

Tema 57. Anatomía y fisiología de los órganos de los sentidos en el ser humano. Hábitos saludables y posibles enfermedades.

3º E.S.O. Bloque 2, Tema 6. 1º Bach. Bloque 8
--

57.1. Introducción. Concepto de receptor sensorial

57.1.1. Clasificación de los receptores:

57.2. La piel, órgano del tacto. Receptores y sensaciones

57.2.2. Sistema de transmisión

57.3. Sentido del gusto

57.3.1. Sistema de transmisión

57.4. Sentido del olfato

57.4.1. Sistema de transmisión

57.5. El Ojo humano

57.5.1. Anatomía del ojo humano

57.5.2. Retina o capa interna:

57.5.3. Fisiología de la visión

57.5.4. Formación de imágenes en la retina

57.5.5. Neurofisiología de la visión:

57.5.6. Órganos anejos

57.6. El órgano del oído

57.6.1. Anatomía del oído

57.6.2. Fisiología de la audición

57.7. Función del equilibrio y sentido del movimiento

57.1. Introducción. Concepto de receptor sensorial

Todos los receptores sensoriales contienen células especializadas en detectar estímulos específicos (calor, frío, presión, luz, sonido, sustancias químicas,...) y convertirlos en estímulos nerviosos. Estos impulsos son transmitidos al Sistema Nervioso Central (SNC) por las correspondientes vías nerviosas, e interpretados como sensaciones táctiles, visuales, olfativas, gustativas, etc. Así es como nuestro organismo desarrolla sus funciones de relación. En el siguiente esquema representamos este proceso:



El receptor sensorial puede ser parte de una neurona (células sensoriales primarias), o una célula especializada (células sensoriales secundarias) que generan potenciales de acción en las neuronas. El receptor, con frecuencia, se rodea de otro tipo de células (no neuronales) formando un órgano sensorial.

Todo estímulo, para ser captado por un receptor, necesita superar un umbral mínimo de intensidad. Si el estímulo supera el límite máximo de intensidad, el receptor puede quedar dañado y dejar de funcionar. Cada receptor es particularmente sensible a un estímulo adecuado, aunque pueda percibir otros estímulos. Ej. Un golpe en el ojo puede determinar sensaciones luminosas, los zumbidos de los oídos, etc.; es estos casos, el estímulo no adecuado, para excitar al receptor, precisa un umbral mucho mayor.

57.1.1. Clasificación de los receptores:

Se han hecho numerosos intentos para clasificar a los receptores en grupos, pero ninguno ha sido enteramente satisfactorio. Entre las clasificaciones más frecuentes se encuentran las siguientes:

- **Según su localización.** Exteroceptores (en contacto con el medio externo); Interoceptores (con el medio interno); Propioceptores (informan de la posición del cuerpo en un momento dado).
- **Según la naturaleza del estímulo.** Fotorreceptores (la luz), quimiorreceptores (gusto, olfato), termorreceptores (t^a), mecanorreceptores (sonido, tacto), etc.

En la siguiente tabla ofrecemos una lista de modalidades sensoriales conscientes y sus receptores en el hombre. Hay numerosos receptores sensoriales cuya información no llega a la consciencia (tensión muscular, presión arterial, inflación de los pulmones, pH, Po_2 , etc.), y cuya descripción, por tanto, no corresponde a este tema.

Modalidades sensoriales	Receptor	Órgano del sentido
1. Visión	Conos y bastones	Ojo
2. Audición	Células ciliares	Oído (órgano de Corti)
3. Olfato	Neuronas	Mucosa olfativa
4. Gusto	Células receptoras	Botón gustativo
5. Aceleración angular	Células ciliares	Oído (canales semic.)
6. Aceleración lineal	“ “	Oído (utrículo y sáculo)
7. Tacto-presión	Terminaciones nerviosas	Diversos
8. Calor	“ “	“
9. Frío	“ “	“
10. Dolor	“ “	“
11. Movimiento y posición de las articulaciones	“ “	“

Tanto los receptores neuronales como los no neuronales, para captar un estímulo, precisan de un potencial de membrana (potencial generador o del receptor) que, después, desencadenará un potencial generador en las correspondientes neuronas. La frecuencia de los potenciales de acción es directamente proporcional a la intensidad del estímulo.

Cuando un estímulo sostenido de intensidad constante se aplica a un receptor, la frecuencia de los potenciales de acción de su nervio declina durante un tiempo (**adaptación**). El grado de adaptación varía con el tipo de órgano sensitivo.

Los **receptores tónicos** producen potenciales de acción aunque no reciban estímulos, cuando lo reciben la frecuencia de los potenciales de acción sube o baja.

Los **receptores fásicos** solo producen potenciales de acción cuando reciben un estímulo. Ambos informan de un cambio, pero los tónicos informan, además, de la dirección en la que se ha producido ese cambio.

Con respecto a la adaptación a la respuesta los receptores pueden ser de adaptación lenta (mientras hay estímulo hay respuesta); o de adaptación rápida (la respuesta desaparece antes de desaparecer el estímulo). La aplicación de una presión sostenida a un corpúsculo de Pacini produce un potencial generador que decae con rapidez; por contra los órganos del dolor y del frío, dado su carácter preventivo, se adaptan con lentitud.

La sensación provocada por los impulsos generados en un receptor depende de la parte específica de la corteza sensorial que active. Independientemente del lugar donde sea estimulada una vía sensitiva, a lo largo de su trayecto hasta la corteza, la sensación consciente producida es referida al lugar del receptor (**ley de la proyección**). La información acerca de la intensidad de los estímulos es transmitida de dos maneras al encéfalo, por la variación en la frecuencia de los potenciales generados por la actividad de un receptor (sumación temporal), o por variación el nº de receptores activados (sumación espacial).

57.2. La piel, órgano del tacto. Receptores y sensaciones

La piel reviste exteriormente el cuerpo humano y tiene distinto espesor según donde se considere (planta del pie, palma de la mano, etc.). Es flexible y elástica. Se distinguen dos partes:

- **Epidermis.** Formada por epitelio pavimentoso estratificado. Puede tener los siguientes estratos: basal o germinativo, espinoso, granuloso y córneo.
- **Dermis.** De tejido conjuntivo, está bien vascularizada e innervada presentando salientes hacia la epidermis (**papilas dérmicas**).

Como estructuras anejas presenta los pelos (de naturaleza córnea), las uñas y las glándulas. Éstas pueden ser de tres tipos: sebáceas, sudoríparas y mamarias.

La piel desempeña diferentes funciones: protege al organismo contra los rozamientos, impide pérdidas de agua por evaporación, colabora en la regulación de la t^a , participa en la excreción de diversas sustancias

(sudor) y, lo que a nosotros nos interesa aquí, es uno de los órganos de los sentidos al recibir estímulos táctiles, de presión, térmicos y de dolor.

