las características de la lámina basilar permite localizar cada frecuencia en un lugar específico del ducto coclear, pues cada frecuencia excita determinadas células sensoriales y fibras nerviosas provenientes del órgano espiral de acuerdo con el punto de desplazamiento máximo. Esta progresión de la "onda viajera" de la base hacia el ápice de la cóclea ocurre debido a las características físicas de la lámina basilar y no porque el estribo estimule inicialmente la base de la cóclea, en la ventana del vestíbulo. Estímulos generados por frecuencias altas producen un desplazamiento máximo de amplitud en la base de la cóclea, mientras que para las frecuencias bajas ese peak de desplazamiento se localiza en el ápice de la cóclea. Las fibras nerviosas provenientes de estas determinadas regiones del órgano espiral presentan, en consecuencia, una curva de respuesta en función de la intensidad y de la frecuencia del sonido, específica para cada fibra, puesto que tiene una sensibilidad máxima frente a una frecuencia característica, resultando en el punto de vibración máxima en la lámina basilar. La distribución de las fibras nerviosas a lo largo de la cóclea acompaña a su organización tonotópica, es decir, fibras con frecuencia característicamente más grave inervan el ápice y las fibras con frecuencia característicamente más aguda inervan su base.

A pesar de que esta teoría propicia explicaciones para un mecanismo de activación de la cóclea, no es compatible con la especificidad de frecuencias observada en las fibras nerviosas, ni justifica la percepción de tonos combinados, como dos tonos simultáneos iguales que no están presentes en la misma señal acústica. La percepción de estos procesos de distorsión no podrían ser reproducidos por el modelo coclear anteriormente descrito, más bien sugiere la presencia de características de no linealidad que pueden ser explicadas mediante un proceso activo, es decir, un amplificador coclear localizado entre la lámina basilar y las fibras del nervio coclear, que actúa directamente en el movimiento de la referida lámina y requiere energía. La amplia producción de potenciales microfónicos y de sumación por las células ciliadas externas, su contribución con apenas un 5 % de fibras nerviosas aferentes hacia el nervio coclear y el hecho de que la destrucción selectiva de esas células pueda ocasionar pérdidas auditivas de hasta 40 dB, sugieren su participación como amplificador coclear del movimiento de la membrana basilar. La movilidad y la capacidad de amplificación de las células ciliadas externas son consideradas como generadores de sonidos emitidos por el propio oído, las emisiones otoacústicas.

### **Transducción mecanoeléctrica**

Cuando una determinada región de la cóclea es estimulada, se inicia el proceso de transducción del estímulo sonoro en neural, para lo cual los receptores sensoriales del órgano espiral son esencialmente las células ciliadas internas y externas. Mientras que, las células ciliadas internas son unidades receptoras y codificadoras cocleares, las células ciliadas externas constituyen un amplificador coclear, que amplifica el estímulo para determinar el funcionamiento de las células ciliadas internas. Por medio de la deflexión de los estereocilios, las células ciliadas transducen la energía sonora mecánica en potenciales eléctricos, es decir, en estímulos nerviosos.

El sistema se mueve como una unidad, pues las células ciliadas están adheridas a la lámina basilar por medio de las células de sustentación y la extremidad superior de las células ciliadas externas está fija a la membrana reticular, que está rígida y se continúa con los pilares de Corti, reposados sobre la lámina basilar. La membrana tectoria, en la cual los cilios de las células ciliadas externas están insertos, también se adhiere a la membrana basilar por medio del limbo espiral. El movimiento de la lámina basilar y su desplazamiento en relación a la membrana tectoria y a la lámina reticular provocan, por lo tanto, la inclinación de los estereocilios de las células ciliadas externas contra la membrana tectoria iniciando el proceso de transducción sonora. Las células ciliadas son polarizadas y la despolarización se produce cuando el desplazamiento de los cilios está en sentido del cuerpo basal del kinocilio; como todas las células están orientadas en la misma dirección, el movimiento en dirección de la estría vascular las excita. La inclinación de los cilios provoca la abertura de canales iónicos de potasio y esa despolarización produce potenciales microfónicos cocleares, que determinan contracciones rápidas de las células ciliadas externas. Las células ciliadas internas son accionadas por un mecanismo semejante, resultante de un movimiento diferencial entre la membrana tectoria y la membrana reticular, que produce el movimiento del líquido contenido en esa región, curvando los estereocilios libres.

Un potencial endococlear es generado por el paso de iones potasio de la estría vascular hacia el ducto coclear, siendo garantizado por la composición iónica de la endolinfa, y es fundamental para la transducción mecanoeléctrica de la energía sonora. Existe un potencial de +80 mV entre la endolinfa y la perilinfa, habiendo potenciales positivos en la parte interna del ducto coclear y potenciales negativos en la parte externa y en el interior del órgano espiral, pues el potencial de reposo presenta los siguientes valores: rampa vestibular (0), ducto coclear (+80 mV), órgano espiral y estría vascular (-). Las células ciliadas poseen una porción superior que se proyecta a la endolinfa y una porción inferior bañada en el espacio de Nuel por cortilina (composición iónica semejante a la perilinfa). De esta manera, las células ciliadas tienen potencial intracelular negativo de -70 mV en relación a la perilinfa y de -150 mV en relación a la endolinfa en la superficie superior junto a los cilios. Este elevado potencial eléctrico en la célula ciliada la estabiliza, aumentando su capacidad de responder a leves movimientos ciliares; un estímulo acústico produce alteración simultánea de la conductancia de la membrana de la célula receptora en consecuencia del desplazamiento tangencial de los cilios, es decir, despolariza su membrana con pequeños desplazamientos ciliares.

