



TEMA 20. ÓRGANOS DE LOS SENTIDOS

21.1 INTRODUCCIÓN

Para que el organismo pueda desarrollar sus funciones de relación necesita, en primer lugar, estar perfectamente informado de lo que sucede en su entorno. De captar las impresiones o estímulos se encargan los llamados receptores nerviosos que son dispositivos capaces de captar estímulos que les llegan y transformar estos estímulos en impulsos nerviosos que llegarán al sistema nervioso central. Pero los receptores, no sólo recogen información del exterior. La regulación del propio organismo, sólo es posible si se tiene información permanente de sus sistemas y aparatos, con el fin de poder llevar a cabo los mecanismos de la homeostasia. Para ello, hay todo un conjunto de receptores internos que envían sus señales a centros del sistema nervioso vegetativo. Los receptores pueden ser considerados neuronas muy modificadas, que en unos casos emitirán sus axones hasta el sistema nervioso central y en otros, harán contacto con las dendritas de neuronas que, a su vez, pondrán en contacto a este receptor con los centros nerviosos. En cualquier caso, la información, siempre codificada en impulsos nerviosos, llegará hasta distintos conjuntos de neuronas que la analizarán y elaborarán respuestas. Destacar en esta misión una amplia región de la corteza cerebral denominada corteza sensorial.

Se hace una diferenciación entre estímulos exteriores al organismo, cuyos receptores se integran en los órganos de los sentidos, son exteroceptores y estímulos internos, que son captados por receptores que llamaremos propioceptores e interoceptores. Éstos últimos serán comentados al final del tema.

Los receptores constan de una o varias células nerviosas especializadas o bien de simples terminaciones nerviosas, pero en ocasiones se unen en formaciones complejas y especializadas, en las que intervienen diferentes tejidos que conocemos con el nombre de órganos de los sentidos.

Se suele hablar de cinco sentidos: vista, oído, olfato, gusto y tacto. Como en tantas ocasiones, solemos tener el prejuicio de que son los únicos que existen en la naturaleza, puesto que son los que tenemos los humanos (los reyes de la creación). Simplemente recordar los campos eléctricos generados y también detectados por varias especies de peces. Las "brújulas" de orientación de las aves; los "ojos" para infrarrojos de muchas serpientes; la línea lateral de los peces; el sistema de ecolocación de los murciélagos y de los cetáceos; y un largo etcétera de increíbles "inventos" desarrollados en el mundo animal.



21.2 RECEPTORES TÁCTILES Y EL ÓRGANO DEL TACTO.

A) LA PIEL.

Los receptores táctiles (órgano del tacto) se hallan localizados en la piel, que recubre toda la superficie del cuerpo.

La piel está constituida por dos capas: una superficial o epidermis y otra profunda de mucho mayor espesor que es la dermis. Existen además en ella diversos órganos anejos.

1. Epidermis.

La epidermis está formada por tejido epitelial pavimentoso estratificado. Se distinguen en ella, desde su profundidad a la superficie, las siguientes capas:

Capa basal o germinal, formada por una sola capa de células cúbicas en constante división, que son las que van generando una tras otra las demás capas de células situadas encima.

Capa mucosa de Malpigio, integrada por varias capas de células poliédricas "recién nacidas" que a medida que se elevan se hacen más planas.

Capa granulosa, compuesta por varias capas de células aplanadas, cargadas de gránulos de queratina.

- Capa córnea, que es la más superficial, está formada por varios estratos de células muertas, sin núcleo, totalmente queratinizadas, que se van desprendiendo por descamación con los roces. (Se desprenden millones de ellas al cabo del día; en algunos casos se desprenden en grupos, aglutinadas por grasa constituyendo la caspa).

2. Dermis.

La dermis está formada principalmente por tejido conjuntivo. Su límite de separación con la epidermis no es recto, sino ondulado, formando unos salientes hacia aquélla. La capa más profunda de la dermis presenta abundancia de células cargadas de grasa, los adipocitos, que forman el panículo adiposo. Por toda la dermis se hallan distribuidos los vasos sanguíneos y los receptores táctiles.

Se pueden distinguir dos tipos de receptores táctiles: libres y encapsulados.

Los receptores libres son los más sencillos y constan de una simple terminación nerviosa que se ramifica entre las células de la capa germinal de la epidermis, sin protección ni envoltura alguna.

Los receptores encapsulados o corpúsculos táctiles se caracterizan porque las terminaciones nerviosas que los forman se hallan protegidas por envolturas de distinto aspecto, según el tipo de sensación táctil que pueden apreciar. Entre los corpúsculos táctiles tenemos los siguientes:

Corpúsculos de Vater Pacini, de forma ovoidea, son los de mayor tamaño y se sitúan en las capas profundas de la dermis.



Corpúsculos de Krause de forma redondeada y mucho más pequeños que los anteriores. Se sitúan en la capa superficial de la dermis.

Corpúsculos de Meissner de tamaño también muy pequeño, son los más abundantes.

Corpúsculos de Ruffini, situados profundamente.

En el dermis también se encuentran las células que dan color a la piel, llamadas células pigmentarias que contienen un pigmento denominado melanina (por esto, la caspa no tiene el color de la piel: las escamas de queratina son traslúcidas).

3. Órganos anejos

Existen en la piel dos tipos de órganos anejos (acompañantes), los faneros y las glándulas.

Los faneros están representados por los pelos, implantados en unas depresiones de la epidermis (folículos pilosos) y las uñas, que son diferenciaciones de la capa córnea de la piel (ambos están constituidos fundamentalmente por queratina. Son también estructuras epidérmicas de queratina las pezuñas, garras y cascos de los diferentes vertebrados, la "funda" de los cuernos de los toros, las astas de los ciervos, el cuerno de los rinocerontes así como las plumas de las aves y las escamas de los reptiles.