En la dermis hay terminaciones nerviosas: unas libres, otras son extremos expandidos de terminaciones nerviosas sensitivas (Merkel, Ruffini) y otras encapsuladas por tejido conjuntivo. Las terminaciones nerviosas libres proporcionan información sobre tacto, presión, dolor, calor y frío. Se trata de delgadas fibras amielínicas.

Ejemplo de algunas terminaciones libres:

- **Órgano piloso terminal.** Son de adaptación intermedia; tienen forma de espiral alrededor de cada pelo. Dan información táctil muy localizada.
- **Órgano tendinoso de Golgi.** Se localiza en los tendones. Son terminaciones nerviosas que informan del movimiento y posición musculares (cinestesia). Son fibras mielínicas de adaptación intermedia. Responden cuando un músculo se contrae mucho o cuando sufre un estiramiento.

Las terminaciones encapsuladas se denominan corpúsculos sensitivos y los hay de cuatro clases:

- **Corpúsculos de Meissner.** Son estructuras alargadas en las que penetran varias terminaciones nerviosas. Están situados dentro de algunas papilas dérmicas y abundan en la dermis de la palma de la mano y planta de los pies. Son fibras mielínicas de adaptación rápida.
- **Corpúsculos de Pacini.** Tienen forma ovoidea y están constituidos por varias capas concéntricas de tejido conjuntivo que envuelven una terminación nerviosa. Se localizan en la parte profunda de la piel y, en general, en el tejido conjuntivo. Son fibras mielínicas de adaptación rápida; especial para movimientos muy rápidos.
- **Corpúsculos de Krause.** Aparecen como cápsulas de tejido conjuntivo, en cuyo interior hay terminaciones nerviosas ramificadas. Son relativamente abundantes y de forma especial en los genitales y en la mucosa lingual.
- **Corpúsculos de Merkel.** Son terminaciones ensanchadas de fibras mielínicas de adaptación lenta. Se localizan en la zona más externa de la dermis; son capaces de distinguir puntos muy concretos de la piel que hayan sido estimulados (sensibilidad epicrítica).
- **Corpúsculos de Ruffini.** Similares a los anteriores, pero más aplanados y poco abundantes. Están localizados en zonas profundas de la dermis, son fibras mielínicas de adaptación lenta.
- **Husos musculares.** Se localizan dentro de los haces musculares. Cada huso está compuesto de 2 a 14 pequeñas fibras musculares que, en su porción ecuatorial, apenas tienen miofibrillas. Están rodeados de una cápsula de tejido conjuntivo que le proporciona el aspecto de huso. Capta las variaciones de longitud o tensión de un músculo esquelético ya sea en movimientos lentos o bruscos. Es sensitivo-motor.

La **SENSIBILIDAD CUTÁNEA** se debe al gran nº de terminaciones nerviosas, libres o encapsuladas, pertenecientes a fibras sensitivas que proceden de los ganglios espinales. Comprende los siguientes sentidos:

- **Tacto.** Debido a los corpúsculos de Meissner, Merkel y Pacini y a las terminaciones libres localizados alrededor de los folículos pilosos; por ello, basta rozar el pelo, aunque no se toque la piel directamente, para que el receptor capte el estímulo. Muy numerosos en la piel de los dedos y en los labios, menos abundantes en el tronco.
- **Presión** (tacto sostenido). Se debe a los corpúsculos de Pacini. Si una presión deforma un corpúsculo, éste emite unas señales y en seguida deja de emitir (adaptación rápida).

- **Propiocepción.** Los impulsos se inician en los husos musculares y en los órganos tendinosos de Golgi. El conocimiento consciente de la posición de las diversas partes del cuerpo en el espacio dependen de los impulsos que se originan en los receptores que están dentro y alrededor de las articulaciones. Los impulsos de éstos y los de los receptores táctiles de otros tejidos son integrados en la corteza.
- **Térmico.** Según los libros de texto de B.U.P. se captan por los corpúsculos de Krause (frío), y los de Ruffini (calor).
Se supone que son terminaciones libres de fibras mielínicas o amielínicas. Son de adaptación lenta (tónicos). Forman campos receptivos periféricos de pequeño tamaño (sensibilidad puntual o epicrítica). Miden la t^a de la piel y los cambios de la misma. Los hay de dos tipos: de frío y de calor. Los de frío son más numerosos y se localizan más superficialmente que los de calor; no se reparten uniformemente (abundan en la espalda). Por debajo de los 20 °C y por encima de 40 °C no hay adaptación; pero sí entre ambas t^a de forma que la sensación producida por el cambio de t^a va desapareciendo gradualmente.
- **Dolor** (nociceptores). Las terminaciones libres reciben sensaciones de dolor originado por estímulos intensos de diferente índole, calor, frío, presión, etc. Estas terminaciones nerviosas son de adaptación lenta y pueden ser tanto mielínicas como amielínicas.
La presencia de dos vías para el dolor, una lenta y otra rápida, explica la observación fisiológica de que existen dos clases de dolor. Un estímulo doloroso causa una sensación intensa, aguda, localizada, seguida de una sensación sorda, dolorosa, difusa y desagradable.
Se ha sugerido que la causa del dolor pueda ser un mediador químico que estimula las terminaciones nerviosas: puede ser una cinina (polipéptidos liberados de las proteínas por enzimas hidrolíticos) o histaminas.

57.2.2. Sistema de transmisión

Las impresiones producidas en estas terminaciones nerviosas son transmitidas en forma de impulsos hasta los centros nerviosos (corteza cerebral), donde se transforman en diferentes sensaciones.

Las fibras aferentes de los receptores entran, por la raíz dorsal, a la médula o, a través de los nervios craneales, al tallo cerebral. Conectan, a varios niveles, con neuronas motoras y con neuronas de las vías ascendentes que conducen a la corteza cerebral.

La mayoría (tacto fino, presión, propiocepción) ascienden por los cordones posteriores hasta el bulbo, allí realizan sinapsis con neuronas que cruzan la línea media y ascienden hasta el tálamo (sistema lemniscal o dorsal).

Otras fibras (táctiles, t^a , dolor), hacen sinapsis con neuronas del asta dorsal. Los axones de estas neuronas cruzan la línea media de la médula y ascienden por el sistema anterolateral de fibras ascendentes.

Desde los núcleos específicos sensoriales del tálamo, las neuronas se proyectan de manera altamente específica a las dos áreas somáticas sensoriales de la corteza (ver tema 56).

Las combinaciones de las sensaciones táctil, dolor y calor más, en ciertos casos, algunos componentes corticales son integradas en las sensaciones de comezón, de vibración, de discriminación de dos puntos y de estereognosis (facultad de identificar los objetos por el tacto, sin verlos).

