

## CAPÍTULO 21: AUDICIÓN Y EQUILIBRIO

### El Oído

#### **Anatomía del oído**

La conversión del sonido en sensaciones auditivas se realiza en el oído. El oído se encuentra inserto en los huesos temporales del cráneo y en él se pueden diferenciar claramente tres partes: el oído externo, el oído medio y el oído interno.

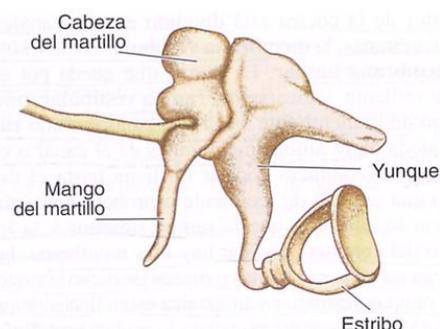
#### *El oído Externo*

El **oído externo** esta formado por la oreja y el meato auditivo (interviene como mecanismo amplificador y en los procesos de localización de la procedencia del sonido), es la cavidad o canal más o menos cilíndrico que discurre entre el exterior y el tímpano. El canal recibe el nombre de **meato auditivo externo**. Este canal termina en el **tímpano**, (especie de membrana de tambor que lo cierra por completo) (Fig. 21.1)

#### *El oído Medio*

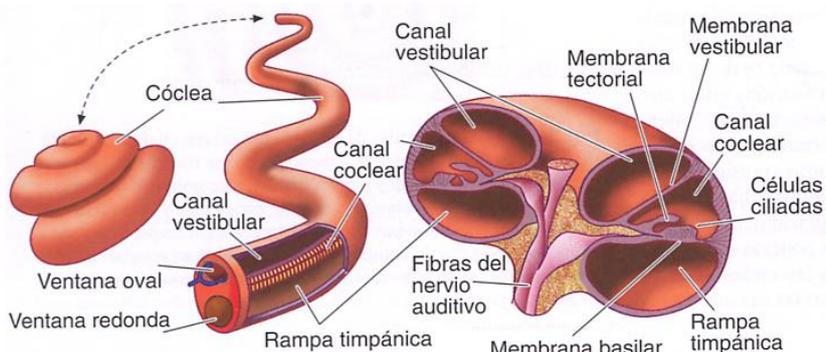
El **oído medio** formado por el **tímpano** y la **cadena de huesecillos**, cuya función es transformar las vibraciones del aire en vibraciones del líquido coclear (aparte de amplificar la fuerza de las ondas sonoras, paso previo); es la porción del hueco o canal auditivo comprendida **entre el tímpano y la cóclea**, conectando entre estas dos se encuentran tres huesecillos, el **martillo**, el **yunque** y el **estribo**. (Fig. 21.2)

El martillo esta unido al tímpano. El estribo lo está a la membrana que obtura el canal vestibular de la cóclea, conocida como **ventana oval**. La **ventana redonda** cierra el canal timpánico de la cóclea. Además el yunque y el martillo se mantienen en su posición merced a otros ligamentos que los fijan por arriba del hueso craneal. Asociado al martillo se encuentra *el músculo tensor del tímpano*. La *trompa de Eustaquio* es un canal que conecta el oído medio con la parte más posterior de la cavidad bucal. (Fig. 21.2)



#### *El oído interno*

El **oído interno** esta formado por la **cóclea o caracol** y por el **aparato vestibular**, también conocido como laberinto. La **cóclea** es una estructura ósea en cuyo interior se encuentra el órgano responsable de la audición. (Fig. 21.3) (Es ahí donde tiene lugar el proceso de transducción, donde estimulación sonora es transformada en impulsos nerviosos.)



El hueco interior de la cóclea está dividido en tres canales o rampas, separados por la membrana vestibular (o de Reissner), la de arriba y la membrana basilar.

La rampa que queda por encima de la membrana vestibular se llama rampa vestibular, la que queda por debajo de la membrana basilar se llama rampa timpánica; el canal que queda entre ambas membranas es el canal o conducto coclear o rampa media. La rampa inferior y superior se encuentran comunicadas. Dentro del conducto coclear se encuentra la membrana tectorial (sólo llega hasta mas o menos la mitad de dicho conducto) y cubre el órgano de Corti.