Entre las glándulas figuran: a) sudoríparas (descritas dentro del tema del aparato excretor). b) sebáceas, situadas al lado de la raíz de los pelos, que segregan una sustancia grasa que lubrica e impermeabiliza el pelo. c) Las mamas que se hallan en número de dos en la región pectoral, siendo funcionales en la mujer durante la época de la lactancia.

B) SENSACIONES TÁCTILES

Es posible distinguir tres tipos de sensaciones táctiles: mecánicas, térmicas y dolorosas.

Las sensaciones mecánicas o propiamente táctiles, comprenden la de tacto-vibración y la de presión. De la primera son responsables los corpúsculos de Meissner, tan abundantes precisamente en la yema de los dedos. La presión corre a cargo de los grandes corpúsculos de Vater Pacini. (La vibración supone una variación periódica de la presión, de frecuencia variable: que puedan ser detectados distintos movimientos vibratorios implica la existencia de receptores capaces de captar estos estímulos y de transmitir a una alta velocidad estas variaciones).

Las sensaciones térmicas permiten conocer si el cuerpo que entra en contacto con la piel es frío o caliente respecto de la temperatura que aquélla posee, de tal manera que cuando ésta es próxima a la del objeto, no se nota ninguna sensación térmica. Los corpúsculos sensitivos excitables por el frío son los de Krause, mientras que los que aprecian el calor son los de Ruffini. (Podemos captar fuentes térmicas hasta una cierta distancia, pero sin definición y en muchos casos sólo si están muy cercanas. Las víboras, los crótalos y las boas, entre otras serpientes, poseen acumulaciones de receptores térmicos capaces de captar una imagen de un animal que se encuentre a más temperatura que el medio circundante, de modo similar a los visores de infrarrojos que emplean los militares y algunos cazadores).

Toda excitación cutánea muy intensa (presión, frío, una lesión tal como un corte, una quemadura, un golpe, etc.) ocasiona una sensación dolorosa. Estas sensaciones intensas son principalmente recogidas por los receptores libres, que envían señales a la corteza cerebral, la cual las interpreta como dolor. Evolutivamente, el dolor tiene una importancia



capital para la supervivencia del individuo, aunque nos parezca sólo un problema que debería evitarse a toda costa.

Hay que insistir en el hecho de que no todo el cuerpo tiene la misma sensibilidad a los estímulos antes citados. Ello se debe a la diferente densidad de corpúsculos en las diferentes zonas corporales y, por supuesto, al número de neuronas de asociación existentes en el cerebro que analicen los impulsos nerviosos procedentes de los receptores. Zonas como las de los labios, la lengua o los dedos de las manos tienen un área sensitiva de corteza cerebral mayor que la que posee toda la espalda. (Ver fig. del "homúnculo sensorial").

21.3 RECEPTORES GUSTATIVOS. EL ÓRGANO DEL GUSTO.

A) EL ÓRGANO DEL GUSTO

Los receptores gustativos se hallan localizados en la boca, pero de modo fundamental en el dorso de la lengua, que se considera por ello el órgano del gusto.

Los receptores gustativos situados en la mucosa lingual se concentran en unas elevaciones o salientes denominados papilas linguales.

Las papilas linguales se clasifican según su forma varios tipos: a) filiformes en forma de pequeño filamento; b) coroliformes, terminadas en una corona de filamentos; c) fungiformes, en forma de seta; d) caliciformes en forma de pequeño cráter; y e) foliadas, a modo de hojas o laminillas. (Las papilas caliciformes y fungiformes son las únicas que albergan los receptores gustativos; las otras sólo acusan sensaciones táctiles y térmicas).

B) SENSACIONES GUSTATIVAS

Para poder apreciar las sensaciones gustativas es condición imprescindible que las sustancias sápidas sean líquidas, o sólidas disueltas, pues sólo así provocarán que los receptores envíen señales al sistema nervioso central.

Solamente se conocen cuatro tipos diferentes de sabores: amargo, dulce, salado y ácido o agrio. Cuando una sustancia no tiene sabor (agua pura por ejemplo), decimos que es insípida. Las papilas detectoras del sabor dulce se sitúan en mayor proporción en la punta de la lengua, las del sabor salado, en la punta y algo más hacia el interior; el sabor agrio es detectado con preferencia en los laterales de la lengua y, por último, las sustancias amargas son analizadas en la parte más interna.

Es verdad que a nosotros nos parece que existen un mayor número de sabores, pero esto se debe a que casi cualquier sustancia posee distintas moléculas sápidas y, los distintos estímulos son interpretados en el cerebro como una mezcla de sensaciones que dan el sabor propio a cada alimento (a estas sensaciones hay que añadirles las olfativas).

El mecanismo íntimo de análisis de los sabores por parte de los receptores es todavía un misterio: la glucosa es mucho menos dulce que la sacarosa (disacárido formado por glucosa y fructosa); el almidón no es nada dulce y sin embargo está compuesto por innumerables moléculas de glucosa. Por otra parte, la sacarina tiene un sabor dulce que la hace ser un sustituto de la sacarosa y sin embargo su composición química, orto-sulfimida-benzoica, no guarda ninguna semejanza con la anterior.



21.4 RECEPTORES OLFATORIOS. ÓRGANO DEL OLFATO.

A) EL ÓRGANO DEL OLFATO

Los receptores olfatorios se hallan localizados en las fosas nasales.

El interior de las fosas nasales se halla recubierto por una membrana mucosa muy fina denominada pituitaria. En la pituitaria se distinguen dos regiones: la inferior, llamada pituitaria roja por su color, debido a la gran vascularización que presenta, y la pituitaria amarilla, situada en el tercio superior de las fosas nasales. La pituitaria roja tiene por misión calentar el aire inspirado y limpiarlo de las partículas de polvo y la amarilla, al poseer células especializadas en dejarse impresionar por los olores, es la verdadera región olfatoria de las fosas nasales [no debemos confundirlas con la glándula pituitaria o hipófisis].