Cuando se produce vibración sonora de la membrana basilar es producido un potencial microfónico, es decir, un voltaje alternado (despolarización/hiperpolarización) de igual frecuencia que se superpone al potencial de reposo y corresponde a la suma de dos potenciales receptores de las células ciliadas excitadas (región extracelular), reproduciendo las fluctuaciones de presión sonora. Por lo tanto, el desplazamiento de los cilios produce variaciones

alternadas del potencial eléctrico a través de la membrana de las células ciliadas, la cual estimula las terminaciones nerviosas del nervio coclear que está en contacto con las células ciliadas, desencadenando un potencial de acción, aquel registrado por las fibras del nervio coclear.

Con la formación de potenciales, ocurren contracciones de las células ciliadas externas, de acuerdo a la frecuencia sonora estimulante, que determinan la amplificación de la vibración de la lámina basilar en un área restringida al órgano espiral. Debido a esa amplificación de la vibración, los cilios más largos de las células ciliadas internas entran en contacto con la membrana tectoria, inclinándose. La estimulación de los cilios despolariza las células ciliadas internas en una pequeña área, en la cual un pequeño número de células es estimulado con máxima intensidad, provocando la abertura de canales de potasio y la consiguiente formación de potenciales receptores. Esta excitación selectiva de células ciliadas internas, situadas próximas unas de otras, y los mensajes enviados por sus propias fibras nerviosas sería la base de la discriminación de frecuencias.

Las alteraciones de conductancia de la membrana son acompañadas de la entrada y salida de iones responsables por la producción del potencial receptor, el cual lleva a la liberación de neurotransmisores, formándose un mensaje sonoro eléctricamente codificado que será enviado a través del nervio coclear al Sistema Nervioso Central. Cuando sucede la despolarización de la membrana basilar, aumenta el número de potenciales de acción, y cuando ocurre su hiperpolarización, disminuye el número de potenciales de acción en las fibras del nervio coclear los cuales señalan la excitación de las células ciliadas al Sistema Nervioso Central. Por lo tanto, los neurotransmisores son responsables por la excitación de las fibras nerviosas aferentes, junto al polo basal y superficies laterales de la célula, donde se producen sinapsis con una red de terminaciones del nervio coclear, es decir, fibras que se dirigen al ganglio espiral de la cóclea (ganglio coclear), en el modiolo, el cual envía axones por el nervio coclear al Sistema Nervioso Central.

---

## **Estructuras y Organización Periférica relacionadas al equilibrio**

---

El aparato vestibular, responsable del equilibrio, tiene por función informar la posición del cuerpo y, en especial, de la cabeza en relación al espacio, además controla la postura y los movimientos del cuerpo y de los ojos. Su porción periférica está constituida por la parte posterior del oído interno y se encuentra envuelto por la cápsula ótica circundante, el laberinto óseo, que protege internamente el laberinto membranoso.

El laberinto óseo comprende el vestíbulo y los canales semicirculares que son espacios y canales excavados en una sustancia ósea, revestidos por periostio y llenos de perilinfa (líquido rico en sodio). El laberinto membranoso contenido dentro del laberinto óseo forma un sistema cerrado de ductos que se comunican entre sí, llenos por endolinfa (líquido con alta concentración de potasio). Está constituido por el sáculo, utrículo y canales semicirculares. El canal de Reuniens (ducto de unión) une el sáculo directamente al canal coclear; el canal utriculosacular comunica el utrículo con el sáculo y de él emerge el canal endolinfático que viaja al acueducto del vestíbulo terminando en una bolsa, el saco endolinfático, bajo la dura madre. Las estructuras del laberinto membranoso corresponden a órganos receptores responsables de la trasducción del estímulo mecánico en impulso nervioso: las máculas del sáculo y del utrículo las crestas ampulares en las ampollas de los canales semicirculares relacionados a los reflejos vestibulares del equilibrio (Fig. 7.1).

Las concentraciones iónicas de la endolinfa y de la perilinfa son importantes en el funcionamiento normal del aparato vestibular, siendo su contenido mantenido por células secretoras especializadas presentes en la membrana laberíntica y en el saco endolinfático. Alteraciones de ese contenido iónico pueden ser responsables de patologías laberínticas.

El suministro sanguíneo está dado por la arteria del laberinto, rama de la arteria cerebelosa inferior anterior, que penetra en el hueso temporal a través del meato acústico interno. La arteria del laberinto recibe ramos de la arteria estilomastoidea, principalmente hacia los canales semicirculares. Interrupciones en ese flujo sanguíneo pueden ocasionar alteraciones vestibulares manifestadas por mareos.

### **Vestíbulo, Sáculo y Utrículo.**

Situado centralmente en el laberinto óseo, el vestíbulo es un espacio ovoide transversalmente achatado, posterior a la cóclea y anterior a los canales semicirculares (Fig.7.2). Se comunica lateralmente con la cavidad timpánica a través de la ventana del vestíbulo (ventana oval) y presenta cinco aberturas correspondientes a los tres canales semicirculares, una abertura para la rampa del vestíbulo en la cóclea y tres recesos, uno esférico, uno elíptico y uno coclear.