Las rampas vestibular y timpánica están llenas de un líquido llamado perilinfa.

El conducto coclear esta lleno de un líquido llamado endolinfa (Fig. 21.1)

La cóclea es un recipiente cerrado ya que la rampa vestibular esta bloqueada en su salida al oído medio por una membrana, la ventana oval. La rampa timpánica termina en otra membrana llamada ventana redonda.

Las células ciliadas son las células especializadas en la trasducción de los estímulos acústicos, éstas se encuentran dentro del conducto coclear, sobre la membrana basilar y formando parte del órgano de Corti. (Fig. 21.4) Éste tapiza prácticamente toda la membrana basilar desde la ventana oval hasta el helicotrema, que es el hueco que comunica las rampas superior e inferior.

## Mecanismos de la Audición

### *De las ondas Sonoras a la Vibración de la Membrana Basilar*

La trasducción auditiva es el resultado del efecto de las ondas sonoras sobre las células ciliadas. La onda sonora, en su recorrido hasta la cóclea, tiene que pasar por el meato auditivo.

En su desplazamiento hacia el interior del oído, la onda sonora "tropieza" con la membrana timpánica. Las variaciones de presión de la onda sonora se transmiten al tímpano que, como consecuencia, empieza a vibrar con una frecuencia y una amplitud proporcional a la frecuencia e intensidad de la onda sonora que llega. En realidad, el tímpano (y la cadena de huesecillos del oído medio) es una adaptación específica para captar las ondas sonoras que viajan a través del aire. (La pérdida de sonido que se da en el paso de la onda sonora del aire al agua es de unos 30dB). El tímpano y la cadena de huesecillos que conectan el sonido (a través de la ventana oval) con la cóclea constituyen el sistema de amplificación que permite que las ondas sonoras de tipo aéreo se transmitan a un medio líquido sin apenas pérdida, ello se consigue gracias a la interacción de 2 factores: 1) la cadena de huesecillos actúa como un sistema de palancas que hace que la vibración del tímpano aumente su fuerza y reduzca su amplitud al llegar a la ventana oval y 2) el hecho de que el tímpano tenga una superficie de alrededor 70 mm<sup>2</sup>, (más grande que la ventana oval) determina que la fuerza de la vibración de ésta se vea multiplicada. Ambos factores permiten conseguir un incremento en la presión de la onda sonora que afecta a la ventana oval, con lo que se recupera casi por completo la pérdida natural de intensidad por el paso de la vibración de un medio aéreo a un medio líquido.

Cuando las ondas sonoras llegan a la ventana oval sus vibraciones se transmiten a la perilinfa recorriendo la rampa vestibular de la cóclea y, de retorno hasta la ventana redonda, también la ventana timpánica. Como el líquido coclear no se puede comprimir, cada vez que la ventana oval oscila hacia dentro de la cóclea aumenta la presión del líquido y cuando oscila hacia fuera se reduce dicha presión: lo que significa que la onda sonora se ha transformado en la cóclea en una onda de presión que recorre la perilinfa líquida. (Fig. 21.1) La vibración de la perilinfa afecta a las dos membranas que delimitan la rampa media o conducto coclear, la membrana de Reissner o vestibular por arriba y la membrana basilar por abajo: ambas sufren una deflexión (Fig. 21.5). La deflexión de la membrana basilar va a ser determinante en el proceso de transducción auditiva, porque el órgano de Corti se encuentra recubriendo la superficie superior de esta membrana: la incurvación de la membrana basilar por la acción de la vibración de la perilinfa afecta directamente al órgano de Corti.