Los receptores olfativos constan de unas células epiteliales entre las que se sitúan las células olfatorias, de naturaleza nerviosa, con unas finas prolongaciones que afloran en la mucosa y se dejan impresionar por los olores. Los cilindro-ejes de estas células atraviesan el hueso etmoides del cráneo ingresando directamente en una región del encéfalo llamada bulbo olfatorio. se denomina placa cribosa a este área del hueso perforada.

B) SENSACIONES OLFATIVAS

Para que una sustancia sea olorosa e impresione a la pituitaria amarilla, es necesario que se halle en estado gaseoso y que sea soluble (ligeramente en agua e igualmente en lípidos). Hace falta además que la mucosa nasal esté húmeda y que se realice una inspiración para que las partículas volátiles olorosas lleguen a la parte alta de las fosas nasales.

Se considera que hay receptores olfativos sensibles a 7 tipos de olores o estimulantes olfatorios básicos y que, como en el caso del gusto, la llegada de diferentes estímulos será interpretada posteriormente por una región especializada del encéfalo, la corteza olfativa. [Una noticia del año 1.999 decía que se había detectado un octavo olor básico; los siete admitidos hasta entonces son: alcanforado, almizclado, floral, mentolado, etéreo, picante y pútrido].

Existe una estrecha relación entre los sentidos del gusto y del olfato. Una prueba de ello la tenemos en el hecho de que cuando estamos resfriados, con un catarro nasal, la comida "no nos sabe a nada", ya que la sensación de sabor y de olor, se interpretan juntas.

Ni que decir tiene que otros animales tienen una sensibilidad mucho mayor que la nuestra en cuanto a olfacción o gusto se refiere. Pensemos en los perros, capaces de captar olores de sustancias en concentraciones muy bajas –perros detectores de drogas o explosivos–.

[Comentario sobre el órgano de Jacobson de los reptiles]



21.5 RECEPTORES DEL EQUILIBRIO Y AUDITIVOS. EL ÓRGANO DEL EQUILIBRIO-OÍDO.

A) EL ÓRGANO DEL OÍDO-EQUILIBRIO.

Los receptores del equilibrio y auditivos se hallan localizados en un mismo órgano, que generalmente se denomina órgano del oído, y que es responsable de dos funciones diferentes de importancia vital: la orientación en el espacio (indispensable para el mantenimiento del equilibrio) y la audición. Trataremos de la audición en primer lugar, pero dejando claro que evolutivamente hablando, se trata de un "invento" que aprovecha parte de la estructura del órgano del equilibrio. Esta cuestión se tratará al final.

El oído es un órgano par, situado a ambos lados de la cabeza, y alojado en unos huecos labrados en el espesor de los huesos temporales del cráneo. Consta de tres partes: oído externo, oído medio y oído interno.

1. Oído externo. Está formado por la oreja y el denominado conducto auditivo externo.

La oreja o pabellón auricular es una expansión de la piel en forma de concha que recubre una lámina de tejido cartilaginosa flexible, con una serie de pliegues. La función es la de concentrar las ondas sonoras que llegan hasta allí para canalizarlas hacia el interior (aparte de sujetar las gafas a aquellos individuos con defectos en el sentido de la vista de los que se hablará más adelante. También sirven como sustrato en el que colgar adornos llamados pendientes). Repasando el grupo de los mamíferos, podemos considerar nuestras orejas como órganos poco desarrollados, no sólo en tamaño relativo sino en cuanto a movilidad: sin duda nos habremos fijado en el movimiento de las orejas de un gato o un perro en cuanto detectan un sonido con el fin de identificar con precisión la fuente sonora.

El conducto auditivo externo es un tubo de 2-3 cm. de longitud que desde la zona central del pabellón auricular penetra hacia el interior, revistiendo el correspondiente conducto óseo del hueso temporal. En sus paredes hay una serie de pelos y unas glándulas que fabrican una sustancia llamada cera o cerumen. Ambos elementos impiden el paso de partículas extrañas que podrían ser perjudiciales y hace más difícil que penetre el agua al mojarlos. En el fondo del conducto auditivo externo hay un tabique membranoso denominado tímpano, que marca el límite del oído externo con el oído medio. El tímpano es elástico y se halla tenso como el parche de un tambor.

2. Oído medio. Está formado por una cavidad llamada caja del tímpano excavada en el hueso temporal, que establece comunicación con la faringe, mediante un fino conducto denominado trompa de Eustaquio. La caja del tímpano presenta además tres orificios cerrados por membranas: el tímpano, ya citado, que establece el límite con el oído externo, y las ventanas oval y redonda, que limitan con el oído interno. Cruzando la cavidad del oído medio hay una cadena de huesecillos, enlazados por ligamentos entre sí y unidos a la pared de la caja del tímpano por músculos, denominados por su forma: martillo, yunque, lenticular y estribo (ver dibujo). El primero se apoya en la cara interna del tímpano y el último, o sea, el estribo lo hace, a modo de tapadera sobre la ventana oval.

3. Oído interno. Está constituido por unas cavidades excavadas en el espesor del hueso temporal. Estas cavidades, por ser muy complicadas reciben el nombre de laberinto óseo. Tales huecos óseos están tapizados interiormente por una pared membranosa que es como un molde del laberinto óseo y recibe el nombre de laberinto membranoso. En el pequeño espacio que queda entre ambos laberintos hay un líquido llamado perilinfa. Otro líquido, la endolinfa, ocupa el interior del laberinto membranoso.



En el oído interno (tanto en el laberinto óseo como en el membranoso) se distinguen tres partes, que son: el vestíbulo, los conductos semicirculares y el caracol.