El receso esférico corresponde al área vestibular inferior del meato acústico interno. Se sitúa en la pared medial del vestíbulo y contiene el sáculo y la mácula cribosa media, los forámenes presentes en el receso esférico dan paso a las fibras del nervio vestibulococlear que se dirigen al sáculo. Posteriormente al receso esférico se sitúa una cresta oblicua, la cresta del vestíbulo, que circunscribe una pequeña depresión, el receso coclear, perforado por numerosos orificios a través de los cuales las fibras del nervio vestibulococlear se dirigen a la cóclea. El sáculo, alojado en el receso esférico del vestíbulo, es una bolsa de forma globular prolongada posteriormente asemejándose esta prolongación a un cono, que se sitúa próximo a la abertura de la rampa del vestíbulo en la cóclea, manteniendo contacto superiormente con la pared inferior del utrículo. Posee un engrosamiento oval en la pared anterior, la mácula del sáculo (receptor neuroepitelial), que recibe las fibras del nervio vestibulococlear y se sitúa en ángulo recto, si es comparada a la mácula del utrículo.

En cuanto al receso elíptico, situado póstero-superiormente a la cresta del vestíbulo, contiene el utrículo y la mácula cribosa superior que presenta forámenes que son atravesados por fibras del nervio vestibulococlear que se dirige a las ampollas de los canales semicirculares anterior, lateral y al utrículo. Inferiormente a ese receso elíptico se abre el acueducto del vestíbulo, que se extiende a la superficie posterior del hueso temporal y está impulsado por el canal endolinfático y pequeñas venas. El utrículo es una bolsa de forma oblongada e irregular que recibe las cinco aberturas de los canales semicirculares. El utrículo posee también la abertura del canal utriculosacular.

La mácula del utrículo presenta un epitelio neurosensorial formado por el engrosamiento mitad lateral del suelo y por la parte inferior de la pared lateral del utrículo, que recibe las fibras utriculares del nervio vestibulococlear.

### **Máculas del sáculo del utrículo**

Las máculas del sáculo y del utrículo ocupan posiciones fijas en relación al cráneo, mientras que, en el utrículo la mácula ocupa una posición más horizontal, en el sáculo se encuentra más verticalizada, correspondiendo a las diferentes posiciones de la cabeza, que determinan ángulos entre las posiciones horizontal y vertical e influyen en el tono muscular de los músculos extensores situados en el cuello.

Los receptores de las máculas del sáculo y del utrículo, las células ciliadas, tienen como estímulo específico la aceleración lineal del movimiento, es decir, indicando el posicionamiento de la cabeza en el espacio cuando ocurren movimientos lineales tales como: inclinar la cabeza hacia los lados, hacia el frente o hacia atrás. Los otolitos tienen densidades aproximadamente tres veces mayor que la endolinfa y, por lo tanto, es necesaria la actuación de la aceleración lineal para su desplazamiento. Debido a la fuerza gravitacional, la cabeza se encuentra en reposo, esas células ciliadas están emitiendo continuamente señales; si ocurre un movimiento de inclinación de la cabeza los otolitos de la membrana de otolitos se desplazan produciendo la inclinación de dicha membrana en relación al epitelio sensorial, los cilios se deflexan, aumentando o reduciendo las descargas neuronales, de acuerdo con la dirección de desplazamiento (Fig. 7.3).

### **Canales y ductos semicirculares**

Los tres canales semicirculares están situados posteriormente al vestíbulo y cada uno corresponde a dos tercios de un círculo, presentando largos diferentes, diámetros semejantes y una dilatación en una de las extremidades, denominada ampolla ósea. Se disponen formando ángulos rectos entre sí y representan los ejes de rotación correspondientes a los movimientos de rotación de la cabeza hacia el frente, atrás y hacia los lados. Forman, de la misma manera, los siguientes pares sinérgicos: canales laterales derecho e izquierdo, canales anterior derecho y posterior izquierdo, canales anterior izquierdo y posterior derecho. En tanto la posición de los canales no corresponde a los ejes del cuerpo, o sea, los canales semicirculares anterior y posterior divergen respectivamente de los planos frontal y medial en  $45^\circ$  y el canal semicircular lateral se sitúa a  $30^\circ$  en relación al plano horizontal (Fig.7.4).

El canal semicircular lateral es un arco horizontal de aproximadamente 12 mm a 15mm de extensión: teniendo una extremidad anterior que contiene la ampolla ósea lateral, que se abre en la región súpero-lateral del vestíbulo y una extremidad posterior que se abre abajo del orificio del pilar óseo común entre los dos otros canales semicirculares.

El canal semicircular anterior es un canal vertical de 15 mm a 20 mm de largo, cuyo arco se sitúa bajo la eminencia arqueada. En la parte petrosa del hueso temporal, posee una extremidad anterior que se dilata, la ampolla ósea anterior, y desemboca en la parte súpero-lateral del vestíbulo, y otra extremidad posterior que se une al canal semicircular posterior formando el pilar óseo común, que desemboca en la parte medial del vestíbulo. El canal semicircular posterior es un canal también vertical, con 18 a 22 mm de extensión; posee una extremidad inferior que presenta la ampolla ósea posterior, que se abre en la región inferior del vestíbulo y otra que forma el ramo común con el canal semicircular anterior.

Los tres ductos semicirculares – lateral, anterior y posterior – están contenidos en los respectivos canales semicirculares y presentan una ampolla membranosa por ducto, en la respectiva ampolla ósea, donde se encuentran las células ciliadas receptoras. En cada ampolla membranosa ocurre un engrosamiento de la pared (septo transversal), cuya parte más prominente es denominada cresta ampular y contiene neuroepitelio de células ciliadas y células de sustento.

### **Crestas Ampulares**

Los ductos semicirculares con sus respectivas crestas ampulares están dispuestos formando ángulos rectos entre sí y que resulta en la complementación de la percepción de las posiciones de la cabeza por las máculas del sáculo y del utrículo.

