

APORTE ESTUDIANTIL**La cara. Aspectos funcionales III – Neurofisiología. El sentido de la audición****Taymer Enrique Castro Cruz, Luis Felipe Romero Moreno, María Alejandra Valencia Fernández, Andrés Leonardo Fuentes Francia**

Estudiantes de medicina, Grupo de Trabajo Estudiantil en Morfología Vitruvio, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, Colombia.

tecastroc@unal.edu.co; lfromerom@unal.edu.co; mavalenciaf@unal.edu.co; alfuentesf@unal.edu.co**PRESENTACIÓN**

El *Grupo de Trabajo en Morfología Vitruvio* es un colectivo de estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia que desde hace algunos años ha venido preocupándose y trabajando por el estudio de la anatomía. El primer fruto de esas preocupaciones y de ese trabajo es una extensa y completa guía para el estudio de la cara, dirigida a los estudiantes de Medicina, que será publicada en varias entregas en *MORFOLIA*.

El Editor

**LA CARA. ASPECTOS FUNCIONALES III
EL SENTIDO DE LA AUDICIÓN**
El Sentido de la Audición**La membrana timpánica y el sistema de huesecillos**

El tímpano y los huesecillos conducen el sonido desde el exterior hacia la cóclea. El manubrio del martillo está fijado al centro del tímpano, punto sobre el cual, tira constantemente el musculo tensor del tímpano, manteniendo tensa dicha estructura. De igual modo, el martillo se articula con el yunque, y el extremo opuesto de este, con la cabeza del estribo, huesecillo que a su vez se comunica con el laberinto membranoso de la cóclea en la abertura de la ventana oval, empujándola

hacia adelante junto con el líquido coclear, a la llegada de las ondas sonoras. La membrana timpánica y el sistema de huesecillos proporcionan un ajuste de impedancias entre las ondas sonoras del aire y las vibraciones sonoras en el líquido de la cóclea, hecho que se explica por la anatomía de los componentes y sus contenidos. El tímpano tiene un área aproximada de 55 mm², mientras la del estribo es de 3.2 mm². Esta diferencia, hace que la fuerza total a la que está sometido el líquido coclear sea cerca de 22 veces mayor que la ejercida por las ondas sonoras que llegan a la membrana timpánica; en consecuencia se obtiene una

fuerza de empuje mayor al llegar al estribo y al poseer el líquido una inercia mayor a la del aire, se necesita una fuerza mayor para provocar la vibración del primero.

La atenuación de las ondas sonoras, ocurre gracias a la contracción de los músculos estapedio y tensor del tímpano, los cuales tiran del manubrio del martillo hacia dentro y del estribo hacia afuera, respectivamente; actuando en el momento que se transmiten sonidos fuertes a través de los huesecillos y desde él, al sistema nervioso central. Se trata de un reflejo que provoca una mayor rigidez, disminuyendo la conducción osicular de los sonidos de baja frecuencia. Este mecanismo protege la cóclea de vibraciones lesivas ocasionadas por sonidos fuertes, oculta los sonidos de baja frecuencia en un ambiente ruidoso y disminuye la sensibilidad auditiva de una persona hacia sus propias palabras.

Cóclea

La cóclea es un sistema de tres tubos, enrollados unos junto a los otros: la rampa vestibular, el conducto colear o rampa media y la rampa timpánica. El primer tubo está separado por la membrana de Reissner del segundo; y éste del tercero, por la lámina basilar, estructura sobre la cual se encuentra el órgano de Corti, el cual contiene células ciliadas sensibles a estímulos electromecánicos.

La lámina basilar, constituye un elemento importante en la resonancia de la cóclea. Consta de 20000 a 30000 fibras basilares que van desde el centro óseo de la cóclea, hacia su pared externa. La longitud de estas fibras aumenta progresivamente

desde la base de la cóclea hasta su vértice, mientras su diámetro disminuye en este mismo sentido. Por tanto, las fibras cortas y rígidas cercanas a la ventana oval vibran mejor a una frecuencia muy alta, y en contraposición, aquellas largas y flexibles próximas al extremo final de la cóclea lo hacen a frecuencias bajas.