El vestíbulo o parte central se subdivide, a su vez, en dos sacos llamados utrículo y sáculo. Del primero salen los conductores semicirculares; del segundo, más pequeño y situado más abajo, nace el caracol.

Los conductos semicirculares son tres tubos en forma de arco dispuestos en tres planos perpendiculares, uno en el plano vertical que corre de adelante a atrás; otro vertical de izquierda a derecha y, el tercero, horizontal (piensa en un sistema de coordenadas de tres ejes perpendiculares). En ellos se encuentran los receptores del equilibrio representados por las llamadas crestas auditivas, situadas en unas dilataciones o ampollas que presentan dichos conductos en una de sus desembocaduras.

- El caracol o cóclea recibe este nombre por ser un tubo enrollado en espiral cónica que, en los humanos, da casi tres vueltas, siendo el más largo de todos los mamíferos. El tubo (cónico) que forma el caracol, se halla dividido interiormente a todo lo largo en tres partes o conductos por la presencia de dos tabiques denominados membrana de Reissner (el superior) y membrana basilar (el inferior). Sobre la membrana basilar, ocupando el conducto intermedio, se sitúa el llamado órgano de Corti, que posee las células sensitivas encargadas de recoger las sensaciones auditivas. El conducto superior y el inferior se comunican al final del caracol por un orificio (helicotrema) y están rellenos de perilinfa. El conducto intermedio está relleno de endolinfa. Es muy importante saber dibujar y conocer la anatomía del caracol para comprender el funcionamiento del órgano. El órgano de Corti, es pues el conjunto de células sensoriales ancladas sobre la membrana basilar y rodeadas de células conjuntivas, junto con una membrana muy fina situada sobre los cilios sensitivos de las células anteriormente citadas; esta membrana, llamada membrana tectorial se ancla por uno de sus lados a la membrana de Reissner. Pero además, dentro de este órgano hay que considerar a la propia membrana basilar: esta lámina tiene la particularidad de ser muy elástica y de estar formada por fibras transversales de diferente longitud y grado de tensión. Es justo encima de cada fibra donde se sitúa una hilera de células sensitivas.

Este diseño puede compararse con las cuerdas de un piano, que también poseen diferentes grosores, longitudes y tensiones.

B) FUNCIONAMIENTO DEL OÍDO-EQUILIBRIO.

Como ya hemos indicado, en el órgano del oído se encuentran tanto los receptores del equilibrio y sentido del movimiento, como los auditivos.

1. Función del equilibrio y sentido del movimiento.

Cuando se realiza un movimiento, surge una aceleración, y con ella la endolinfa de los conductos semicirculares se desplaza, por inercia con respecto a los canales y al resto del cuerpo, desviando los cilios de las células sensitivas que forman las crestas que hay en dichos conductos (en realidad el líquido tiende a permanecer en su estado de reposo y es el propio cuerpo el que se mueve). Como los tres canales semicirculares están dispuestos en tres planos diferentes, un movimiento en cualquier sentido siempre provoca, por lo menos en uno de ellos, el desplazamiento de la endolinfa. Y, en general, afecta a los tres en mayor o menor medida. (Cuando nuestro cuerpo da muchas vueltas rápidas, la endolinfa se mueve demasiado rápidamente y el sentido del equilibrio informa mal al encéfalo; cuando dejamos de dar vueltas, la inercia mantiene al líquido en movimiento



durante algún tiempo por lo que nos sobreviene la sensación de mareo o vértigo). Por lo tanto, los canales semicirculares son los responsables del equilibrio dinámico.

Pero nuestro organismo también “sabe” la posición del cuerpo aunque no haya movimiento, de ello se encargan el utrículo y el sáculo, cavidades rellenas de endolinfa y tapizadas por células sensitivas, que también poseen un cilio en su extremo. En el líquido se hallan unos pequeños fragmentos de carbonato cálcico llamados otolitos, los cuales descansan, por gravedad, en la parte más baja de ambas cavidades. Allí donde se encuentran posados, las células sensitivas son presionadas, sirviendo este contacto de estímulo para que envíen impulsos nerviosos a la corteza cerebral. Esta información en realidad sirve para conocer sólo la posición de la cabeza. Pero contamos con células sensitivas situadas entre las células musculares que informan del grado de tensión que posee cada músculo (son propioceptores) y, los mismos receptores de tacto dan a conocer qué parte del cuerpo está en contacto con el suelo (por ejemplo los de los pies al estar de pie; todos los de la parte dorsal del cuerpo si estamos tumbados boca arriba; etc. La propia presión que ejercen unos órganos sobre otros, debido a la gravedad también dan indicación de nuestra posición).

Todos los vertebrados poseen un órgano del equilibrio semejante y, como ya se ha dicho con anterioridad, evolutivamente es un órgano más antiguo que el de la audición. De hecho, este último se forma “aprovechando” estructuras procedentes del órgano del equilibrio, como son las células sensitivas que se estimulan ante la presión que se ejerce sobre su cilio. Es lógico, por otra parte, que el órgano del equilibrio sea anterior al de la audición, ya que puestos a elegir, ¿qué resulta más imprescindible para la supervivencia, mantenerse erguido o escuchar sonidos?

[Casi todos los grupos animales poseen algún órgano del equilibrio y, en la mayoría de los casos, consiste en una cavidad con células sensitivas con una o varias piedrecitas].

[La cadena de huesecillos está formada por huesos que en los reptiles forman parte de las mandíbulas, y el caracol procede del alargamiento del sáculo, con el que está en contacto; las células sensibles son muy semejantes a las que hay en esta cavidad. Es muy interesante el camino recorrido por todas estas estructuras a través del tiempo. Recuerda la teoría neodarvinista.]