Las células ciliadas de las crestas ampulares son receptores sensibles a la aceleración angular, es decir, indican movimientos de rotación de la cabeza. Al igual que las células ciliadas de las máculas del sáculo y del utrículo, estas células emiten señales cuando están en posición de reposo y ocurre aceleración angular, como rotación de la cabeza hacia uno de los lados. La endolinfa, que posee inercia y peso específico menor que el de la pared del ducto semicircular, se desplaza en relación al ducto semicircular, originando una onda de presión contraria que puede ser en dirección a la ampolla membranosa, centrípetamente (utriculopetal) o en dirección opuesta, centrífugamente (utriculofugal). El desplazamiento de la endolinfa mueve la extremidad de la cúpula ampular, que posee peso específico igual al de la endolinfa. Los cilios que se proyectan en la cúpula ampular se desplazan con el consecuente aumento o reducción de la frecuencia de las descargas neuronales.

Si ocurre rotación de la cabeza hacia la derecha, por ejemplo, la endolinfa del ducto semicircular lateral se mantiene estacionaria en el momento del movimiento debido a la inercia y, en consecuencia, ocurre un movimiento relativo de la cúpula ampular en dirección opuesta, con desplazamiento hacia la izquierda (Fig.7.5). La endolinfa entonces pierde lentamente la inercia y acompaña el movimiento de rotación de la cabeza. En tanto, cuando la rotación cesa la endolinfa continúa y se mueve por un tiempo en la misma dirección y la cúpula ampular retorna hacia la derecha.

Cuando no ocurre aceleración, o sea, la velocidad de rotación es mantenida uniforme, la endolinfa se adapta al movimiento y deja de existir diferencia de movimiento de rotación entre el cuerpo y la endolinfa, con la cúpula ampular retornando a la posición inicial y con las neuronas en actividad de reposo. Con la reducción de la velocidad angular, la aceleración se torna negativa, la onda endolinfática se vuelve en sentido contrario, causando el movimiento de los cilios también en sentido contrario. Después al fin de la rotación del cuerpo, las demás estructuras también retornan a la posición de reposo.

## Receptores Vestibulares

Los receptores del órgano vestibular son transductores sensoriales implicados en la mantención del equilibrio y su estímulo consiste en la aceleración tanto lineal cuanto angular y la consecuente inclinación de los cilios presentes en las células.

Las células ciliadas de las máculas del sáculo y del utrículo y de las crestas ampulares, en principio tienen características similares, es decir, son mecanorreceptores que responden a la deflexión tangencial de sus cilios. Basándose principalmente en el tipo de inervación que reciben, pueden ser diferenciadas en dos tipos: células ciliadas tipo I y células tipo II.

Las células ciliadas de tipo I son piriformes, con base redondeada, donde se sitúa el núcleo, presentan una extremidad libre y la restante está envuelta por una terminación nerviosa aferente del sistema vestibular, en forma de cáliz (diámetro grande de la fibra nerviosa y conducción rápida). Dirigido a un pequeño grupo localizado de células se encuentran los botones sinápticos vesiculados en la superficie del cáliz implicados con información aferente.

Las células ciliadas de tipo II son células cilíndricas, con un núcleo situado generalmente en la región central de la célula; la región basal y cercana a los botones sinápticos que pueden contener terminales no granulados pertenecientes a fibras nerviosas aferentes o granulados pertenecientes a fibras nerviosas eferentes. Las fibras nerviosas son de diámetro pequeño e inervan varias células ciliadas.

Las fibras de los tipos I y II presentan características comunes: 50 a 110 estereocilios situados en la superficie apical y un cilio de estructura típica y más largo, situado en el borde de la célula, llamado kinocilio. Este cilio diferenciado y compuesto por organelos presenta una distribución diferenciada de microtúbulos. Los estereocilios son, más bien, simples; pues su membrana externa y una continuación de la membrana de la célula ciliada, contiene una red densa de filamentos de actina y están conectados entre sí por pequeños filamentos. Están organizados en filas de varias alturas, son pequeños en el borde opuesto al kinocilio y aumentan el tamaño conforme se aproximan a él, siendo su disposición funcionalmente importante. Allí la actina presente en la porción apical de la célula ciliada, que llega como un muelle elástico, hace que el estereocilio retorne a la posición inicial después de su deflexión.

Las células ciliadas vestibulares son fisiológicamente polarizadas, es decir, la deflexión de los cilios provoca cambios en el flujo iónico de la membrana celular. La inclinación en dirección al kinocilio despolariza la célula y genera potenciales de acción en las fibras nerviosas aferentes (impulsos nerviosos); en sentido contrario, hiperpolariza la célula y provoca inhibición. Este mecanismo de despolarización e hiperpolarización de las células ciliadas depende, respectivamente, de las concentraciones iónicas de la endolinfa y de la perilinfa, donde ésta última baña las porciones lateral y basal de la célula ciliada.

La deflexión de los estereocilios en sentido del kinocilio provoca la abertura de los canales de (k+) en las porciones apicales del estereocilio y del kinocilio. De esta forma el potasio es transportado de la endolinfa a la célula, despolarizando la membrana celular. Esta despolarización provoca la abertura de los canales voltaje-dependientes de calcio (Ca++) en la base de las células ciliadas, permitiendo su entrada en la célula. La entrada de calcio causa la liberación de los neurotransmisores presentes en las vesículas sinápticas hacia la hendidura sináptica y aumenta el patrón de descargas en las fibras aferentes. Cuando el estímulo se reduce los estereocilios y el kinocilio retornan a la posición de reposo, la mayoría de los canales de calcio se cierran y los canales voltaje-dependientes de potasio, en la base de la célula, se abren permitiendo la entrada de potasio y consecuente retorno de la membrana celular al potencial de reposo.