#### *El Efecto de la Vibración de la Membrana Basilar sobre las células Ciliadas*

Cuando la membrana basilar se curva, las células ciliadas se curvan paralelamente. **Los estereocilios** (las vellosidades que poseen las células ciliadas en su parte superior) están en contacto y embebidos en la membrana tectorial, por lo que al incurvarse la membrana basilar sufren un desplazamiento en su base pero no en la zona de contacto con la membrana tectorial: esto hace que los estereocilios se arqueen más o menos en función de la amplitud de la incurvación de la membrana basilar (Fig. 21.5). La inclinación de los estereocilios hacia un lado hace que se abran determinados canales iónicos de las células ciliadas, lo que ocasiona una corriente de iones positivos (cationes), iones de potasio  $K^+$ , hacia el interior de las células, de lo que resulta su despolarización. La propia despolarización genera automáticamente un proceso de hiperpolarización, al activar la apertura de canales de  $K^+$  que determinan la salida de estos iones al exterior (Fig. 21.6) La endolinfa se caracteriza por poseer una concentración de potasio  $K^+$  mucho mayor que el interior celular y también que la perilinfa (entre las células ciliadas y la perilinfa existe una diferencia de potencial de  $-60mV$  pero entre ellas y la endolinfa esta diferencia de potencial es de  $-140mV$ . Entre la perilinfa y la endolinfa hay una diferencia de  $-80mV$ , el llamado **potencial endococlear**, cuyo significado funcional parece ser facilitar los cambios de potencial de las células ciliadas (Fig. 21.6). En realidad, solo las células ciliadas **externas** se despolarizan e hiperpolarizan de la manera descrita. Las **internas** tienen muchos menos estereocilios, y *no están insertos en la membrana tectorial*; su estimulación es diferente a la descrita para las células ciliadas externas: lo más probable es que sus cilios se vean afectados principalmente por el movimiento de la endolinfa y de la membrana basilar.

#### *De cómo los Cambios de Potencial de las Células Ciliadas produce cambios Eléctricos en el Nervio Auditivo*

Las células Ciliadas hacen sinapsis con las neuronas del nervio auditivo, éstas al despolarizarse, liberan cierto neurotransmisor (posiblemente glutamato), responsable de la despolarización de las neuronas auditivas. Las células ciliadas

internas son el principal canal de la sensación auditiva, mientras que las células ciliadas externas tendrían una función moduladora o amplificadora. (Fig. 21.7). Aunque las fibras auditivas están recubiertas de mielina, ésta desaparece en las zonas de contacto con las células ciliadas. Las fibras auditivas establecen una primera sinapsis con las neuronas de los subnúcleos, dorsal u ventral, que forman en núcleo coclear.

### La codificación Neural del Sonido

El sonido determina la actividad de las neuronas auditivas del par VIII.

#### *Codificación Nerviosa de la Frecuencia Sonora*

Los sonidos generan en la perilinfa una onda de presión que afecta a la membrana basilar: su efecto sobre la membrana basilar depende de las características de una onda de presión determinadas por la frecuencia y la intensidad de la onda sonora que la originó. La membrana basilar es cinco veces más ancha en su extremo distal (500 micras) que en su parte más próxima al oído medio (100 micras) (Fig. 21.8A)

Helmholtz propuso la hipótesis de la **teoría del arpa**, en la cual se decía que cada fibra resonaría ante una frecuencia determinada; las fibras más cortas lo harían **ante frecuencias altas** y las más largas resonarían cuando **la frecuencia sonora fuera más baja**. Según ésta **teoría de la resonancia**, cada frecuencia sonora afectaría a las fibras de una zona concreta de la membrana basilar que, a su vez, afectarían a las células ciliadas que ocupan determinada zona.

No es cierta toda esta teoría, sin embargo en la **teoría tonotópica**, la codificación de la frecuencia sonora se lleva a cabo según un principio de lugar: hay una correspondencia estricta entre un determinado sonido y la zona de la membrana basilar que sufre la máxima incurvación; además, como propuso Helmholtz, los sonidos agudos (frecuencias altas) hacen que esta zona de máxima incurvación esté próxima a la ventana oval y, a medida que los sonidos se van agravando, hacen que la zona de máxima incurvación se vaya alejando. (Fig. 21.8B). Es la incurvación de la membrana basilar lo que determina la despolarización de las células ciliadas, o dicho de otra manera, la despolarización es el resultado de la inclinación de los cilios, y se produce porque esa inclinación provoca la entrada de iones de potasio  $K^+$  en las células ciliadas; al despolarizarse, éstas células liberan neurotransmisor en la sinapsis que establecen con las neuronas auditivas del par VIII.