2. Función auditiva.

Como se ha indicado, corre a cargo del órgano de Corti, situado dentro del caracol y tiene lugar de la siguiente forma:

Las ondas sonoras, que son ondas semejantes a las de tipo P de los seísmos pero transmitidas por el aire (ondas de presión), son recogidas por el pabellón auricular y dirigidas hacia el conducto auditivo externo en el que penetran, recorriéndolo hasta el final, donde chocan con el tímpano y lo hacen vibrar. Las vibraciones del tímpano son transmitidas por la cadena de huesecillos del oído medio hasta la ventana oval, la cual es desplazada hacia dentro y hacia fuera, del mismo modo que lo hace el tímpano. La cadena de huesecillos funciona como un sistema de palancas que permite pasar de una onda de presión del aire en una onda de presión en líquido; directamente, el aire no podría empujar el líquido (se dice que es un sistema para ajustar impedancias: para vencer la resistencia del líquido). Las vibraciones, al tomar contacto con la perilinfa del oído interno originan en ésta unas ondas que se transmiten a todo lo largo de la cavidad superior del caracol llegando hasta el final y retornando por la cámara inferior (en comunicación con la



anterior por el helicotrema) hasta llegar a la ventana redonda. Así, cuando el tímpano es empujado hacia adentro, a su vez empuja a la cadena de huesecillos, que en su movimiento empujan a la ventana oval hacia el interior, que por su parte desplaza la perilinfa, la cual hace que la ventana redonda sea movida hacia fuera del oído interno. (Con unos esquemas sencillos se comprende fácilmente). La cadena de huesecillos tiene otra función importante: ante un sonido muy intenso y siempre que no sea demasiado brusco, unos pequeños músculos tiran del estribo y del martillo de modo que no se transmita toda la energía y se evitan daños en el órgano de Corti del oído interno.

Cuando un sonido, que es una mezcla de ondas sonoras de distintas frecuencias (más adelante se resumen las cualidades del sonido), llega al tímpano ya sabemos lo que sucede: las ondas se transmiten por la perilinfa de la cámara superior y vuelven por la inferior. Dado que la membrana basilar es elástica tienden a hacerla vibrar, pero sólo vibrarán aquellas fibras elásticas que posean la misma frecuencia de vibración que alguna de las ondas que ha penetrado [cualquier objeto vibra al comunicarle una energía, y lo hará un número determinado de veces por segundo. Es lo que se conoce como frecuencia natural de vibración. Dependerá del material, longitud, tensión, etc.]. Las fibras que no posean una frecuencia de vibración igual a la de ninguna onda, no vibrarán. Las que lo hagan, se desplazarán lo suficiente como para que también se muevan las células sensitivas que tienen encima, las cuales rozarán, sus cilios, con la membrana tectorial, estimulándose y enviando impulsos eléctricos al cerebro. La corteza cerebral auditiva analiza los impulsos que le llegan, y en su "mapa mental" puede determinar de qué sonido se trata.

Características o cualidades de los sonidos: los sonidos se caracterizan por tres propiedades, la intensidad, el tono y el timbre.

Intensidad: es la cantidad de energía que se transmite, podemos decir que es sinónimo del volumen del sonido. A mayor intensidad, más fuertemente vibran las fibras de la membrana basilar y más impulsos por segundo envían las células sensoriales estimuladas. La intensidad de los sonidos se mide en Decibelios. Por encima de los cien decibelios, el sonido es muy molesto y puede llegar a causar daños.

Tono: el tono de un sonido viene marcado por la frecuencia de vibración del mismo (nº de vibraciones o ciclos por segundo o Hertzios). Cuando la frecuencia se duplica, triplica, etc. se obtiene un sonido parecido (en un piano, el sonido Do se repite varias veces en diferentes octavas). Los sonidos de baja frecuencia se llaman graves o bajos y los de alta frecuencia son agudos o altos. El oído humano, sano y joven, puede llegar a detectar sonidos que van desde los 20 a los 20.000 Hertzios.

Timbre: casi ningún sonido es puro, sino que en realidad siempre resultan ser una mezcla de ondas de diferentes frecuencias. Esta mezcla es debida a que la producción de los sonidos está muy influenciada por las características de la fuente (materiales, diseño...). Así, una nota musical como el Do, suena de distinta forma aunque se la reconozca como tal, según sea emitida por un piano, por un saxofón, por un cantante, etc. Nuestro oído es capaz de analizar y distinguir diferentes timbres, y por eso reconocemos los sonidos emitidos por diferentes instrumentos musicales, personas y objetos en general, aunque pudieran tener la misma intensidad y tono.

Una vez más hay que insistir en que por muy sofisticado que sea un órgano de los sentidos, es precisa la existencia de una compleja trama neuronal que analice e interprete los impulsos que recibe: un perro es capaz de oír sonidos de mucha menor intensidad que



los que podemos captar los humanos, y su oído capta sonidos de alta frecuencia (ultrasonidos) que nosotros ni intuimos, pero es difícil que pueda sentir algo especial al escuchar una obra de Mozart o una música discotequera, según los casos.

[→Sistemas de ecolocación en quirópteros y cetáceos. Estereofonía]

21.6 LOS RECEPTORES VISUALES Y EL ÓRGANO DE LA VISTA

A) EL ÓRGANO DE LA VISTA

Como en los casos anteriores, existen células sensitivas que ante ciertos estímulos emiten impulsos nerviosos (eléctricos) al cerebro. Se trata, como en el caso de los órganos de los otros sentidos, de células nerviosas especializadas, capaces de emitir impulsos que se transmiten bien directamente a través de sus axones al cerebro o bien contactando con neuronas de asociación. Si las células olfativas y gustativas son quimiorreceptoras y las de los órganos del tacto y del equilibrio-oído son mecanorreceptoras, las del sentido de la vista son fotorreceptoras, es decir, se estimulan ante la incidencia de fotones, o lo que es lo mismo, de energía luminosa. Los distintos tipos de fotorreceptores serán analizados al estudiar el ojo.