La onda viajera en la cóclea

Cada onda es débil al principio de la transmisión, pero se refuerza cuando alcanza la porción de la lámina basilar que posee una frecuencia de resonancia natural igual a la frecuencia sonora respectiva. En este sentido, una onda sonora de alta frecuencia viaja una distancia corta a lo largo de la lámina basilar, una frecuencia intermedia atraviesa la mitad del trayecto y una de baja frecuencia recorre toda la longitud a lo largo de la membrana. Coincide esto con que la onda avance con mayor rapidez en la porción de la lámina basilar, lo que impide la mezcla de los sonidos y la distinción de ondas de alta frecuencia.

La amplitud de la vibración de la lámina basilar, varía dependiendo del desplazamiento del estribo, bien sea, hacia adentro, hacia afuera, o hacia un punto neutro. Es así como la amplitud máxima para un sonido de alta frecuencia se produce cerca de la cóclea, al contrario de la de frecuencias bajas, en las cuales esta ocurre en el extremo de la cóclea cercano al helicotrema.

Órgano de Corti

Se trata del órgano receptor que genera los impulsos nerviosos para la transmisión del sonido hacia el sistema nervioso central. Contiene las células ciliadas

externas e internas, las cuales hacen sinapsis con terminaciones nerviosas cocleares. Los cuerpos neuronales de éstas, se hallan en el ganglio espiral de Corti, sitio desde el cual viajan axones al nervio coclear.

Dichas células, se excitan siempre que vibra la lámina basal. Los estereocilios de estas células, se encuentran en contacto directo con la membrana tectoria. Cuando la fibras basilares se inclinan hacia la rampa vestibular, las células ciliadas se despolarizan, y cuando ocurre el movimiento contrario, se hiperpolarizan.

La proporción de células ciliadas externas, e internas es de 4:1. Aun así, las fibras nerviosas son estimuladas con mayor intensidad, por estas últimas. Es probable, que las células externas desempeñen un rol en el ajuste del sonido, al modular la sensibilidad de las células internas, por un mecanismo en el que fibras nerviosas retrogradadas que viajen desde el tronco del encéfalo hasta sus inmediaciones se ocupen del control de los tonos sonoros.

La cóclea contiene dos líquidos de naturaleza diferente. La perilinfa, rica en sodio, similar al líquido cefaloraquídeo, se encuentra en las rampas vestibular y timpánica. La endolinfa, por el contrario, posee una alta concentración de potasio y se halla contenida en el conducto coclear. La parte superior de las células ciliadas, queda sumergida en la endolinfa, mientras sus bases lo están en perilinfa;

esto crea un potencial endococlear elevado que incrementa la capacidad de las células para responder a sonidos muy tenues.

Determinación de la frecuencia del sonido

Cada frecuencia sonora específica activa unas neuronas concretas del encéfalo, de manera que el sistema nervioso determina el punto más estimulado a lo largo de la lámina basilar para distinguir las diferentes ondas sonoras. Se piensa que los núcleos cocleares del encéfalo, son capaces de diferenciar cada frecuencia, por similares que parezcan, por ejemplo dos sonidos frecuencias graves.

Determinación del volumen del sonido

La amplitud de la vibración en la lámina basilar y de las células ciliadas aumenta conforme lo hace el volumen sonoro, siendo las terminaciones nerviosas, estimuladas a una frecuencia más rápida. A medida que aumenta tal amplitud, son estimuladas más células ciliadas, ocurriendo así, una sumatoria espacial de los impulsos; evento que lleva finalmente a la comunicación hacia el sistema nervioso, de que el sonido es fuerte.

Las frecuencias sonoras que puede oír una persona joven están entre 20 y 20 000 ciclos por segundo, aunque esto está sujeto a las variaciones del volumen; en los ancianos, este intervalo se reduce incluso hasta llegar a ser de 50 a 8 000 ciclos por segundo.