La intensidad del sonido determina el que la onda de presión que sufre la perilinfa sea lo suficientemente grande como para afectar a las células ciliadas internas; y cuando más intenso sea un sonido mayor será la amplitud de la incurvación de la membrana basilar, con lo que también será mayor el número de células ciliadas que se despolarizan, además de que el potencial del receptor será más amplio. La enorme capacidad discriminatoria del oído se basa en la Inhibición lateral (entre otras cosas).

La teoría tonotópica es capaz de explicar la codificación de toda la gama de frecuencias a las que el ser humano es sensible (20 - 20000Hz). Pero no es la

única posible, también se ha propuesto la **teoría de la frecuencia de impulsos**, en la que la codificación auditiva del tono se logra gracias a que la membrana basilar vibra de modo global reproduciendo la vibración sonora; en ella la frecuencia de despolarización de las neuronas auditivas correlacionaría con la frecuencia del sonido. De hecho cada neurona auditiva es especialmente sensible a la **frecuencia característica**, los sonidos de una frecuencia determinada; lo que significa que una neurona auditiva concreta responderá a sonidos de muy poca intensidad si su frecuencia es apropiada, mientras que para esa misma neurona responde a sonidos de otras frecuencias hará falta que la intensidad sea superior (Fig. 21.9) La principal crítica a esta teoría es que una única neurona no puede producir más de 1000 potenciales de acción por segundo, no es posible que una neurona puede codificar frecuencias de onda superiores al KHz; no obstante es posible que varias neuronas auditivas respondan coordinadamente en sincronía con la frecuencia del estímulo sonoro, despolarizándose sucesivamente cuando la frecuencia es mayor a 1000Hz (Fig. 21.10)

Ambos principios de codificación, **el tonotópico** y **el de frecuencia**, coexisten, los **tonotópicos** explican la codificación de sonidos por encima de **los 3000Hz**, mientras que los sonidos por debajo de los **50Hz** dependen de la **frecuencia** de disparo para su codificación; para las frecuencias entre **50Hz y 3000Hz**, parece ser que se combinan **ambas estrategias**.

### Vías y Núcleos Nerviosos Auditivos

Los cuerpos celulares que sustentan las fibras aferentes de tipo bipolar integrantes del nervio auditivo par VIII se encuentran en el **ganglio espiral** ubicado dentro del hueso central de la cóclea. Las fibras auditivas aferentes entran en el encéfalo a la altura del pedúnculo cerebral inferior, contactando con las neuronas del **núcleo coclear** ipsilateral (en el que se distinguen dos partes, la ventral y la dorsal) (Fig. 21.11) Por lo tanto, el núcleo coclear recibe las aferencias del nervio auditivo y presenta una organización tonotópica paralela a la membrana basilar, según la cual existe una correspondencia (relativa) entre el punto de procedencia de una fibra auditiva y la zona del núcleo coclear donde hace sinapsis (esta organización tonotópica se mantiene hasta la corteza de proyección sensorial auditiva). A partir del núcleo coclear la información auditiva va a diferentes puntos del SNC, bien vía los núcleos de la **oliva**, sobre el **colículo inferior** (*tubérculo cuadrigémino* inferior), vía lemnisco lateral; esta deja colaterales sobre el núcleo del lemnisco lateral; del núcleo ventral salen los axones que, formando los **cuerpos** trapezoides, proyectan ipsi - y contralateralmente sobre los **complejos** olivares troncoencefálicos, algunos terminan vía lemnisco lateral, en el colículo inferior contralateral. El complejo olivar proyecta (a través del lemnisco lateral) sobre el colículo inferior y el núcleo lemniscal. El colículo inferior envía sus axones (ipsi y contra) al núcleo geniculado medial del tálamo, así como al colículo inferior del otro lado sobre la formación reticular. Finalmente, el último relevo es el que lleva la información auditiva a la corteza cerebral auditiva primaria, cortex auditivo, dentro del

lóbulo temporal. Hasta el colículo llegan aferencias directas e indirectas, procedentes de los núcleos de relevo anteriores, pero cuya información procede del núcleo coclear (Fig. 21. 11)

### Funciones del Oído

El mayor interés de la transducción sonora es transformar el sonido en información significativa para el oyente. En el caso de la especie humana, el lenguaje hablado constituye un código basado en signos acústicos.