Las fibras que parten de los receptores del dolor se unen a los haces sensitivos de los nervios raquídeos, pero no a los más próximos, sino a aquellos que inervan la zona donde se origina la víscera en el embrión. En las astas posteriores, nada más penetrar en la médula, tanto los axones de la sensibilidad común como los del dolor establecen conexiones con su propia neurona de asociación y con la del otro. Ésta es la causa de que en muchas ocasiones se sienta dolor en zonas periféricas en las que no hay nada dañado (dolor referido).

57.3. Sentido del gusto

Radica en unos corpúsculos ovoides (**botones gustativos**), distribuidos por la mucosa bucal, especialmente en la mucosa de la lengua. Ésta presenta unas elevaciones (**papilas linguales**), que tienen forma y función

diferente. Los botones gustativos se encuentran en las paredes laterales de algunos tipos de papilas linguales. Hay cuatro tipos de papilas:

- **Filiformes.** Cubren toda la superficie del dorso de la lengua. Normalmente carecen de botones gustativos, pero presentan corpúsculos táctiles y térmicos.
- **Fungiformes.** Menos abundantes que las anteriores, son estructuras redondeadas que se encuentran en la punta y en el borde de la lengua. Contienen varios botones gustativos en su parte superior.
- **Caliciformes.** Son las mayores, existen entre 7 y 12 y se localizan en la parte posterior del dorso de la lengua formando una V abierta con el vértice hacia adentro. Tienen bastantes botones gustativos (hasta 100) dispuestos lateralmente.
- **Foliadas.** Situadas a lo largo de cada uno de los bordes de la lengua, aparecen como pliegues dispuestos paralelamente, en cuyas superficies se encuentran los corpúsculos gustativos.

Cada botón gustativo es un órgano en forma de barril que abarca todo el grosor del epitelio. Consta de 20 a 30 células receptoras ciliares, fusiformes que se extienden desde la membrana basal al **poro gustativo** (abertura por donde emergen los cilios), y de células de sostén. Lo mismo que le sucede al epitelio bucal, todas las células de los botones gustativos son renovadas continuamente.

Las células receptoras (quimiorreceptores) se impresionan por las sustancias introducidas en la boca y que se disuelven en la saliva. En el hombre se conocen cuatro sabores primarios: dulce, salado, agrio y amargo, cada uno localizado en un área de la lengua. El dulce en la punta y lados de la lengua, el salado en la mitad delantera, el agrio en los bordes laterales y el amargo en la parte más interna (papilas en V).

Los diferentes sabores que se aprecian en los alimentos corresponden a combinaciones de estos cuatro sabores primarios. No obstante, parece como si en la comida encontráramos otros sabores distintos. Es debido a que los vapores, que escapan de la faringe por las coanas, impresionan las células olfatorias y recibimos sensaciones olfativas a la vez que las gustativas. La pérdida del sentido del olfato disminuye la percepción gustativa.

57.3.1. Sistema de transmisión

El umbral mínimo de excitación depende siempre de la concentración de la sustancia, en valores típicos de cada una. Puede que el umbral más bajo sea el del sabor amargo de la quina ($8 \cdot 10^{-6}$ M). Estudios microscópicos han demostrado la existencia de fibras nerviosas amielínicas asociadas a las células gustativas; cada botón gustativo está innervado por unas 50 de estas fibras nerviosas sensitivas.

Las fibras de los botones gustativos situados en los 2/3 anteriores de la lengua van al nervio facial. Las fibras del tercio posterior al nervio glossofaríngeo. Estas fibras junto con las del nervio vago se juntan en el bulbo formando el fascículo solitario, de ahí pasan al tálamo, desde donde son enviadas al área de proyección gustativa de la corteza (detrás de la cisura de Rolando, en el área sensitiva de la cara).

57.4. Sentido del olfato

Los receptores del sentido del olfato están localizados en el epitelio olfatorio de las dos fosas nasales (**pituitaria amarilla**). En el hombre está restringido a un área pequeña del techo de la cavidad nasal. Se trata de un epitelio pseudoestratificado columnar con tres tipos de células: receptoras olfatorias, epiteliales de soporte y epiteliales basales (células receptoras inmaduras). En el epitelio olfatorio abundan las glándulas serosas (glándulas de Bowman), que producen secreciones acuosas superficiales en las que se disuelven las sustancias olorosas.

Para poder oler una sustancia es necesario que se halle en estado gaseoso o distribuido en pequeñas partículas por el aire. Una inspiración hace llegar dichas partículas o sustancias gaseosas hasta los receptores olfativos que responden en milésimas de segundo.

El umbral mínimo de sensación es mucho más bajo que para el gusto (el metilmercaptán, sustancia sulfurosa de olor desagradable, puede percibirse en concentraciones de 1: 460.000.000); en cambio, alcanza pronto el tope máximo de intensidad de percepciones percibidas, es decir, se fatiga fácilmente. Cuando se reciben estímulos intensos se perciben los olores, pero al cabo de unos minutos dejan de percibirse como si el ambiente fuera inodoro. Sin embargo, se pueden percibir otros olores nuevos, aunque sean débiles. Parece como si hubiera diferentes clases de células olfatorias especializadas en responder ante determinadas clases de moléculas; unas células se fatigan con los primeros estímulos, pero quedaron otras capaces de responder a los nuevos.

El ser humano puede distinguir entre 2000 y 4000 olores distintos, aunque se desconoce la base fisiológica de la discriminación olfativa.

57.4.1. Sistema de transmisión

Las células receptoras olfatorias son verdaderas neuronas bipolares, cuyos cuerpos celulares se localizan en el estrato medio del epitelio olfatorio. Una prolongación dendrítica única se extiende desde el cuerpo celular hacia la superficie libre, donde acaba en una pequeña dilatación de la que surgen una docena de cilios modificados muy largos.

Se piensa que en los cilios es donde tiene lugar la interacción entre las sustancias olorosas y las células receptoras. En la porción basal, cada célula receptora da lugar a un único axon amielínico, el cual se une con los axones de otras células receptoras. Los haces de axones atraviesan, a través de unos 20 pequeños agujeros en cada lado, la lámina cribosa del hueso etmoides hasta alcanzar el bulbo olfatorio del prosencéfalo, donde hace sinapsis con otras neuronas sensitivas que conducen los estímulos hacia las áreas olfatorias de la corteza.

57.5. El Ojo humano

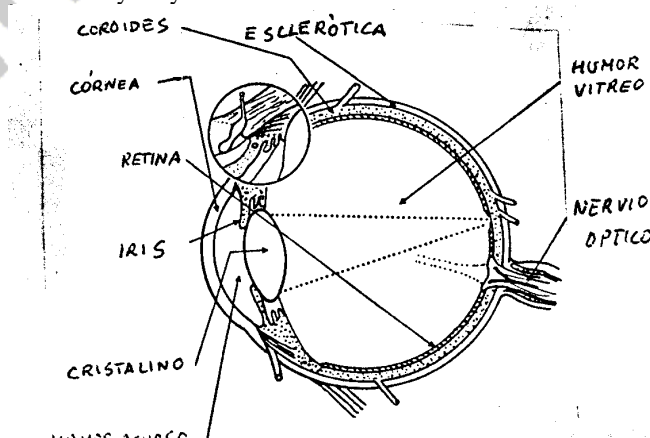
Los órganos encargados de la visión son los ojos (transforman la energía luminosa en potenciales de acción nerviosa), alojados en las órbitas, y en su funcionamiento colaboran las estructuras accesorias que los rodean.