El aparato visual se compone de un órgano principal, el globo ocular, que está rodeado de unos órganos anejos algunos de los cuales sirven para protegerlo (cejas, párpados y aparato lacrimal) y otros para darle movimiento (músculos oculares). El órgano de la vista ocupa las dos cavidades u órbitas que se encuentran en la calavera, simétricamente situadas a uno y otro lado de la parte superior de la cara.

1. Globo ocular

Cada globo ocular es aproximadamente una esfera de unos 2 cm. de diámetro, con una pared y un contenido.

a) Pared. La pared está formada por tres capas que de fuera a dentro son las siguientes:

La esclerótica (escleros = duro), es de color blanco ("blanco del ojo") aunque en su parte anterior es transparente y más abombada, recibiendo el nombre de córnea. La función de la esclerótica es la de dar una cierta consistencia y protección al globo ocular y servir de inserción a los músculos motores del ojo. La función de la córnea es la de permitir la entrada de la luz, modificando la dirección de los rayos luminosos dirigiéndolos hacia los receptores; actúa como una lente y si está dañada, puede ser causa de ceguera o, en el mejor de los casos, de defectos visuales como el astigmatismo.

- La coroides, es una capa de color negro, debido a la melanina que posee (la misma que da color a la piel o al pelo). Esta capa es muy rica en vasos sanguíneos destinados a nutrir el ojo. En su parte anterior, al llegar al nivel de la córnea, se continúa por un disco vertical, denominada iris, de color variable según las personas (a este color nos referimos cuando decimos ojos azules, pardos, etc. y también es debido a la presencia de diferentes concentraciones de melanina), con un orificio central llamado pupila. El iris es una lámina de tejido muscular de fibra lisa, cuyas fibras se disponen de dos maneras: unas radiales, que al contraerse hacen aumentar el tamaño de la pupila, y otras circulares cuya contracción la cierra. Este cambio de diámetro se produce en función de la cantidad de luz incidente y está controlada por los sistemas nerviosos simpático (apertura) y parasimpático (cierre) que inervan unas u otras fibras musculares.



- La retina que es la membrana más interna del ojo, recubre por dentro a la coroides. Es muy fina y está formada por células nerviosas que son los verdaderos receptores visuales. Los axones de estas células son muy cortos y contactan con neuronas de asociación que se hallan en la propia retina y que las interconectan; también en la retina se encuentran los cuerpos neuronales de neuronas de largos axones que salen del globo ocular en dirección al cerebro. Todos estos axones forman el nervio óptico, que atraviesa el cráneo. La pequeña área redondeada de la retina por donde sale el nervio óptico recibe el nombre de punto ciego, porque carece de receptores para la visión. Por encima del punto ciego hay una pequeña depresión redondeada de color amarillento, que es la fovea o mancha amarilla y en la cual existe la máxima agudeza visual.

[En los vertebrados, las terminaciones de las células fotorreceptoras dan al interior del globo ocular y no a la coroides. Allí contactan con neuronas de diferentes tipos situadas en varios "pisos". Todas las neuronas de la última fila concentran sus axones en un único nervio, que tiene que atravesar la propia retina para salir del globo ocular hacia el cerebro. Es por ello, que existe un punto ciego en la retina con la consiguiente pérdida de visión en una zona y que la luz debe atravesar las diferentes capas de neuronas y los propios cuerpos celulares de los fotorreceptores para llegar a estimular a dichas células, con la consiguiente pérdida de intensidad lumínica: una estupenda "chapuza evolutiva". Es curioso que, entre los detractores de la teoría de la evolución, durante mucho tiempo se ha empleado precisamente el ojo de los mamíferos como ejemplo de inmejorable "diseño inteligente del Creador". Más curioso todavía: el ojo de pulpos y calamares, órgano análogo de nuestro ojo, posee una retina directa y no invertida: en ese sentido poseen un ojo "más perfecto" que el nuestro].

Existen dos tipos de receptores visuales: los conos y los bastones. Deben sus nombres a la forma aproximada que poseen estas células (ver dibujos). Los conos son los responsables de la visión de los colores. Para funcionar precisan de mucha intensidad lumínica. Por eso, son los responsables de la visión diurna, y hay tres tipos: los que son sensibles al color verde, los sensibles al azul y los sensibles al rojo. Cualquier color que imaginemos puede descomponerse en estos tres colores básicos, (o lo que es lo mismo, mezclando en diferente proporción los tres colores antes mencionados podemos obtener cualquier otro; no hay más que fijarse en las celdillas que posee el televisor en color de la casa o el monitor del ordenador: se repiten los tres colores [¡Pero atención!: no es cualquier rojo, ni cualquier azul, ni cualquier verde]). Los receptores envían impulsos nerviosos al cerebro cuando se estimulan ante la llegada de la luz correspondiente. A mayor intensidad luminosa, mayor nº de impulsos por segundo. Los conos se encuentran en la zona central de la retina que es un área situada en la parte posterior del ojo, enfrente de la córnea, iris y pupila y, en su centro, la zona de la mancha amarilla o fovea es la que posee mayor densidad de estas células y, por lo tanto, la que permite captar con mayor detalle las imágenes, formándose éstas con mayor nitidez y menor deformación. Los bastones son células más alargadas, que se encuentran alrededor de la retina central. Hay un área llamada retina intermedia en la que se alternan con algunos bastones, pero a partir de un límite, son las únicas células receptoras de luz y constituyen la retina periférica, tapizando el interior del globo ocular hasta las inmediaciones de los músculos del cristalino. Los bastones son sensibles a cualquier tipo de onda luminosa, no distinguiendo colores sino simplemente luz y son estimuladas por intensidades muy bajas de luz, siendo responsables de la visión nocturna (de este hecho parte el dicho de "por la noche todos los gatos son pardos").