La captación de sonidos de nuestro entorno permite a menudo extraer información relevante desde el punto de vista biológico (Presencia de presas, de depredadores, de peligros, de recursos, etc.)

Los mecanismos sensoriales que permiten explicar el tipo más sencillo de percepción auditiva se basan en el hecho de que disponemos dos oídos y que cada uno capta diferentes frecuencias, uno es eficaz cuando la frecuencia del sonido es baja (de hasta 3000Hz; otros hablan de 1400Hz.) y se sirve del principio de que lo más probable es que la onda sonora continua que llega a uno de los oídos penetra en él en distinta fase de lo que hace en el otro, lo que significa que hay diferencias entre los oídos en la concentración y la rarefacción del aire, o dicho de otra manera, esta diferencia de fase hace que el tímpano de un oído se desplace hacia el interior del oído (Concentración), mientras que el tímpano del otro oído lo hace hacia el exterior (Rarefacción).

La teoría de codificación de la frecuencia de impulsos decía que cada neurona responde en una determinada fase de la onda: la clave la da el que una neurona de uno de los oídos responda y la correspondiente del otro lo haga más tarde, lo que se conoce como **Cierre de Fase**.

El segundo mecanismo, conocido como **diferencia de intensidad interaural** se basa en que cuando las ondas sonoras tienen frecuencias cuya longitud de onda es menor que el tamaño de la cabeza, esta actúa como una barrera de sonido, lo que determina la intensidad que llega al oído más alejado sea menor que la del cercano.

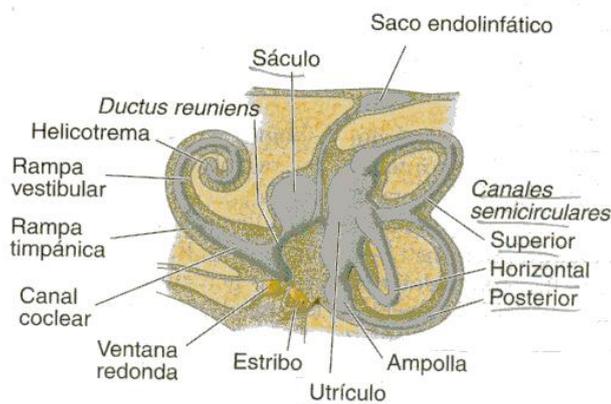
Se ha podido comprobar en humanos y otras especies de mamíferos, que las lesiones en la corteza auditiva de ambos lados del cerebro predicen la casi total pérdida de la capacidad de detectar la procedencia de los estímulos sonoros. (Cuadro 21.2) (Resumen Pág. 896)

### El sentido del equilibrio: el sistema vestibular

Estamos acostumbrados a movernos coordinadamente y ello se hace de un modo automático e inconsciente. Las funciones del sentido del equilibrio son, mantener el cuerpo equilibrado, coordinar los movimientos de la cabeza y del cuerpo y mantener fijos los ojos en un punto del espacio incluso aunque estemos moviendo la cabeza. El equilibrio se encuentra en el interior del *laberinto óseo*. El órgano del equilibrio posee una estructura "tridimensional" paralela al espacio tridimensional en el que nos movemos.