57.5.1. Anatomía del ojo humano

El ojo es una esfera hueca formada por tres capas o túnicas concéntricas, que de fuera adentro son esclerótica, coroides y retina.

Esclerótica. Es una túnica dura, blanca y opaca, excepto en la parte anterior que es incolora y transparente (**Córnea**). La parte posterior está perforada por el nervio óptico. En ella se insertan los músculos extraoculares.

La córnea es el principal medio de refracción del ojo y enfoca groseramente una imagen en la retina según el radio de curvatura de su superficie externa. Está recubierta por un epitelio no queratinizado, manteniéndose siempre húmeda y muy sensible.



Coroides o capa uveal. Está unida a la anterior, es oscura y muy vascularizada. Proporciona aporte nutritivo a la retina y, al estar densamente pigmentada, absorbe la luz que ha atravesado la retina (actúa como cámara oscura).

Por su parte anterior forma un tabique vertical musculoso y perforado (**iris**), cuyo color varía. La perforación recibe el nombre de **pupila**. El iris contiene fibras musculares radiales y fibras circulares que se comportan como músculos antagonicos (**cuerpo ciliar**). Cuando las fibras radiales se contraen (músculo dilatador de la pupila), se relajan las circulares y la pupila se dilata. Por el contrario, al contraerse las fibras circulares (esfínter pupilar) se relajan las radiales y la pupila se cierra. El iris, pues, actúa como un diafragma ajustable que regula la cantidad de luz que alcanza a la retina; también, al igual que la esclerótica, está perforada para la salida del nervio óptico.

La retina es la capa más delicada e importante del ojo. Consta de una región anterior, no sensitiva, que se extiende hasta el cuerpo ciliar y una región posterior sensitiva que contiene las células fotorreceptoras y las neuronas. En la parte posterior está el punto ciego, zona de salida del nervio óptico sin células fotorreceptoras.

En el interior del ojo se distinguen dos cámaras separadas por una lente biconvexa (**crystalino**), que está situado inmediatamente detrás del iris. Dichas cámaras son: una anterior, entre la córnea y el cristalino, que contiene el **Humor acuoso**, y otra posterior y más grande que contiene el **Humor vítreo**. Ambos humores son segregados por el cuerpo ciliar.

El cristalino es una estructura elástica, transparente, mantenida en su sitio por un ligamento circular (zónula), que está adherido al cuerpo ciliar.

El **humor acuoso** es una fuente de nutrientes para las zonas no vascularizadas (cristalino y córnea) y actúa como un medio óptico no refractario con respecto a la córnea. La presión del humor acuoso mantiene la forma de la córnea. Está producido por el cuerpo ciliar a partir de la sangre. Se reabsorbe a través de una red de trabéculas hacia el interior del canal de Schlemm (canal venoso que une el iris y la córnea). La obstrucción de esta salida provoca un aumento de la presión intraocular y la aparición de la grave enfermedad llamada glaucoma.

El **humor vítreo** contiene ácido hialurónico y una proteína muy hidrófila, constituye un medio óptico no refractario con respecto al cristalino, sostiene tanto al cristalino como a la retina. En vida, el cuerpo vítreo contiene un conducto que se extiende desde la salida del nervio óptico hasta la superficie posterior del cristalino (conducto hialoideo) que representa el curso de la arteria hialoidea que, durante el desarrollo embrionario, irriga el cuerpo vítreo.

57.5.2. Retina o capa interna:

Es una capa multiestratificada. Desde la periferia hacia el centro del globo ocular se encuentran las siguientes capas de células.

1. Capa pigmentada externa

Se trata de células hexagonales que forman un epitelio prismático pegado a la coroides. Están llenas de un pigmento oscuro (fucsina).

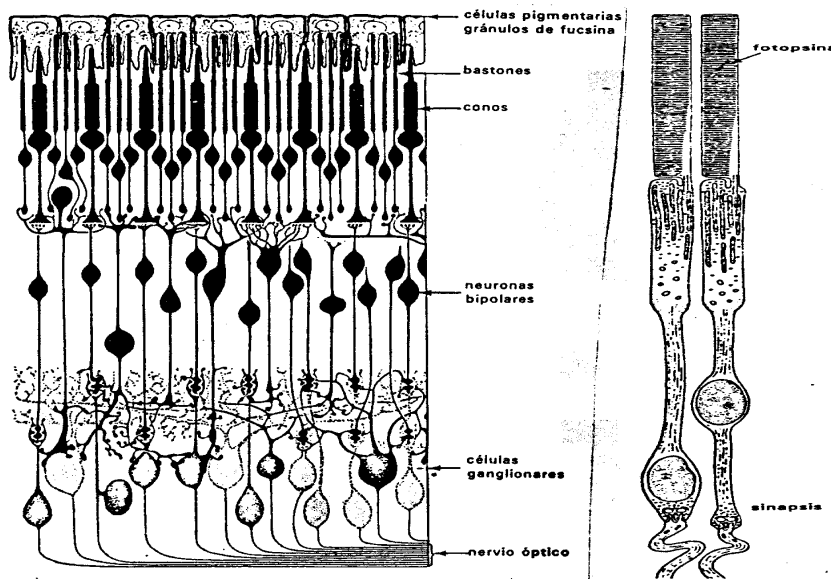
2. Capa sensitiva interna

Consta de tres capas de células que desde el exterior al interior son las siguientes:

- Capa de células fotorreceptoras.** Son de dos clases: Conos y bastones que están orientados hacia el exterior (mirando hacia la esclerótica). Estas células tienen un polo con una dendrita fotosensible y otro polo que contacta con las células bipolares de la capa siguiente.

Los **bastones** son muy sensibles a la luz y son los responsables de la visión nocturna (visión escotópica): no se ven detalles, ni color, ni límites precisos de objetos. Son más numerosos en la

periferia de la retina. En los discos que contienen los bastones en su segmento externo, se encuentran una proteínas (rodopsina o púrpura visual), que se descompone cuando han captado una cierta cantidad de luz (ver apartado 57.5.3). Los segmentos exteriores de los bastones se renuevan constantemente, formándose nuevos sáculos.



Los **conos** son menos sensibles, pero poseen gran agudeza y son los responsables de la nitidez de la imágenes, visión de los colores y permiten la visión con luz brillante (visión fotópica). En los discos que contienen los conos una proteína (fotopsina), receptivos a la luz azul, verde y roja.