El funcionamiento de los conos y los bastones está bien estudiado; de modo muy simplificado diremos que interviene un pigmento visual, la rodopsina, una proteína que lleva asociado un carotenoide derivado de la vitamina A (recuerda la relación entre la vit. A y el caroteno y por lo tanto deduce la relación que hay entre “comer zanahorias y tener buena vista”) que al recibir la luz cambia su configuración espacial. Este cambio es suficiente para desencadenar un impulso nervioso. La célula tarda un tiempo en hacer que el pigmento recupere su configuración inicial, de modo que mientras esto sucede, si la luz se ha extinguido, conos y bastones siguen enviando información al cerebro. Los conos tardan más tiempo en recuperarse que los bastones (1/16 de segundo) y al fenómeno se le denomina persistencia de la imagen en la retina. Esta característica de las células fotosensibles ha permitido el diseño de inventos notables como el cine, la televisión o los monitores de ordenador, y también nos permite ver bien a pesar de que nuestras bombillas ¡se encienden y apagan 50 veces cada segundo! [comentarios en clase: repasar ejemplos; comprobar la existencia del punto ciego, ver con el “rabillo del ojo”].

.b) Contenido. El contenido del globo ocular está dividido en dos compartimentos por un órgano transparente en forma de lente biconvexa que se llama cristalino y que se sitúa inmediatamente detrás del iris. La función del cristalino es la de producir el enfoque de la imagen luminosa que penetra en el ojo en la retina, para que pueda interpretarse con nitidez. Está rodeado por un anillo de células de músculo liso (músculo ciliar).

La cavidad que hay entre la córnea y el cristalino está llena de una sustancia líquida incolora que es el humor acuoso. La situada detrás del cristalino, limitada por la retina, de mayor tamaño, contiene una sustancia viscosa, gelatinosa, denominada humor vítreo. Ambos líquidos tienen una doble función, por un lado, forman un esqueleto hidrostático que da consistencia al globo ocular y, por otra, facilitan el paso de los rayos luminosos, colaborando con el sistema de lentes del ojo para que la imagen se proyecte adecuadamente en la retina (recuerda el concepto de refracción de ondas, relacionado con los cambios de la velocidad de las mismas y la dirección estudiado en el tema de ondas sísmicas).

2. Órganos anejos

Los órganos anejos del ojo son: las cejas, los párpados, el aparato lacrimal y los músculos.

Las cejas son un conjunto de pelos en forma de arco, situado sobre la órbita, cuya misión es impedir que el sudor de la frente penetre en los ojos, desviándolo hacia las sienes.

Los párpados son dos pliegues de la piel uno superior y otro inferior, recubiertos por dentro por una finísima membrana llamada conjuntiva que también recubre por delante la córnea. En su borde libre se implantan las pestañas y desembocan por unos pequeñísimos orificios numerosas glándulas sebáceas. 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. Por determinados motivos como el uso de lentillas, escasez de lágrima, agentes externos, etc. la membrana conjuntiva puede sufrir una inflamación, hablándose de conjuntivitis.

El aparato lacrimal está formado en primer lugar por las glándulas lacrimales, situadas en la parte superior externa de cada ojo, las cuales segregan las lágrimas, líquido que después de humedecer el globo ocular para evitar su desecación, se escurre por un fino conducto que arranca del ángulo interno del ojo, el lacrimal, (fácilmente observable en la



mayor parte de las variedades humanas y tapado por el párpado en muchos pueblos asiáticos). y va a parar a un saco lacrimal, que desemboca en las fosas nasales (cuando se ha llorado, el pañuelo no se emplea para secarse los ojos sino para sonarse la nariz).

Los músculos del ojo permiten que se pueda mover el globo ocular hacia arriba, hacia abajo y hacia los lados, para dirigir la mirada en distintas direcciones, sin mover la cabeza.

Los músculos del ojo son seis, antagonistas dos a dos. Dada la posición de éstos, su contracción provocará el giro del globo ocular hacia arriba, hacia abajo o hacia los lados, respectivamente. Ambos ojos se mueven de forma sincronizada para orientarse hacia el mismo objeto observado; cuando el objeto en cuestión está muy próximo y con el fin de centrar bien la imagen, cada uno de ellos se mueve de diferente forma (bizqueo). Como es lógico suponer, hay un área en la corteza cerebral que se encarga del control de los movimientos.

B) FUNCIONAMIENTO DEL ÓRGANO DE LA VISTA

1. Formación de imágenes en la retina

El globo ocular, por su modo de funcionar, puede compararse a una máquina fotográfica; por eso las imágenes que se forman en la retina, tal y como ocurre con las que se impresionan en la máquina fotográfica, son reales, invertidas y más pequeñas que los objetos.

Los receptores visuales de la retina transforman los estímulos luminosos que reciben en impulsos nerviosos, que son conducidos al cerebro por el nervio óptico. Esta es la razón por la cual, aunque la imagen que se impresiona en la retina es invertida, nosotros la percibimos derecha, pues por el nervio óptico no circulan imágenes, sino impulsos nerviosos que el cerebro reconstruye provocando la sensación visual.

2. Iluminación y enfoque de las imágenes visuales

Tal como ocurre con las cámaras fotográficas, la nítida formación de las imágenes en la retina requiere una correcta iluminación y enfoque.

La regulación de la luminosidad corre a cargo del iris, que actúa como un diafragma al variar automáticamente el diámetro de la pupila, de tal manera que frente a una luz muy intensa la reduce, y cuando la luminosidad es escasa la aumenta.