## Estructura del Aparato Vestibular

El órgano del equilibrio o **aparato vestibular** se encuentra en el interior del **laberinto óseo**, conjunto de cavidades ubicadas en la porción petrosa del hueso temporal. (Fig. 21.12) Inserto dentro de estas cavidades del hueso se encuentra el llamado **laberinto membranoso**, formado por láminas epiteliales. El interior de éste laberinto está lleno de **endolinfa**, y el exterior contiene **perilinf**a, en el espacio que queda entre el hueso y la cara externa del laberinto membranoso. La división vestibular del laberinto membranoso consta de dos tipos de estructuras: 1) los tres **canales semicirculares** y 2) los dos **órganos otolíticos**, especie de bolsas conocidas como **utrículo** y **sáculo** (Fig. 21.13). Los tres canales semicirculares terminan en uno de sus extremos en un pequeño abultamiento, o **ampolla** (Fig. 21.14) antes de juntarse con el utrículo. Dentro de la ampolla se encuentra la **cresta ampular** (Fig. 21.15) un engrosamiento del tejido epitelial en cuya parte superior se encuentran las **células ciliadas vestibulares** (sensoriales). La cresta ampular está cubierta por una especie de diafragma gelatinoso que la fija al techo de la ampolla: la **cúpula**.



El **utrículo** y el **sáculo** también poseen una zona especial, la **mácula**, donde se encuentran las **células ciliadas**. Tanto la **mácula del utrículo** como la del **sáculo** están cubiertas de un tejido gelatinoso, que contiene cristales de carbonato cálcico, los **otolitos** o **estatoconias** (Fig. 21.16) Cuando estamos en posición vertical, la **mácula del utrículo** se encuentra en un plano **horizontal**, mientras que la del **sáculo** queda en un plano prácticamente vertical (Fig. 21.17)

## Las células Ciliadas y la Trasducción mecánica

### Las Células Ciliadas

Las **células ciliadas vestibulares** son algo diferentes a las auditivas: sus **estereocilios** están dispuestos en orden decreciente a partir del primero, el **kinocilio** (el más grande y fuerte); los cilios cubren una superficie con forma de punta de flecha cuyo vértice está ocupado por el kinocilio. Dentro de cada área de células ciliadas, los cilios presentan la misma orientación direccional con el kinocilio siempre en el mismo extremo: la dirección así marcada se conoce como **eje de polarización**. (Figs. 21.17 y 21.18).

Los estereocilios de los canales semicirculares se insertan en la **cúpula**, mientras que los de los órganos otolíticos, utrículo y sáculo, lo hacen sobre la **membrana gelatinosa otolítica** (Figs. 21.15 y 21.16). En el extremo inferior cada célula ciliada está en contacto sináptico con las ramificaciones de una única célula ganglionar vestibular. También hace sinapsis con terminales eferentes de diferentes neuronas (Fig. 21.16B) procedentes del tronco del encéfalo.

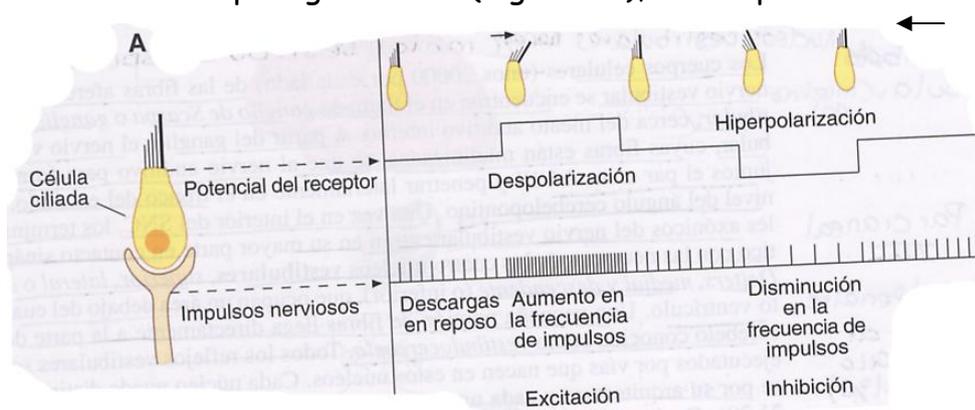
Las células ciliadas liberan una cierta cantidad de neurotransmisor, aun cuando estén en reposo. Cuando el haz de cilios se inclina hacia el kinocilio, se produce una despolarización de la célula y, por ello, un aumento en la cantidad de neurotransmisor que se libera. Cuando la inclinación de los cilios se hace en sentido contrario, se produce hiperpolarización y reducción de la cantidad de neurotransmisor liberado. A más neurotransmisor liberado mayor tasa de disparo de las fibras sensoriales aferentes y viceversa. Cuando la inclinación de los cilios no sigue el eje de polaridad no tiene efecto sobre la distribución de cargas eléctricas (iones) dentro y fuera de la célula ciliada.