La deflexión en sentido contrario al kinocilio provoca una abertura de los canales de potasio en las porciones vasolaterales de la célula ciliada, permitiendo el transporte de potasio de afuera de la célula hacia el espacio intersticial. Como resultado, ocurre una hiperpolarización de la membrana celular y reducción de la liberación del neurotransmisor por las células ciliadas y, en consecuencia, una reducción de los impulsos nerviosos en las fibras aferentes.

Durante el reposo de la célula ciliada, canales de calcio están abiertos, liberando lenta y continuamente el neurotransmisor provocando un patrón de descarga de reposo, moderado por las fibras aferentes vestibulares.

Los neurotransmisores que actúan junto a esas células son el aspartato y el glutamato y el uso de sustancias ototóxicas puede causar alteraciones en ese proceso de transducción.

Los dos tipos de células ciliadas al igual que las fibras nerviosas aferentes presentan sinapsis con fibras del sistema eferente vestibular, cuyo neurotransmisor es la acetilcolina. Esas fibras eferentes son activadas por estímulos comportamentales o estimulación trigeminal y controlan la sensibilidad del receptor.

Debido a estas características de la estimulación a favor o contra el kinocilio, la orientación direccional de las células ciliadas es importante en la señalización de los movimientos. En las crestas ampulares, las células de tipo I están concentradas en la región central, mientras que las células de tipo II se encuentran en la región periférica, y ambas células ciliadas están orientadas en la misma dirección.

En las ampollas membranosas de los ductos semicirculares laterales, el borde de la célula ciliada que posee el kinocilio está próxima al utrículo y su deflexión en esa dirección desolaría todas las células, mientras que en dirección contraria las hiperpolariza. En las ampollas membranosas de los ductos semicirculares anterior y posterior los kinocilios están en dirección opuesta, apartándose del utrículo, por lo tanto cuando ocurre la inclinación en dirección del utrículo, las células ciliadas se hiperpolarizan. De esta forma la aceleración ampular estimula las células ciliadas en un ducto semicircular, simultáneamente inhiben las células ciliadas en el ducto semicircular

complementario en el lado contralateral, formando pares funcionales (sinérgicos) que actúan opuestamente en relación a un movimiento único.

Las neuronas presentes en los núcleos vestibulares reciben información de los receptores de los dos lados de la cabeza, debido a las conexiones comisurales interpretando la dirección de la rotación de la cabeza basada en las descargas neuronales de las fibras aferentes de los referidos pares funcionales. Si ocurren alteraciones en las descargas de fibras aferentes del nervio vestibulo coclear sea por traumas craneanos o por molestias, el cerebro puede interpretar el aumento de tales descargas como movimientos, al igual como sucede estando la cabeza en reposo. En caso de que ocurra la reducción o bloqueo total de impulsos aferentes de un lado de la cabeza, las neuronas de los núcleos vestibulares y el cerebro pueden interpretar como aumento de las descargas del lado opuesto normal y, en consecuencia, como movimiento de la cabeza hacia el lado contrario de la lesión.

Tanto los cilios de las células ciliadas como de las células de sustento de las crestas ampulares se proyectan hacia una masa gelatinosa, la cúpula ampular, que se extiende en el espacio endolinfático a través de todo el diámetro del ducto semicircular.

En cuanto a las células ciliadas de las máculas del utrículo y del sáculo, están organizadas en diferentes direcciones de polarización anatómica, asegurando que el movimiento en cualquier dirección estimule algunas células, con respecto a las otras, éstas son inhibidas en la superficie de una misma mácula. En el utrículo, los kinocilios están más próximos a la estriola (línea que cruza la región central y divide la célula en dos polaridades inversas), en el sáculo están más distantes de esa línea. En ambas máculas, los cilios se proyectan hacia una masa gelatinosa llamada membrana de los otolitos (por contener cuerpos cristalinos de carbonato de calcio, los otolitos o estatoconios (Fig. 7.6).

Por lo tanto existe un "mapa macular de dirección espacial" que permite la decodificación de los movimientos lineales y es mantenido por fibras aferentes del nervio vestibulo coclear que inervan pequeñas regiones del neuroepitelio macular manteniendo la dirección de la señal.

Situadas en la lámina basal, normalmente las células de sustento de las crestas ampulares son alargadas, de diámetro variable y con un núcleo en la región basal. Están implicadas en la modificación de la composición de la endolinfa o con la nutrición de la célula ciliada, junto a la cual establecen uniones. Las células de sustento de las máculas son semejantes a las células de sustento de las crestas ampulares.

---

## **Procesamiento Central Del Equilibrio**

---

### ***Vías Vestibulares***

Las funciones desarrolladas por el sistema vestibular, es decir, las relacionadas al equilibrio del cuerpo, a los movimientos coordinados de los ojos y de la cabeza y la mantención de la postura corporal tornan necesaria una integración compleja entre las eferencias de los cinco pares de receptores vestibulares presentes en el oído interno y las actividades de los sistemas reflejos de la visión (ojos) y de la propiocepción (receptores generales localizados por el cuerpo).