Mecanismos auditivos centrales

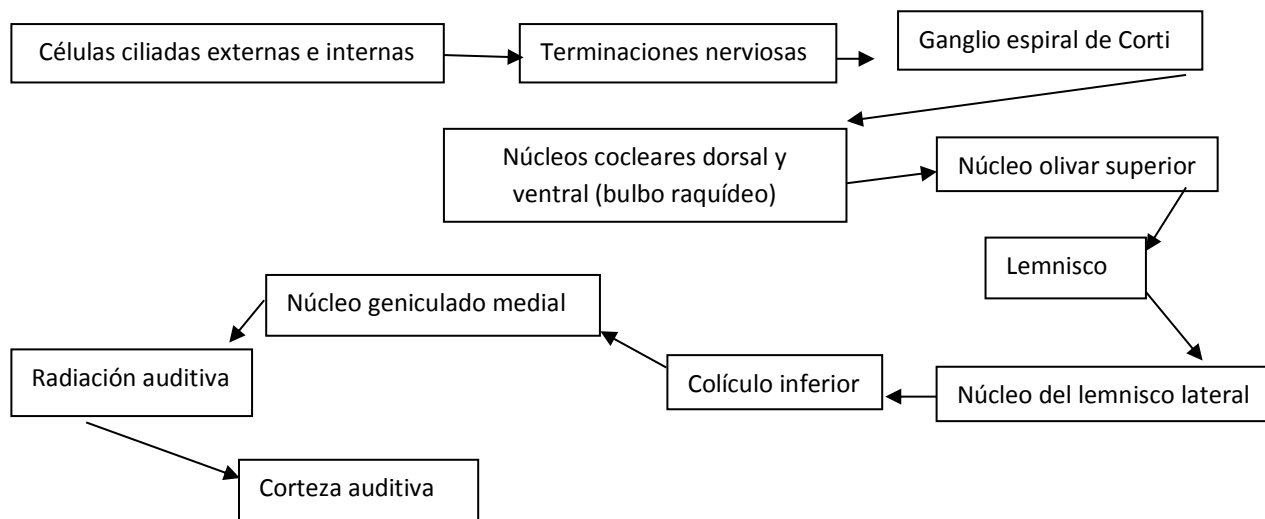


Figura No. 1. Mecanismos auditivos centrales

Las señales auditivas se proyectan sobre el plano supratemporal de la circunvolución temporal, la cara lateral del lóbulo temporal, la corteza de la ínsula, y una porción del opérculo parietal.

Los sonidos de alta frecuencia excitan las neuronas situadas en uno de los extremos de la corteza auditiva primaria, mientras los de baja frecuencia excitan aquellas ubicadas en el extremo opuesto. Estos últimos suelen ocupar una zona anterior.

La inhibición lateral, un fenómeno que facilita la transmisión de la información a través de los nervios, permite que la gran mayoría de neuronas sensibles al sonido sólo respondan a una reducida gama de frecuencias en vez de a un amplio abanico.

La corteza auditiva juega un rol importante en la distinción de los patrones de sonido tonales o secuenciales. Si se destruyen las cortezas auditivas en el

ser humano, disminuye significativamente la sensibilidad al sonido; su desaparición unilateral, sólo disminuye esta capacidad en el oído del lado opuesto, pero no genera sordera, aunque sí se presentan dificultades para la localización del sonido, debido a que es necesaria la comparación de señales por ambas cortezas.

La lesión de la corteza auditiva secundaria, lleva a dificultad para la interpretación de lo escuchado, aunque exista una audición y repetición perfectas.

Determinación de la proveniencia del sonido

Esta determinación se hace a través de dos medios: el lapso de tiempo que pasa entre la llegada del sonido a un oído y el opuesto; y la diferencia entre intensidades de los sonidos en los dos oídos. Estos mecanismos no permiten conocer si el

sonido llega desde delante, desde atrás, desde arriba o desde abajo.

Alteraciones de la audición

Sordera nerviosa: ocurre cuando se han afectado la cóclea o el nervio coclear, de manera que la persona sufre una sordera permanente.

Sordera de conducción: ocurre por la afectación de las estructuras físicas del oído, encargadas de conducir el sonido desde el exterior hacia la cóclea (sistema tímpano- huesecillos). Con frecuencia es debida a la fibrosis de las estructuras, por

repetidas infecciones o como resultado de una enfermedad hereditaria, como la otoesclerosis.

Para evaluar estas patologías, se usa el audímetro, un instrumento que consta de un audífono conectado a un oscilador electrónico capaz de producir sonidos puros con frecuencias desde las más bajas hasta las más altas; y de un vibrador mecánico para evaluar la conducción ósea desde la apófisis mastoides del cráneo hasta la cóclea.