### La Transducción Mecánica

¿Cuáles son los estímulos naturales que provocan la inclinación de los cilios de las células ciliadas según su eje de polaridad?

Los cilios están embebidos en la cúpula gelatinosa (Fig. 21.15), una especie de membrana elástica.

El laberinto membranoso esta lleno de líquido, la endolinfa. Cuando movemos la cabeza de derecha a izquierda (Fig. 21.19B) la endolinfa "cae hacia atrás",



como cuando arrancamos bruscamente, lo que hace que presione sobre la cúpula gelatinosa embebida en la cual se encuentran las células ciliadas, provocando la inclinación de sus cilios. Sabiendo que el eje de polarización de los receptores sensoriales de los canales horizontales está orientado hacia el utrículo, debemos comprender que el movimiento de derecha a izquierda ocasiona despolarización de las células ciliadas del canal izquierdo, estimulando la actividad del nervio vestibular. Por el contrario, en el canal derecho este mismo movimiento da lugar a la hiperpolarización de los receptores del canal debido a que la inclinación de sus cilios se inicia en el kinocilio (Fig. 21.19A). Así pues, cuando movemos la cabeza para decir que no, nuestro cerebro recibe simultáneamente información de ambos lados a través del nervio vestibular (parVIII), consistente en un aumento en la frecuencia de impulsos procedente de un lado y una reducción en la del lado opuesto. *Los canales semicirculares son sensibles a los movimientos de inclinación de la cabeza y el estímulo es la aceleración angular o rotacional de la cabeza con respecto a cualquiera de los tres ejes.* Los canales semicirculares tienen una función dinámica, ya que no hay fuerzas angulares estáticas que afecten a la cabeza.

La transducción sensorial que se realiza en las máculas del utrículo y del sáculo es diferente, (aunque la estimulación de las células ciliadas también se produce por inclinación de los cilios según su eje de polaridad): la fuerza que hace inclinarse a los cilios es la inercia que produce el desplazamiento tangencial de la

membrana otolítica con respecto a la capa de las células ciliadas, efecto que se amplifica debido a que los otolitos son más densos que la propia membrana. Otra diferencia con respecto a la cresta ampular de los canales semicirculares es que el eje de polaridad de los receptores del utrículo y del sáculo no siempre es el mismo, sino que se orientan hacia una línea curva, la **estriola**, que divide ambas máculas en dos (Fig. 21.17). La gama de ejes de polaridad del utrículo hace que la inclinación de la membrana otolítica en cualquier dirección provoque casi siempre despolarización e hiperpolarización en alguna de sus células receptoras. El sistema nervioso cuenta en todo momento con información relativa a la posición de la cabeza, imprescindible para la orientación de la misma respecto a la gravedad.

*El utrículo y el sáculo pueden reaccionar frente a cualquier inclinación estática o deceleración lineal de la cabeza, sean consecuencia del propio movimiento o de la gravedad. Se dice que tienen una **función estática** porque proporcionan información acerca de la posición de la cabeza en el espacio (aspecto clave para el control de la postura), y también se dice que tienen una **función dinámica** porque también se ven afectados por la aceleración que comparten con los canales semicirculares.*

### Vías y Centros Vestibulares

Los cuerpos celulares de las fibras aferentes del nervio vestibular se encuentran en el llamado *ganglio Scarpa o ganglio vestibular* (cerca del meato auditivo interno). A partir del ganglio, el nervio vestibular, cuyas fibras están mielinizadas, se une al nervio auditivo para juntos forma el par craneal VIII y penetrar lateralmente en el tronco del encéfalo, a nivel del ángulo cerebelopontino. Una vez en el interior del SNC, los terminales axónicos del nervio vestibular entran en contacto sináptico con las neuronas de los **núcleos vestibulares** (*superior, lateral o de Dieter's, medial y descendente o inferior*, que ocupan un área debajo del IV ventrículo. Una pequeña porción de fibras llega directamente a la parte del cerebelo conocida como **vestibulocerebelo**. Cada núcleo puede distinguirse por su arquitectura y cada uno posee un tipo diferente de conexiones (Fig. 21.20) De los núcleos vestibulares nacen dos **tractos vestibuloespinales**, el lateral y el medial. La proyección hacia los *núcleos motores extraoculares* (pares III, IV, VI) nace en los núcleos vestibulares superior y medial.