Las neuronas sensitivas primarias son las neuronas bipolares del ganglio vestibular (de Scarpa), situadas en el meato acústico interno. Ellas emiten prolongaciones periféricas que se dirigen a las células ciliadas de las máculas del sáculo (nervio sacular, ramo de la parte inferior del nervio vestibular) y del utrículo (nervio utricular, ramo de la parte superior del nervio vestibular), y las células de las crestas ampulares de los conductos semicirculares lateral (nervio ampular lateral, ramo de la parte superior del nervio vestibular), anterior (nervio ampular anterior, ramo de la parte superior del nervio vestibular) y posterior (nervio ampular posterior, ramo de la parte inferior del nervio vestibular) junto a las cuales ocurren sinapsis. Las prolongaciones centrales forman el nervio vestibular, parte del nervio vestibulococlear. El nervio vestibular recorre el meato acústico interno con el nervio coclear y el nervio facial, alcanzando el tronco encefálico en el surco bulbopontino en un área llamada ángulo pontocerebelar. Esta área se destaca clínicamente, pues el crecimiento de tumores en esta región determina señales neurológicas características, debido a la proximidad de los nervios craneanos y del cerebelo.

Las fibras del nervio vestibular se dirigen posteriormente y terminan en los núcleos vestibulares del bulbo y del puente (núcleos vestibulares lateral, medial superior e inferior), junto al piso del IV ventrículo (fosa romboidal). Una pequeña cantidad de fibras nerviosas termina en el lóbulo floclonodular del cerebelo.

Los axones originados en los núcleos vestibulares se dirigen predominantemente a los núcleos motores oculares, cerebelo, neuronas inferiores del tronco encefálico y médula espinal, auxiliando las actividades musculares que mantienen el equilibrio. Por lo tanto, funcionalmente se destacan entre las interacciones del sistema vestibular: núcleos vestibulares, tracto vestibuloespinal, conexiones vestibulocerebelares, conexiones vestibulooculares, conexiones neurovegetativas y conexiones vestibulotalamocorticales.

### **Núcleos Vestibulares**

Los núcleos vestibulares son cuatro núcleos situados en el área vestibular en el piso del IV ventrículo (fosa romboidal). El núcleo vestibular inferior se localiza en la parte superior del bulbo; el superior limita con la región lateral del IV ventrículo; el medial, en la parte lateral del piso del IV ventrículo y el lateral limita con la unión bulbopontina.

Estos núcleos poseen conexiones entre sí en el mismo lado (conexiones intrínsecas) y con los del lado opuesto (conexiones comisurales), teniendo que la mayoría de estas células vestibulovestibulares contienen neurotransmisores inhibitorios (GABA o glicina), sin embargo algunas pueden utilizar aminoácidos excitatorios. Estas conexiones comisurales son importantes en el procesamiento de la señal vestibular, principalmente en relación a la información de los pares sinérgicos de los conductos semicirculares y comparaciones entre las máculas del sáculo y del utrículo. Actúan también en los procesos de comprensión vestibular, en los cuales, por medio de ajustes centrales, alteraciones vestibulares recurrentes de deficiencia funcional unilateral, pueden ser gradualmente restauradas.

Los núcleos vestibulares poseen grupos de neuronas que responden a una aceleración lineal y otros a aceleración angular; grupos de células con respuesta específica a rotación ipsilateral o contralateral; y grupos que sufren estimulación del laberinto vestibular contralateral a través de fibras comisurales.

Casi todas las fibras aferentes del nervio vestibular se bifurcan cuando penetran en el sistema nervioso central: los ramos ascendentes hacen sinapsis con los núcleos vestibulares inferior y medial. Los fascículos de fibras provenientes de la mácula del sáculo terminan en la parte lateral del núcleo vestibular inferior; fibras de la mácula del utrículo terminan en la parte medial del núcleo vestibular inferior y en la parte lateral del núcleo vestibular medial; fibras de las crestas ampulares terminan predominantemente en el núcleo vestibular superior y en la parte superior del núcleo vestibular medial. Los núcleos vestibulares reciben, incluso, fibras provenientes del vermis del cerebelo y del núcleo fastigial, además de fibras espinales con información de los receptores articulares propioceptivos.

La presencia de fibras eferentes que se dirigen desde los núcleos vestibulares al epitelio sensorial evidencia un control central. Las eferencias de los núcleos vestibulares incluyen: núcleos oculomotores, médula espinal, formación reticular y tálamo. Los axones vestibulares eferentes poseen terminaciones vesiculadas directamente en células ciliadas vestibulares de tipo II y hacen sinapsis con el cálice de las células ciliadas de tipo I, formando una sinapsis axo-axónica. El neurotransmisor de estas sinapsis es la acetilcolina.

Los núcleos vestibulares difieren entre sí en cuanto a la estructura citoarquitectónica y las conexiones aferentes y eferentes. Envían información a varias regiones del cerebro acerca de la posición de la cabeza en relación a la fuerza de gravedad y la dirección y velocidad de sus movimientos.

### Tracto Vestibuloespinal

Las alteraciones de orientación del cuerpo en relación a la fuerza de gravedad son percibidas por receptores presentes en el oído interno, los que envían la información al encéfalo y éste a la médula espinal, modificando la actividad de las motoneuronas para garantizar la corrección apropiada. Sin embargo, la mayoría de las fibras vestibulares primarias termina en el núcleo vestibular medial, los núcleos vestibulares emiten proyecciones secundarias para los núcleos motores espinales vía tractos vestibuloespinales lateral y medial.

Estos tractos actúan en el control del tono muscular en varias partes del cuerpo. Sus fibras son descendentes y terminan haciendo sinapsis con las interneuronas espinales, activando las neuronas motoras alfa y gama que inervan los músculos extensores y mantienen el tono de los músculos del dorso y de los miembros, fundamental para el sostén del cuerpo contra la gravedad (posición ortostática).