El enfoque o acomodación se debe al cristalino, que puede modificar su curvatura aplanándose o abombándose. Cuando se enfocan objetos lejanos, al cristalino se aplanan, y al revés ocurre cuando los objetos se sitúan cerca del ojo, hasta llegar a una distancia de 15 cm. en que el cristalino no puede abombarse más y no hay posibilidad de enfocar el objeto. En este caso, la cámara fotográfica no actúa igual: el enfoque se produce por acercamiento o alejamiento de las lentes puesto que éstas son indeformables. [Los tiburones emplean este mecanismo: un cristalino casi esférico e indeformable es movido atrás o adelante. El resto de los peces también posee un cristalino esférico e indeformable, pero en este caso, unos músculos externos al ojo deforman el globo ocular (es la retina la que se acerca o se aleja del cristalino)].

3. Visión binocular y estereoscópica

La visión practicada con los dos ojos o visión binocular permite el reconocimiento muy exacto de la forma, relieve, posición y sobretodo de las distancias a los objetos en el espacio. La visión binocular se logra cuando los dos ojos barren el mismo campo de visión.



Para conseguir un amplio ángulo de visión binocular (ver esquemas) es preciso que los dos ojos estén situados en el mismo plano. En el caso de los humanos es así, visión frontal, pero no ocurre por ejemplo en un gorrión o un caballo, en los que los ojos son laterales en vez de frontales. ¿Puede existir alguna razón lógica para ello?

Una de las principales ventajas de la visión binocular es la apreciación del relieve o visión estereoscópica. Esta particularidad depende de que las dos imágenes de un mismo objeto, formadas en las dos retinas, no son vistas exactamente en la misma posición, y esto permite la apreciación de la distancia con notable exactitud. [Resolución de la cuestión anterior en clase].

4. El cerebro está detrás

Hay que volver a insistir en que por muy perfecto que sea un órgano de los sentidos, tiene que haber un centro de procesado de la información, capaz de analizar los datos enviados por aquél. Existe una corteza visual situada en la parte más posterior del cerebro, pero el análisis de la imagen comienza a hacerse en la propia retina: allí, los diferentes tipos de neuronas conectados entre sí y a los fotorreceptores procesan datos y envían impulsos según cómo sean los estímulos visuales (no se trata aquí de saber qué es lo que exactamente hacen). Posteriormente, los nervios ópticos entran en el cerebro y continúan emitiendo axones a diferentes centros nerviosos, y al final se entrecruzan en lo que se llama quiasma óptico, para llegar a la corteza visual (sobre el cerebelo y en pleno cogote).

Principales defectos visuales. Se comentarán en clase los principales conocidos, relacionados con anomalías en el sistema óptico: miopía, hipermetropía, astigmatismo, cataratas, vista cansada o presbicia, glaucoma, desprendimiento de retina; en los receptores: ceguera a los colores, ceguera nocturna; en el sistema nervioso: ceguera nerviosa; en los órganos anejos: estrabismo.

21.7. INTEROCEPTORES Y PROPIOCEPTORES

Bajo estos nombres se incluyen aquellos receptores de estímulos que informan del funcionamiento de los órganos del interior del organismo. La mayor parte de ellos envía la información a zonas del sistema nervioso vegetativo por lo que el análisis y elaboración de respuestas se realiza sin que tengamos consciencia de ello en la mayor parte de los casos. Pero se hace una distinción entre los dos términos que es la siguiente: los interoceptores se encargan de recoger información acerca del funcionamiento de las vísceras y los propioceptores están especializados en informar del estado de contracción y estiramientos de los músculos y de los ligamentos e igualmente los hay que informan de la velocidad angular a la que se desplaza una articulación. Dentro de estos propioceptores se suele incluir a los receptores situados en el sáculo y, por lo tanto, la misión de todos estos receptores es la de hacer saber al sistema nervioso central la posición exacta de nuestro cuerpo y de cómo se están efectuando los movimientos; esto último es muy importante para poder llevar a cabo las correcciones adecuadas conforme se están enviando las órdenes motoras: el cerebelo afina aun más sus respuestas para que los movimientos sean precisos.



Se comentarán sólo uno pocos ejemplos de estos receptores:

Interoceptores:

Mecanorreceptores de presión (barorreceptores): detectan cambios en la presión sanguínea. Se localizan en las paredes de las arterias carótidas; de la arteria aorta; de las venas cavas y del propio corazón.

Quimiorreceptores de CO₂: se encuentran en el bulbo raquídeo y se estimulan ante una concentración de dióxido de carbono excesiva. Respuesta: aumento frecuencias cardiaca y respiratoria.

Termorreceptores internos: El hipotálamo es capaz de detectar la temperatura que hay a su alrededor y, junto con la información recibida de termorreceptores de la piel, elabora respuestas tendentes a mantener la homeotermia (termostato).

Terminaciones nerviosas libres: están encargadas de enviar impulsos que serán traducidos como señales dolorosas.

Quimiorreceptores de concentración de iones: situados en el hipotálamo, permiten la regulación de la osmolaridad.

Propioceptores:

Husos musculares: informan del estado de contracción de los músculos; permiten al cerebro hacerse una idea de cuál es nuestra posición, así como la de nuestros miembros. Las que posee el estómago o la vejiga urinaria informan sobre el grado de llenado (por distensión) de estos órganos.

Órganos tendinosos de Golgi: informan del grado de estiramiento de los ligamentos de las articulaciones y de la velocidad con la que se están moviendo dichas articulaciones.

Sáculo: Aunque incluido en el sentido del equilibrio y localizado en el oído interno, sus fibras nerviosas viajan junto con las de los demás propioceptores a la misma zona de la corteza, constituyendo todo ese sistema de receptores el mecanismo de control de la posición (las células receptoras del sáculo permiten conocer la posición de la cabeza y, las otras, la posición del resto del cuerpo. Así, en conjunto, podemos saber cómo nos situamos en el espacio).