El nº y distribución de conos y bastones es hereditario. Se calcula que hay unos 7 millones de conos y unos 100 de bastones. Los conos abundan especialmente en la zona deprimida de la retina (**fóvea o mácula lútea**), situada enfrente de la pupila. Se precisan, como mínimo, seis conos o bastones excitados para que se inicie una transmisión en el nervio óptico. No obstante, cuanto más periféricos son los receptores, mayor es el nº de fotorreceptores que establecen sinapsis con cada neurona del tracto óptico.

- b) **Células de Müller.** Son células de neuroglía; dan cierta consistencia a la retina y nutren sus células. Sus prolongaciones forman una membrana limitante interna sobre la superficie inferior de la retina y una membrana limitante externa en la capa de receptores.
- c) **Neuronas bipolares** que recogen el estímulo y lo envían a las células gangliolares. Son las neuronas más numerosas de la retina, conectan uno o más fotorreceptores con una o más neuronas del tracto óptico.
- d) **Células gangliolares.** Que hacia afuera establecen sinapsis con las neuronas bipolares y hacia dentro envían prolongaciones para formar el nervio óptico. La zona de salida del nervio óptico no contiene ni conos ni bastones (**punto ciego**), está situada a unos 3 mm por debajo de la línea media.

Se deduce de esta disposición que las células sensitivas están en la porción posterior de la retina, de manera que la luz ha de atravesar las capas de las otras neuronas para llegar hasta aquéllas.

El desprendimiento de retina consiste en que ésta se despegue de la pared del ojo y el plano de rotura se localiza usualmente entre los bastones y conos y la capa de células pigmentadas. Los vasos retinianos irrigan las células bipolares y gangliolares, pero los receptores son nutridos, en su mayor parte, por el plexo capilar de la coroides, de ahí el porqué el desprendimiento de retina es tan dañino para las células receptoras.

57.5.3. Fisiología de la visión

Las células especializadas en la transformación de impulsos luminosos en impulsos nerviosos, como ya vimos, son los conos y los bastones de la retina. Los conos permiten distinguir colores, pero la detección de la señal luminosa propiamente dicha corresponde a los bastones.

Los **bastones** de la retina constan de: segmento externo, segmento interno, zona nuclear y cuerpo sináptico, este último en contacto con una neurona sensitiva.

El **segmento externo** da la forma característica de la célula, y contiene un millar de discos o sacos aplanados, llenos de Ca^{++} . En la membrana de estos sacos se encuentra el pigmento fotosensible (11-cis-retinal, derivado de la vitamina A) como grupo prostético de la proteína rodopsina. El **segmento interno** contiene la bomba de sodio responsable del potencial de reposo.

La llegada de un fotón al 11-cis-retinal hace que éste cambie de configuración (de cis a trans), y, a su vez, esto cambia la conformación de la rodopsina. El proceso, que tiene varios pasos intermedios, se completa en una fracción de segundo. Como consecuencia de cambio de conformación de la rodopsina, se altera la permeabilidad del disco que ha captado el fotón, y hay una liberación de Ca^{++} al citosol. El Ca^{++} liberado disminuye la permeabilidad de la membrana plasmática al Na^+ , con lo que la entrada de este ión por difusión pasiva desciende. Como el bombeo de Na^+ al medio extracelular, a nivel del segmento interno, permanece constante, la disminución de la concentración intracelular de Na^+ hace que el potencial de membrana sea más negativo dentro, es decir, que la célula se hiperpolariza. Esta hiperpolarización se transmite al cuerpo sináptico, y origina un impulso nervioso en la neurona de la zona visual. (Otros datos experimentales apuntan al papel del GMP cíclico como mediador intracelular del estímulo luminoso).

Existen dos clases de informaciones al SNC desde el ojo: una por la proyección de los bastones y otra por la de los conos. La existencia de estas dos clases de contribuciones, trabajando cada una al máximo en diferentes condiciones de iluminación, es denominada la **teoría de la duplicidad**.

Las imágenes que se forman en la retina persisten durante un cierto tiempo (1 a 2 segundos), lo que determina que una rápida sucesión de imágenes se funda en una imagen continua. Por eso, cuando vemos girar un punto luminoso nos parece una circunferencia, cuando gira una rueda con radios da la sensación de que es un disco; siendo el mismo fenómeno el fundamento del cine.

57.5.4. Formación de imágenes en la retina

Existe una analogía entre el ojo humano y una cámara fotográfica. El iris corresponde al diafragma, la córnea y el cristalino al objetivo, la esclerótica y coroides a la cámara oscura y la retina a la película fotográfica.

Los rayos luminosos (espectro visible, longitud de onda 397-723 nm) que parten de los objetos penetran por la pupila, llegan al cristalino donde sufren una desviación y alcanzan la retina formando en ella una imagen más pequeña, real e invertida.

Como vimos en el apartado 57.5. El iris regula de forma refleja la cantidad de luz que penetra en el ojo, aumentando el diámetro de la pupila cuando la luminosidad es escasa y disminuyéndola cuando es intensa.

Acomodación. El cristalino modifica su curvatura merced a la contracción o relajación del músculo ciliar que lo mantiene sujeto al cuerpo ciliar. La variación de la curvatura o acomodación se realiza de forma refleja para enfocar la luz permitiendo la visión de los objetos próximos y lejanos. Cuando miramos objetos cercanos el cristalino se abomba y aumenta la convergencia de los rayos; si miramos a lo lejos el cristalino se aplanar y disminuye la convergencia.

La acomodación es necesaria para que la imagen de los objetos se forme precisamente en la retina, pues de lo contrario, aquéllos se ven borrosos. El punto más próximo al ojo desde el cual puede enfocarse claramente un objeto por acomodación se llama el **punto cercano de la visión**. El punto cercano va retrocediendo, debido al endurecimiento del cristalino, durante la vida lentamente al principio y luego con más rapidez (9 cm a los 10 años, 83 cm a los 60 años).

- **Miopía.** Los rayos luminosos no convergen en el plano de la retina, sino delante y, por tanto, la imagen es borrosa. La causa de este defecto puede ser que el globo ocular sea demasiado largo, o bien que el cristalino tenga excesiva convergencia. Se corrige con lentes cóncavas.

- **Hipermetropía.** El ojo hipermetrope o es demasiado corto, o bien, el cristalino poco convergente. En consecuencia los rayos luminosos llegan a la retina antes de formarse el foco, con lo que la imagen también es borrosa. Se corrige con lentes convexas, pues llevan el foco hacia adelante.
- **Astigmatismo.** Consiste en que la curvatura de la córnea no es homogénea. Por tanto, los rayos luminosos, que inciden según un plano meridiano de diferente curvatura respecto de los otros planos, formarán el foco en un punto diferente al que formarán los rayos de los otros planos. La consecuencia es que parte de la imagen es borrosa. Se corrige con lentes cilíndricas que compensen las curvaturas irregulares de los meridianos de la córnea.
- **Presbicia o vista cansada.** Se caracteriza por la pérdida de elasticidad del cristalino. La capacidad de acomodación queda muy reducida, en consecuencia, los presbíteros ven bien los objetos lejanos, pero no los situados cerca; para ver los objetos próximos necesitan lentes convexas.