El tracto vestibuloespinal lateral consiste en un fascículo de fibras no cruzadas que se dirigen desde las células de los núcleos vestibulares lateral e inferior para todos los niveles de la médula espinal, hasta el nivel sacro, recorriendo el funículo anterior medial ipsilateral. Estas fibras están somatotópicamente organizadas, es decir, proyecciones del área rostroventral del núcleo vestibular lateral se dirigen a la parte cervical de la médula espinal, y proyecciones del área dorsocaudal para las partes lumbares y sacras de la médula espinal. El tracto vestibuloespinal lateral recibe, también, información de los conductos semicirculares (pares sinérgicos), de las máculas, del cerebelo y de la médula espinal (propiocepción).

Las fibras nerviosas de este tracto actúan por medio de neurotransmisores excitatorios (acetilcolina y glutamato) en las neuronas motoras de los músculos extensores, actuando en el control postural. Si un individuo inclina el cuerpo para la izquierda, las fibras del tracto vestibuloespinal lateral ipsilateral provocan la extensión del cuerpo por medio de la musculatura axial y de los miembros a la izquierda, mientras que los músculos extensores a la derecha son inhibidos, garantizando la flexión lateral de ese lado.

Mientras el tracto vestibuloespinal lateral interactúa con los músculos extensores de los miembros ipsilaterales, las fibras del tracto vestibuloespinal medial actúan sobre los músculos de la cabeza, cuello, tronco y partes proximales de los miembros, coordinando la posición de la cabeza con los movimientos de los ojos. Originarias de los núcleos vestibulares medial y, en menor número, inferior y lateral, estas fibras descienden sin decusar, bilateralmente, vía fascículo longitudinal medial hacia la parte cervical de la médula espinal. Este tracto recibe, además de información de receptores vestibulares, del cerebelo y de la médula espinal (sistema somatosensorial), y contiene neurotransmisores excitatorios e inhibitorios que actúan en las neuronas motoras que inervan los músculos flexores y extensores del cuello.

Si la cabeza pende hacia el frente, las neuronas del tracto vestibuloespinal medial reciben señales de aceleración lineal hacia inferior (sáculo), de variación de posición de la cabeza en relación a la gravedad (sáculo y utrículo) y señales de aceleración angular, originarias de las crestas ampulares de los conductos semicirculares. Esta información es procesada por estas neuronas y se envían impulsos nerviosos excitatorios a los músculos flexores dorsales del cuello e inhibitorios para los músculos flexores ventrales del cuello, ocasionando un movimiento de cuello para arriba, en el sentido opuesto al movimiento.

### Conexiones Cerebelares

Las conexiones del cerebelo con los núcleos vestibulares medial e inferior y, en menor número, directamente con el nervio vestibular, constituyen las vías vestibulocerebelar y cerebelovestibular. Estas vías permiten la integración del cerebelo con los núcleos vestibulares y con los núcleos motores oculares, informando la posición del cuerpo y particularmente de la cabeza en el espacio, estableciendo el equilibrio durante los movimientos y la coordinación de la cabeza con los movimientos oculares.

El cerebelo recibe fibras vestibulares primarias y secundarias. Mientras que las fibras primarias son provenientes del ganglio vestibular, principalmente de los conductos semicirculares y se dirigen a la corteza cerebelar, sin realizar sinapsis; las fibras secundarias hacen sinapsis en los núcleos vestibulares y de éstos parten fibras que llegan a la corteza cerebelar, ambos tipos de fibras terminan en el lóbulo floculonodular, en el núcleo fastigial y parcialmente en la úvula.

Se destacan, además, conexiones recíprocas entre el cerebelo y los núcleos vestibulares. Fibras cerebelofugales, provenientes de regiones superiores, del vermis y del lóbulo anterior, constituyen el tracto cerebelovestibular. La mayoría de los axones de las células de Purkinje abandona la corteza cerebelar por el pedúnculo cerebelar inferior, para hacer sinapsis en los núcleos vestibulares ipsilaterales, teniendo que estas proyecciones son vías inhibitorias (gabaérgicas). Las proyecciones del núcleo fastigial (fastigiovestibulares) son excitatorias (glutamato o aspartato).

El tracto vestibulocerebelar actúa en la postura y en el equilibrio por medio de las proyecciones vestibuloespinal y reticuloespinal para neuronas motoras que hacen sinapsis con las de los músculos extensores del cuerpo. Además de esto, los núcleos vestibulares proyectan fibras que ascienden por el fascículo longitudinal medial, haciendo sinapsis bilateralmente en los núcleos del III, IV y VI par craneano. Asimismo, lesiones cerebelares

pueden ocasionar temblores y diferentes niveles de ataxia, generalmente acompañadas de la presencia de nistagmo.

### Conexiones Vestíbulo – Oculares

Entre las funciones del sistema vestibular se destaca el control de los movimientos de la cabeza y la mantención de la fijación de la visión durante estos movimientos, es decir, la coordinación entre los músculos cervicales y los ojos, obtenida por medio de la acción de neuronas motoras. Asimismo, debido a una actividad coordinada entre el laberinto vestibular, los músculos oculares y los cervicales, los ojos se voltean, en forma refleja, hacia el lado opuesto, permitiendo la fijación de un objeto durante el movimiento de la cabeza.