### Reflejos Vestibulares: Funciones del Sistema Vestibular

La función del sistema vestibular solo se hace patente cuando funciona defectuosamente, cuando hacemos consciente "que perdemos el equilibrio". El mareo, la tendencia a perder el equilibrio cuando hemos girado muchas veces, etc. se debe a que el líquido que estimula las células ciliadas de los canales semicirculares sigue la fuerza de su inercia cuando ya el cuerpo se ha parado. Lo que significa que continúa habiendo estimulación sensorial contradictoria con las fuerzas de la gravedad reales: estando ya quietos, la endolinfa sigue presionando

sobre las crestas ampulares, así que el andar vacilante se debe a los esfuerzos que hacemos por corregir nuestra postura siguiendo las informaciones (ahora erróneas) de nuestros propios canales semicirculares). Por lo tanto tiene por función regular la posición del cuerpo respecto a la gravedad, pero además también, interviene en la coordinación de una serie de reflejos funcionalmente esenciales: los vestibulooculares y los vestibuloespinales.

### *Los reflejos Vestibulooculares*

Los **reflejos vestibulooculares**, son dos, el **crestoocular** y el **maculoocular**, según el estímulo proceda de las crestas ampulares o de las máculas del utrículo y del sáculo, tienen como vía final común los seis músculos extraoculares de cada ojo, cuyo control neural lo llevan a cabo los pares craneales III, IV y VI. La función de estos dos reflejos es mantener una imagen estable en la retina a pesar de que el cuerpo y la cabeza estén en movimiento. El **sistema crestoocular** (interviene en el reflejo rotacional vestibuloocular) se ocupa de contrarrestar el efecto de los giros de la cabeza haciendo que los ojos giren en sentido opuesto en la misma proporción. Responde con precisión a la velocidad de desplazamiento de la cabeza sea cual sea el plano en el que se produzca. El **reflejo maculoocular** (u otolítico) regula los movimientos oculares en respuesta a los desplazamientos lineales de la misma con respecto a la gravedad, tanto durante el proceso de desplazamiento como en el momento en el que la cabeza permanece fija. Lo que nos permite seguir viendo adecuadamente a pesar de que estemos en movimiento (al andar, correr,...).

### *Reflejos Vestibuloespinales*

Pueden distinguirse **dos reflejos vestibuloespinales**, el **vestibulocólico** y el **que involucra al torso y a las extremidades**. Ambos están mediados por los tractos *vestibuloespinal medial* (TVEM) y *lateral* (TVEL). En ambos casos el estímulo proviene de los órganos otolíticos u de los canales semicirculares, y en ambos su función es regular el movimiento de la cabeza, el enderezamiento, el equilibrio y la locomoción coordinada, por lo que su órgano efector son los músculos del cuello, del tronco y de las extremidades. Concretamente el vestibulocólico persigue mantener estacionaria la cabeza. Cuando se lesiona el sistema vestibular, los animales sufren un balanceo o movimiento peduncular involuntario de la cabeza que puede durar meses. La lesión unilateral del aparato vestibular provoca una inclinación de la cabeza y del cuerpo hacia el lado lesionado en un intento aparente de reequilibrar el cuerpo (Fig. 21.19B). **El reflejo vestibular que regula las extremidades y el tronco** responde ante inclinaciones del cuerpo, Ej.: cuando se coloca a un animal o persona en una plataforma y esta se inclina, se reacciona extendiendo las extremidades ipsilaterales y flexionando las contralaterales. (Resumen Pág. 906)