Visión binocular y estereoscópica.

Cada ojo tiene su campo visual o parte del mundo exterior visible, por tanto, hay una porción de campo visual común a ambos ojos. Los objetos que se encuentran en esa parte común forman una imagen en la retina de cada ojo y decimos que hay visión binocular. Sin embargo, solamente percibimos un objeto en vez de dos, debido a que en el cerebro hay una superposición de imágenes dando la sensación de ser única y permitiendo la sensación de relieve (**visión estereoscópica**).

Podemos comprobar que se ven dobles los objetos colocando el dedo índice de una mano delante de los ojos, a 20 cm de distancia, y el índice de la otra mano en la misma dirección y lo más alejado posible. Si miramos alternativamente a uno y otro dedo nos daremos cuenta que cuando miramos el de delante se ve doble el de atrás y viceversa.

El secreto de la visión binocular reside en el sincronismo de los movimientos de ambos ojos, de manera que hacen converger los dos ejes ópticos en un mismo punto. Cuando esto ocurre, pese a formarse una imagen en cada ojo nosotros sólo percibimos una porque cada punto del objeto que miramos queda impresionado a la vez en puntos equivalentes de ambas retinas y cada dos de estos puntos equivalentes envía la sensación al mismo punto del cerebro.

En los casos de estrabismo fallan los mecanismos de convergencia de los dos globos oculares, se produce inicialmente una visión doble, aunque poco a poco por una adaptación cerebral se suprime una de las dos imágenes.

57.5.5. Neurofisiología de la visión:

Los axones de las células gangliolares, como ya vimos, se dirigen hacia atrás formando el nervio óptico, pasan del sistema óptico a la región pretectal del mesencéfalo y a los tubérculos cuadrigéminos superiores donde hacen conexiones que median los reflejos visuales. Otros axones pasan directamente, para acabar en el cuerpo geniculado lateral (tálamo óptico). Las fibras de cada ojo se cruzan en el **quiasma óptico**. Del cuerpo geniculado, a través del fascículo geniculocalcarino, se dirigen al lóbulo occipital de la corteza visual primaria que se encuentra situada a los lados de la cisura calcarina.

Los axones de las células gangliolares proyectan una representación espacial precisa de la retina sobre el cuerpo geniculado lateral y este proyecta una representación punto por punto sobre la corteza visual. En ella existen numerosas neuronas asociadas con cada fibra.

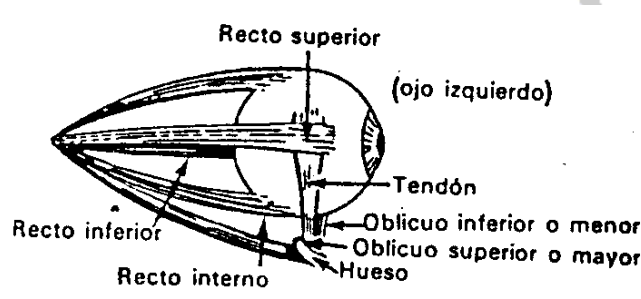
Hay axones que pasan directamente del quiasma óptico al hipotálamo, donde hacen conexiones que median los efectos de la luz con los ritmos endocrinos y circadianos.

57.5.6. Órganos anejos

Son las cejas, los párpados, la conjuntiva, las glándulas lacrimales y los músculos motores del ojo.

- **Las cejas.** Son dos engrosamientos de la piel, situados en el borde superior de las órbitas, con pelos rígidos que protegen el ojo contra partículas y el sudor.

- **Los párpados.** Son dos repliegues musculomembranosos mediante las cuales se pueden cerrar los ojos (función de obturador). Contienen las llamadas glándulas tarsales (**glándulas de Meibonio**), que segregan un líquido amarillento y grasos que forma las legañas. En el borde de los párpados están insertas las pestañas, las cuales protegen al ojo contra la luz y partículas de polvo.
Los párpados están dotados de gran movilidad merced a los músculos orbiculares y a los elevadores del párpado superior. Gracias a esta movilidad reparten las lágrimas manteniendo húmeda la superficie del globo ocular, a la vez que lo protegen de la posible entrada de partículas extrañas.
- **La conjuntiva.** Es la membrana mucosa que tapiza la superficie interna de los párpados y la parte anterior del ojo. Está formada por tres capas, provistas de células caliciformes productoras de mucus. Su inflamación se denomina conjuntivitis.
- **Las glándulas lacrimales.** Están situadas en el borde externo de la órbita y segregan las lágrimas (líquido alcalino que contiene lisozima) que lubrican, suavizan el ojo y lo protegen de la acción de ciertas bacterias. Las lágrimas se producen de manera continua, pasan a la carúncula lacrimal (elevación rojiza del ángulo interno del ojo) de donde son eliminadas por los dos conductos lacrimales que van a parar a un saco lacrimal, de donde se vierten al conducto nasal y de éste a las fosas nasales..



MUSCULATURA DEL OJO

- **Los músculos motores del ojo.** Son seis: cuatro rectos y dos oblicuos. Los primeros (superior, inferior, externo e interno según su posición), se insertan por delante en la esclerótica y por detrás en el fondo de la órbita. Mueven el ojo alrededor de su eje transversal y vertical, es decir que, su contracción, provoca el giro del globo ocular hacia arriba, hacia abajo (rectos interno y externo) o hacia los lados (rectos superior e inferior).
Los dos oblicuos son los responsables de ligeros movimientos rotacionales alrededor del eje anteroposterior.
Estos músculos están inervados por los nervios motor ocular común, patético y motor ocular externo.

57.6. El órgano del oído

El sentido del oído está alojado en el hueso temporal y posee numerosas estructuras destinadas a transmitir las ondas modales sensoriales estatoacústicas (audición y equilibrio), desde el exterior hasta la células receptoras que se encuentran en el interior de la porción petrosa de dicho hueso.

El oído externo, medio y la cóclea del oído interno están relacionados con la audición. Los canales semicirculares, el utrículo y el sáculo del oído interno con el equilibrio.

57.6.1. Anatomía del oído

Es un órgano par situado, como hemos dicho, a ambos lados de la cabeza. Consta de tres partes: oído externo, medio e interno.

➤ OÍDO EXTERNO.

Esta formado por dos porciones: oreja o pabellón auditivo y conducto auditivo externo.