SENSACIONES VESTIBULARES Y MANTENIMIENTO DEL EQUILIBRIO

Aparato vestibular

Es el que permite la detección de la sensación del equilibrio.

Se halla en la porción petrosa del hueso temporal (laberinto óseo). Dentro de este sistema se encuentra el laberinto membranoso, su componente funcional; el cual consta de la cóclea, tres conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo.

Las máculas, constituyen los órganos sensitivos del utrículo y el sáculo para determinar la posición de la cabeza con respecto a la gravedad. La mácula del utrículo está en el plano horizontal de la superficie inferior del utrículo, determinando la orientación de la cabeza cuando ésta se encuentra en posición vertical; y la del sáculo, al estar situada en el plano vertical, informa acerca de la orientación de la cabeza cuando esta está en posición horizontal. En la capa gelatinosa que cubre cada mácula, se

encuentran unos cristales de carbonato cálcico llamados otolitos, los cuales doblan los estereocilios de las células pilosas en dirección de la fuerza de gravedad, siendo transmitida esta información a través de las terminaciones del nervio vestibular que están en contacto con estas células lateral y basalmente.

En cada macula, todas las células pilosas están orientadas en forma diferente de modo tal que un grupo de ellas es estimulado dependiendo de la inclinación de la cabeza. Estas células pilosas, poseen una citoestructura particular que permite su despolarización e hiperpolarización. Cada una de ellas posee un grupo de estereocilios, que van haciéndose más cortos en dirección hacia el lado opuesto de la célula; y uno grande, el cinetocilio; el cual se sitúa al lado del estereocilio de mayor tamaño; todos ellos conectados entre sí por diminutos filamentos.

Conductos semicirculares

Se denominan conductos semicirculares anterior, posterior y lateral, los cuales entre sí mantienen una posición perpendicular, representando así, los tres planos del espacio. Cada conducto posee una dilatación o ampolla llenos de endolinfa, cuyo flujo excita el órgano sensitivo por el mecanismo que se describe a continuación.

En cada ampolla se halla una cresta ampular o acústica, que tiene en su parte superior una masa gelatinosa, llamada cúpula, que se inclina hacia un lado u otro dependiendo de la rotación de la cabeza; así, cuando la cabeza gira en un sentido, la inercia del líquido en un conducto semicircular o en varios, hace que permanezca inmóvil mientras gira el conducto que lo aloja arrastrado por la cabeza. Al interior de la cúpula se encuentran cilios de células pilosas situadas en la cresta ampular. Todos los cinetocilios están orientados en la misma dirección dentro de la cúpula y la inclinación de la misma en esa dirección despolariza las células pilosas, mientras su inclinación hacia el lado contrario, provoca su hiperpolarización.

Con cada posición que adopta la cabeza varía el grupo de células pilosas estimuladas; así mismo, los sistemas

nerviosos motores vestibular, cerebeloso y reticular del encéfalo, activan los músculos posturales para mantener el equilibrio. Las maculas también participan en la conservación del equilibrio durante la aceleración lineal, tal como lo hacen durante el equilibrio estático; sin embargo, no participan en la detección de la velocidad lineal.

Aunque la cúpula esté en reposo, la célula pilosa emite una descarga tónica, que varía al haber rotación por la inclinación de los cilios hacia un lado, acelerándose en consecuencia las descargas. Aun así, a medida que la rotación continua, dichas descargas decaen progresivamente hasta llegar al nivel de reposo.

Los receptores articulares del cuello proporcionan información importante para conservar el equilibrio, pues dan noción de su orientación respecto al cuerpo; evitando que la persona perciba sensaciones de desequilibrio cuando inclina la cabeza en una dirección determinada. De igual modo, la información exterosensible (como la presión del aire), resulta importante para conservar el equilibrio durante el movimiento; así como también lo es, aquella propioceptible (proveniente de otras porciones corporales), como las sensaciones de presión originadas en las plantas de pies.