El sistema vestibular detecta los movimientos de la cabeza, independiente de la velocidad o dirección del movimiento y los ajusta y compensa por medio de conexiones centrales con los núcleos oculomotores, constituyendo el reflejo véstibulo - ocular. El sáculo y el utrículo actúan detectando y mediando información sobre la posición de la cabeza, además de ajustar la acción referente a los seis núcleos responsables del comando de movimientos oculares. Cuando la rotación de la cabeza estimula los movimientos oculares, estos dependen de la reflexión de las células ciliadas de las crestas ampulares en los conductos semicirculares. Las conexiones entre los núcleos vestibulares y los núcleos de los nervios craneanos que inervan los músculos del ojo (tracto véstibulo - ocular) presentan grupos celulares que reciben estímulos provenientes de un conducto semicircular específico y están conectados con grupos que inervan un determinado músculo del ojo.

Los movimientos rotacionales verticales de los ojos son controlados por el conducto semicircular vertical y por el sáculo; los movimientos rotacionales horizontales de los ojos son controlados por el conducto semicircular lateral y por el utrículo; y los movimientos de pestañeo y ojos son controlados por el conducto semicircular vertical y por el utrículo. En los movimientos lineales de los ojos, sin rotación de la cabeza, el reflejo véstibulo – ocular relaciona las máculas y conexiones con neuronas motoras oculares.

El reflejo véstibulo – ocular incluye tres grupos de neuronas: neuronas aferentes presentes en el ganglio vestibular, interneuronas de asociación, presentes en los núcleos vestibulares, y las neuronas eferentes o neuronas motoras inferiores, presentes en los núcleos oculomotor, troclear y abducente. Enseguida las fibras se dirigen dorsalmente y terminan en los núcleos vestibulares medial y superior, las fibras véstibulo – oculares se dirigen al núcleo motor ocular vía fascículo longitudinal medial.

Las manifestaciones del reflejo véstibulo – ocular, como el nistagmo, pueden ser inducidas en individuos normales con estimulación calórica por medio de la irrigación con agua o aire caliente y frío en el meato acústico externo o por la rotación de la cabeza. Ambos métodos inducen corrientes de líquido endolinfático en los conductos semicirculares. El nistagmo se refiere a movimientos involuntarios de los ojos que incluyen dos componentes: uno lento (siempre en la dirección de la desviación de la cúpula), que se aleja del punto de fijación, mediado por la vía véstibulo – ocular, y uno rápido, que retorna al punto de fijación, mediado por la corteza cerebral. Clínicamente, el nistagmo puede ser utilizado en el diagnóstico de la integridad del sistema vestibular. En individuos con función vestibular normal, después de la estimulación calórica debe haber respuesta igual en los dos lados; en el caso de una lesión (periférica o central), la respuesta puede ser deficiente o estar ausente.

### Conexiones Neurovegetativas

La principal función del sistema nervioso autónomo (visceral) es regular los órganos correspondientes de acuerdo con las modificaciones del medioambiente tanto externo como interno, por medio de los sistemas simpático y parasimpático. La activación del sistema simpático aumenta el desempeño del cuerpo en situaciones de emergencia o estrés, es decir, ocurre un aumento de la presión arterial, aceleración de la frecuencia cardíaca y respiratoria, dilatación de las pupilas, sudoración, reducción de la motilidad estomacal e intestinal y de la secreción de las glándulas intestinales.

El más alto nivel de integración del sistema nervioso autónomo en el sistema nervioso central es el hipotálamo, el que regula las glándulas endocrinas y coordina el sistema nervioso autónomo. La formación reticular también actúa en el control de la frecuencia cardíaca y respiratoria, además de la presión arterial.

Las conexiones vestibulares con el sistema nervioso autónomo permiten su activación después de estimulación laberíntica, en general asociada a la presencia de mareos y vómito. Es común que estos síntomas sean desencadenados por movimientos de aceleración de la cabeza, ya sea en navíos, barcos o automóviles, caracterizándose la llamada cinetose (dolencia del movimiento).

### Conexiones Vestibulotalamocorticales

La corteza vestibular se localiza en el lóbulo parietal, particularmente en el giro postcentral (áreas 2 y 5), recibe e integra información vestibular, visual y del sistema somatosensorial de conexiones intermediadas por el tálamo. La corteza cerebral de los lóbulos frontal y occipital (áreas 8, 18 y 19) envía impulsos que controlan los movimientos conjugados de los ojos.

Los núcleos vestibulares superior, lateral e inferior envían fibras bilateralmente para el núcleo ventral pósterolateral (incluyendo células adyacentes en el núcleo ventral pósterolateral inferior) y para el grupo nuclear posterior (próximo al cuerpo geniculado) del tálamo. Estas dos áreas talámicas poseen conexiones distintas con áreas corticales, constituyendo vías paralelas en la transmisión de la información vestibular del tronco encefálico para la corteza cerebral.

Se pueden diferenciar dos áreas corticales vestibulares. La primera, en el surco intraparietal, responde a movimientos principalmente de la cabeza y orientación espacial, presenta conexiones con otras áreas parietales relacionadas con tales funciones (áreas 5 y 7) y recibe fibras de los sistemas visual, propioceptivo y del núcleo posterior del tálamo. La segunda área, en el surco central, presenta proyecciones para la corteza motora (integración del control motor de la cabeza y del resto del cuerpo) y recibe fibras del sistema somatosensorial y del núcleo talámico ventral pósterolateral y pósterolateral inferior del tálamo.

Se supone que la proyección vestibular para la corteza del lóbulo parietal desempeña, entre otras, la función de integrar información sobre movimientos de la cabeza con aquella proveniente de los propioceptores de los músculos y articulaciones. Permite asimismo, la percepción de la posición del cuerpo y del control de sus movimientos, incluyéndose la percepción de cambios en la aceleración y del vértigo.

La estimulación eléctrica directa de las áreas corticales vestibulares provoca, por lo tanto, sensaciones de mareo, vértigo y desequilibrio.