- La **oreja** está constituida por tejido cartilaginoso elástico y cubierta por piel. Presenta una serie de repliegues que tienen cierta utilidad para recibir sonidos y dirigirlos hacia el interior del oído. Su parte inferior es una masa carnosa redondeada (lóbulo o pulpejo).
- El **conducto auditivo externo** (3 cm) se abre en la oreja y penetra hacia el interior del cráneo hasta alcanzar el oído medio, del que lo separa el tímpano. En el interior del conducto hay pelos, glándulas sebáceas y glándulas ceruminosas. La secreción de ambos tipos de glándulas recibe el nombre de cerumen, sustancia pegajosa y pastosa que, junto con los pelos, sirve para retener el polvo y partículas extrañas que podrían dañar el oído.
- El tímpano, que lo separa del oído medio, es un tenso tabique membranoso (tensión provocada por un músculo tensor), en forma cónica aplanada formado por fibras radiales y anulares de colágena. Vibra por percusión de la onda sonora.

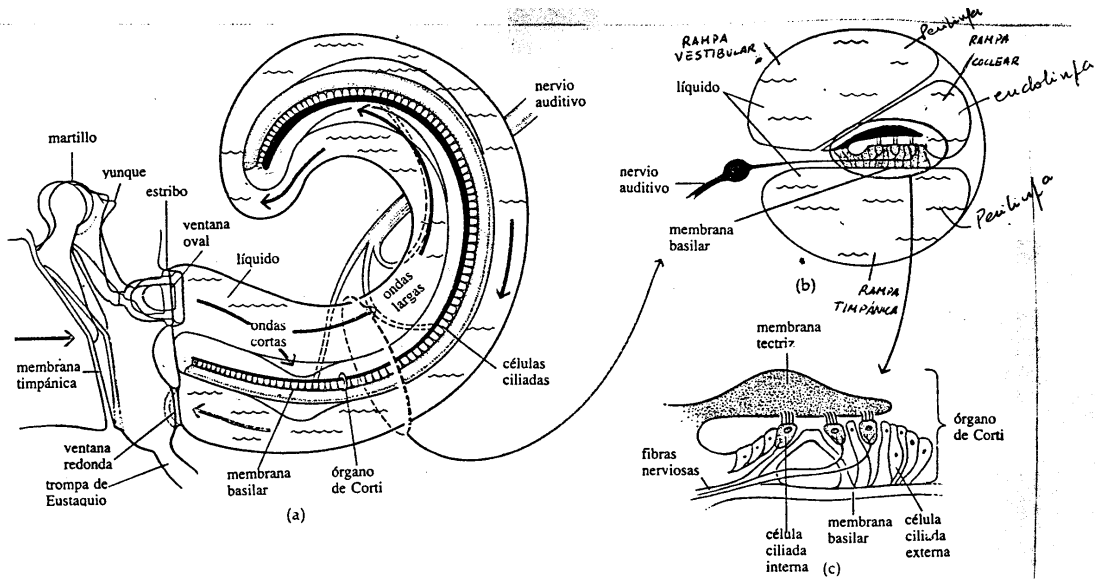
➤ OÍDO MEDIO

Está formado por una cavidad llamada **caja timpánica**, excavada en la porción petrosa del hueso temporal. Por su parte superior esta cavidad comunica con unos huecos irregulares labrados en el hueso (celdillas mastoideas) rellenos de aire (cavidades neumáticas); mientras que por la parte inferior establece comunicación con la faringe mediante el conducto llamado **trompa de Eustaquio**, por la que se introduce el aire para que el tímpano pueda vibrar libremente¹. La caja del tímpano presenta además tres orificios cerrados por membranas: el tímpano ya citado, y las **ventanas oval** y **redonda** que limitan con el oído interno. Cruzando la cavidad del oído medio hay una cadena de huesecillos denominados por su forma: **martillo**, **yunque** y **estribo**. El primero apoya en la cara interna del tímpano y el último apoya a modo de tapadera en la ventana oval (la contracción del músculo estapedio lo separa de la ventana oval). estos huesecillos transmiten las ondas sonoras por el oído medio.

➤ OÍDO INTERNO.

Está constituido por cavidades excavadas también en la región petrosa del hueso temporal. Estas cavidades por ser muy complicadas reciben el nombre de laberinto óseo. Tales huecos óseos están forrados interiormente por una pared membranosa que es como un molde del laberinto óseo (**laberinto membranoso**). En el pequeño espacio que queda entre ambos laberintos hay un líquido llamado **perilinfa**. Otro líquido, la **endolinfa**, ocupa el contenido del laberinto membranoso. Tanto en el laberinto óseo como en el membranoso (y por lo tanto en el oído interno) se distinguen tres partes que son: el vestíbulo, los conductos semicirculares y el caracol.

¹ las trompas se abren durante la deglución, la masticación y el bostezo.



La parte del oído interno relacionada con la audición es la cóclea, un tubo espiralado de 2,75 vueltas, mostrado aquí (a) como si estuviera parcialmente desenrollado. Las vibraciones transmitidas de la membrana timpánica al estribo, determinan que este huesecillo ejerza presión sobre la membrana de la ventana oval, lo cual se traduce en ondas de presión en el líquido que llena los canales cocleares. Las ondas de presión en el líquido transmiten las vibraciones a la membrana basilar, estimulando a las células sensoriales en el órgano de Corti, que está apoyado sobre la membrana basilar. Los sonidos de diferentes frecuencias (o tonos) ejercen su efecto máximo sobre diferentes áreas de la membrana. La ventana redonda impide que la presión se intensifique en la cóclea. En (b) se muestra un corte transversal de la cóclea y en (c) un esquema más detallado del órgano de Corti.

- **Vestíbulo.**

Es la parte central y se subdivide en dos sacos: **Utrículo** (de él surgen los conductos semicirculares) y el **sáculo** (de él nace el caracol). De ambos arrancan sendos tubitos que se reúnen para formar el conducto endolinfático que alojado en otro óseo, termina en un extremo ciego bajo la duramadre del encéfalo.

En la base del utrículo y del sáculo aparecen unas formaciones llamadas **máculas** formada por células cúbicas entre las que se encuentran otras ciliadas conectadas a fibras nerviosas. Los cilios están en el seno de una masa gelatinosa (tres veces más densa que la endolinfa) sobre la que se asienta las otoconias (otolitos o estatolitos, que son cristales de CO_3Ca).

- **Conductos o canales semicirculares**

Los conductos semicirculares son tres tubos en forma de arco dispuestos en tres planos, correspondientes a cada una de las direcciones del espacio, que se hallan en comunicación con el utrículo. En ellos se encuentran los receptores del equilibrio representados por las **crestas auditivas**, situadas en unas dilataciones o ampollas que presentan dichos conductos en su desembocadura.

Estas crestas están formadas, también, por células epiteliales de sostén alargadas, entre las cuales se insinúan otras células sensitivas provistas de un pincel de pestañas inmersas en una placa gelatinosa que las aglutina.