Vía principal para los reflejos del equilibrio

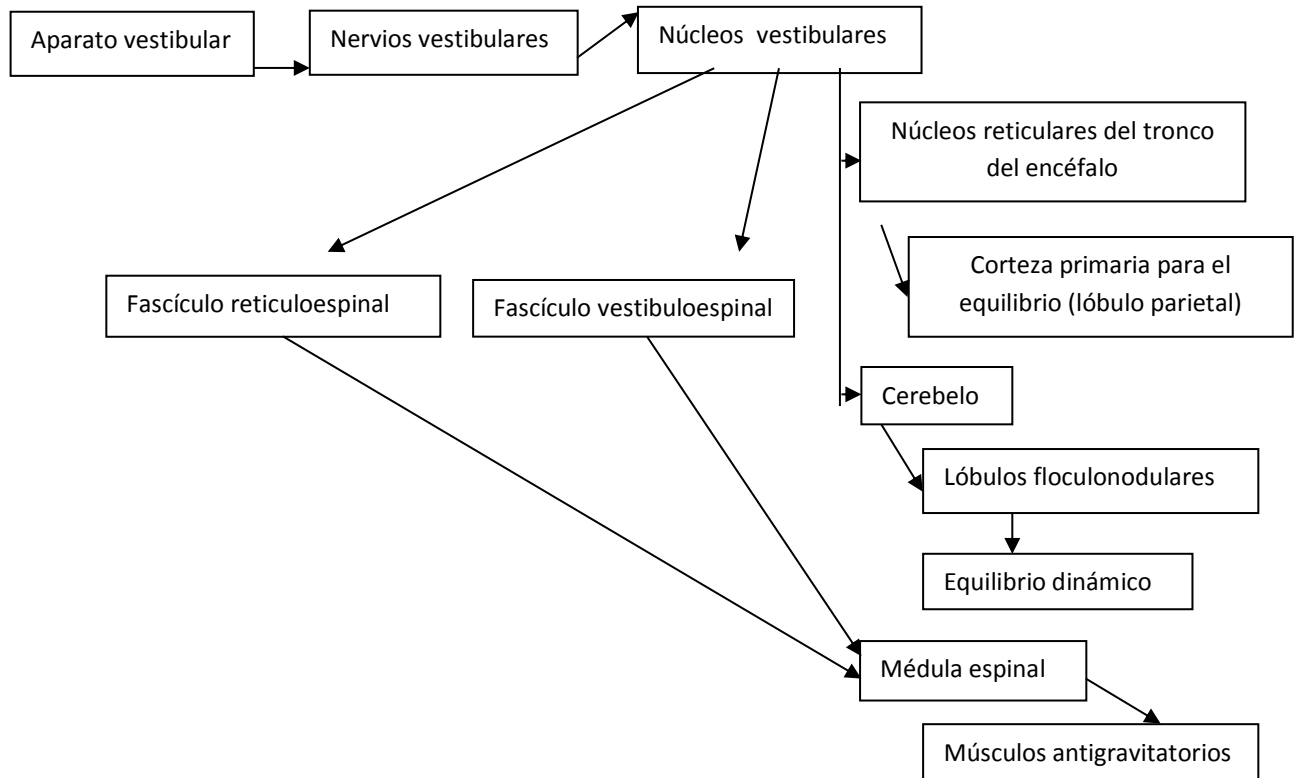


Figura No. 2. Vía principal para los reflejos del equilibrio

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artículos:

Lindemann, B. Receptors and transduction in taste, *Nature*, Vol. 413, pp. 219-225, 2001.

Van der Bilt, A.; et. al. Oral physiology and mastication, *Physiology & Behavior*, Vol. 89, No. 1, pp. 22-27, 2006.

Libros:

Purves, D.; et. al. "Sentidos Químicos" En: *Neurociencia*. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Madrid, España, cap.14, pp. 369-403, 2007.

Geneser, F. “Aparato Digestivo” en: Histología. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, cap. 18, pp. 466-75, 2000.

Geneser, F. “Aparato Respiratorio” en: Histología. 3ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, cap. 19, pp. 535-37, 2000.

Guyton, A.; Hall, J. “Los sentidos químicos: gusto y olfato” en: Tratado de fisiología médica. 11ª Edición. Elsevier, Madrid, España, cap. 53, pp. 663-70, 2006.