- **Caracol**

Es un tubo arrollado en hélice que presenta tres conductos o rampas: **Rampa vestibular** o superior (se abre en el vestíbulo y su origen contacta con la ventana oval); **Rampa coclear o media** (comunica con el sáculo y termina en una fondo ciego), y **Rampa timpánica** o inferior (en su base se encuentra la ventana redonda de la caja timpánica). Las rampas vestibular y timpánica se comunican entre sí a través del helicotrema (extremo final del caracol).

Las tres rampas están separadas por membranas: la membrana de Reissner separa la rampa vestibular de la coclear, la membrana basilar separa la coclear de la timpánica. La rampa vestibular y timpánica contienen perilinfa y la coclear endolinfa.

En la rampa coclear se encuentra el **órgano de Corti**, formado por células sensoriales ciliares que se distribuyen sobre la membrana basilar, que separa el conducto coclear del timpánico. Sobre las células ciliares se extiende una estructura que recibe el nombre de membrana tectoria. La membrana basilar

contiene fibras que se han comparado a las cuerdas de una rapa. Las más cortas se sitúan en la base de la cóclea y las más largas en el ápice.

57.6.2. Fisiología de la audición

El sentido de la audición reside en el caracol. La transformación del impulso auditivo en impulso nervioso se lleva a cabo en las **células ciliadas** (órgano de Corti) que tapizan las cavidades del oído interno (rampa coclear). Las ondas sonoras se transmiten, a través del tímpano y de la cadena de huesecillos.

Para evitar la rotura del tímpano en el caso de ondas sonoras muy potentes es preciso que dentro de la caja timpánica exista la misma presión que en la atmósfera, función que realiza la trompa de Eustaquio cuando está abierta.

La vibración de la cadena de huesecillos hace vibrar la ventana oval que transmite la vibración a la perilinfa (rampa vestibular). Como la perilinfa es un líquido, la presión ejercida por la vibración se transmite en todas las direcciones, y, por tanto, alcanza a la endolinfa y a la membrana basilar.

Sin embargo, no todas las fibras de la membrana basilar vibran con las ondas de un determinado tono, sino sólo aquellas que son afectadas por la frecuencia de la onda sonora. Cuando la porción de la membrana basilar vibra, la membrana tectoria relacionada con ella dobla los cilios de las células sensoriales. Este desplazamiento abre conductos específicos para el K^+ , que es el catión más abundante de la endolinfa, y la entrada de K^+ produce la despolarización de la célula ciliada. A su vez esta despolarización permite la apertura de conductos para el Ca^{++} en la base de la célula, y la entrada de Ca^{++} cataliza la fusión de vesículas sinápticas con la membrana plasmática de la célula. Las vesículas presinápticas liberan el neurotransmisor y se origina en la neurona postsináptica, que está debajo de la célula ciliada, una corriente nerviosa. De este modo, la onda sonora ha dado origen, en una neurona, a un potencial de acción que será transmitido al cerebro por el nervio auditivo.

Los cuerpos celulares de las neuronas aferentes se encuentran situados en el ganglio espiral dentro del modíolo. Sus axones forman la rama auditiva del nervio auditivo y terminan en los núcleos cocleares dorsal y ventral del bulbo raquídeo. De estos, por distintas vías, llega a los tubérculos cuadrigéminos inferiores, que contienen los centros para los reflejos auditivos, y a través del cuerpo geniculado medial del tálamo a la corteza auditiva. En el hombre la corteza auditiva primaria se encuentra localizada en la porción superior del lóbulo temporal, enclavada en el fondo de la cisura de Silvio. Hay varias áreas adicionales de recepción auditiva. Las áreas auditivas de asociación adyacentes al área receptora auditiva primaria son extensas.

Como la membrana basilar está formada por finos cordones de tejido conjuntivo perpendiculares al eje principal de la espiral del caracol y su anchura va aumentando a medida que nos alejamos de la base y nos acercamos al ápice; **Helmholtz** pensó, en su teoría de la audición, que funcionan igual que las cuerdas de un piano. El sonido, al llegar al caracol, hace entrar en resonancia alguno de los cordones de la membrana basilar, según sea la frecuencia de vibración del ese sonido; así, un sonido muy agudo haría resonar cuerdas pequeñas (próximas a la base); un sonido más grave provocaría la resonancia en cuerdas más largas (más próximas al ápice).

Como los cordones están unidos entre sí por tejido conectivo no vibran aislados. Para **Von Bekés** en su teoría de la onda viajera, lo que vibra no es un cordón sino toda la membrana basilar, pero vibra más la zona concreta que está en resonancia.

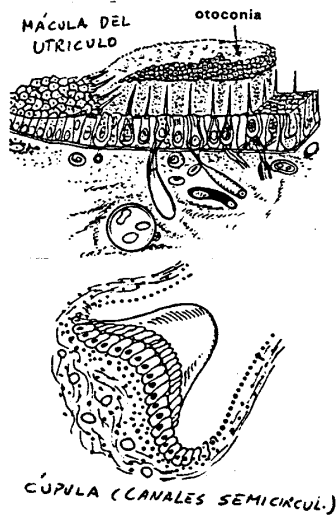
52.7.4. Función del equilibrio y sentido del movimiento

Los dos tipos de células sensitivas, de las crestas y de las máculas, establecen contacto con las terminaciones nerviosas de la rama vestibular del nervio acústico, encargado de recoger y conducir las sensaciones de orientación en el espacio a los centros coordinadores del movimiento en el encéfalo.

La **cresta acústica de los conductos semicirculares**, son una masa gelatinosa en la que se introducen cilios de células basales conectadas a fibras nerviosas. Cualquier giro de la cabeza hace que, por inercia, la endolinfa de alguno de los canales se retrase en su movimiento, empujando la cúpula de las crestas en sentido contrario. Así se informa al cerebro sobre el giro que se está efectuando; el cerebro genera estímulos motores a músculos que contrarrestan la fuerza centrífuga del giro. Puede decirse que en los

canales se percibe la aceleración angular. El umbral mínimo es una aceleración de un segundo de arco por segundo cada segundo.

Al mover la cabeza también se mueven los canales semicirculares, pero la endolifa no se mueve con la misma velocidad apareciendo un movimiento relativo del fluido con respecto a la pared de los canales. Cuando nuestro cuerpo da muchas vueltas rápidas (girar activamente el cuerpo o la cabeza, circular muy deprisa por una carretera con curvas, etc.) la endolinfa se mueve muy rápida y el sentido del equilibrio informa mal al encéfalo (sensación de mareo, vértigo, etc.)



En la **mácula del utrículo y del sáculo**, la acción combinada de la inercia, de la endolinfa y del peso de las otoconias, nos permite percibir los cambios de velocidad lineal (aceleración) y los desplazamientos que efectuamos.

Movimientos demasiado rápidos, por ejemplo, de ascenso y descenso, como los que se producen en un ascensor rápido, no dan tiempo a adquirir la sensación de sentido del movimiento, de tal manera que al iniciarse la elevación se tiene la sensación de hundirse en el suelo, y viceversa cuando se inicia el descenso.