

COORDINACIÓN NERVIOSA

1. SISTEMA NERVIOSO:

_Las neuronas son las células del tejido nervioso, su principal característica es que conducen y procesan información.

_Receptores: estructuras que captan los cambios que se producen tanto en el medio que rodea al animal como en su medio interno y traducen la información en una corriente nerviosa.

_Vías nerviosas: estructuras formadas por neuronas que comienzan en los receptores.

_Fibras: medio por el cual las neuronas transportan la corriente eléctrica (información) también combinan la información procedente de varias vías produciendo una respuesta.

_Centros nerviosos: conjunto de vías que se estructuran jerárquicamente de tal forma que proporcionan unas modalidades de comportamiento.

_FUNCIONES:

• movimiento del animal

• funciones viscerales

• mediante el sistema endocrino establece unos vínculos cuyo resultado es la homeostasis (mantenimiento de la constancia del medio interno) y regulación de la conducta lo que permite la adaptación del animal.

2. PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL NERVIOSA

2.1 POTENCIAL DE MEMBRANA

_Potencial de reposo de la membrana: diferencia de potencial entre el interior y el medio extracelular creado por la membrana de las células nerviosas.

_Razón del potencial de reposo:

• permeabilidad selectiva de la membrana para los distintos iones

• mantenimiento metabólico de dicho potencial

_Equilibrio de Donnan: la desigual permeabilidad obliga a un desigual reparto de concentraciones iónicas a ambos lados con neutralidad eléctrica en cada uno de los lados de la membrana.

_Bomba de sodio y potasio: es un mecanismo activo (consume ATP) que contrarresta la mayor tendencia del K^+ a salir que el Na^+ a entrar, ya que rompe el equilibrio iónico. Se trata de una estructura proteica que se encarga de fijar el Na^+ del interior y el K^+ del exterior y cambiarlos. Se intercambian 3 Na^+ por 2 K^+ , este flujo no es compensado por la difusión pasiva. La bomba de sodio y potasio también sirve para compensar las entradas masivas de Na^+ cuando la membrana se despolariza. El potencial de reposo se alcanza en el punto de equilibrio entre el proceso de difusión pasiva y la bomba de sodio y potasio; para que se alcance y se mantenga se requiere que la célula disponga de suficiente energía para que la bomba continúe

funcionando.

2.2 POTENCIAL DE ACCIÓN

_Si el estímulo es poco intenso o permanece poco tiempo el potencial vuelve a su valor de reposo, si la despolarización producida rebasa un cierto valor umbral la membrana procede a despolarizarse de una forma regeneradora.

_Potencial de acción: pico del potencial de membrana que se produce por la despolarización al recibir un estímulo intenso, se puede transmitir a zonas adyacentes que termina por afectar toda la superficie celular, entonces se ha originado una corriente de acción.

_El potencial de acción es un sistema todo o nada, debido que no hay respuestas inmediatas entre una respuesta completa y otra mínima abortiva.

_Fases del potencial de acción:

- Fase de despolarización
- 2. Fase de repolarización
- Fase de hiperpolarización
- Fase de reposo

_Secuencia con que se producen:

a) Aumento de la permeabilidad de Na^+ : se abren los canales de Na^+ , pueden ocurrir dos cosas: dicha salida es escasa y puede ser contrarrestado por la salida de K^+ , originándose un potencial local sin consecuencias; o bien, la entrada de Na^+ no puede ser contrarrestada y se produce una despolarización de la membrana, se mantienen los canales de Na^+ abiertos hasta alcanzar el potencial de acción.

b) Inactivación de permeabilidad de Na^+ : una vez alcanzado el potencial de acción los canales de Na^+ se cierran al poco de alcanzarlo, determinando así los otros procesos de vuelta al reposo, se denomina período de refractariedad absoluta.

c) Aumento de la permeabilidad de K^+ : el cambio inicial de potencial de membrana determina un aumento de la permeabilidad de K^+ mediante la apertura de unos canales específicos, este mecanismo está retardado respecto al del Na^+ , este aumento acelera la vuelta del potencial a la posición de reposo.

La permeabilidad del K^+ continua, se alcanza un potencial de membrana que se aproxima al potencial de equilibrio del K^+ , por debajo del potencial de reposo, constituye una hiperpolarización. En este momento de refractariedad relativa la fibra puede ser de nuevo excitada pero se requiere una despolarización capaz de superar el valor umbral.

d) Inactivación de permeabilidad al K^+ : los canales de K^+ terminan por cerrarse, entonces la difusión pasiva y la bomba de sodio/potasio consiguen devolver el potencial al valor de reposo.

2.3 LA CONDUCCIÓN DEL POTENCIAL DE ACCIÓN

_Circuitos locales: se generan por el movimiento de cargas positivas de la zona activada a la de reposo por el interior y de la zona de reposo a la activada por el exterior.

_Corriente de acción: onda de propagación del potencial de acción que termina por afectar a toda la célula dando lugar al impulso nervioso.

_Los impulsos siempre se generan en las dendritas o en el cuerpo neuronal, los impulsos nerviosos se propagan en dirección hacia el pericarión en las fibras sensitivas y alejándose del pericarión en las fibras motoras y de asociación.

_La conducción del impulso nervioso a lo largo de una fibra nerviosa se realiza según el tipo de fibra que se trate:

a)Fibras desnudas: se va propagando sucesivamente el impulso nervioso desde la zona donde inicialmente se generó, debido al período de refractariedad el impulso es conducido en un solo sentido, por conducción continua.

b)Fibras con vaina de mielina: la existencia de dicha vaina impide el intercambio iónico entre los medios intra y extracelular excepto en los nodos de Ranvier la conducción se produce entre un nodo y el siguiente. Es por conducción saltatoria y tiene una velocidad de propagación del impulso muy superior a la continua. Todas las fibras nerviosas de gran longitud presentan una vaina de mielina para evitar retrasos, si la separación entre los nodos es excesiva el circuito local puede no ser capaz de despolarizar suficientemente el siguiente nodo.

3. TRANSMISIÓN INTRACELULAR

_Sinapsis: estructura especial que permite que el impulso nervioso se transmita de una célula a otra. Consta de:

• Elemento presináptico: generalmente es el axón, aunque también pueden ser las dendritas, conduce el impulso nervioso hasta la zona de transmisión.

• Elemento postsináptico: normalmente las dendritas (aunque también puede ser el axón), al llegar el impulso nervioso se producen una serie de cambios capaces de generar un nuevo impulso nervioso.

_Sinapsis eléctricas: se da en los invertebrados y en los vertebrados inferiores, se establece la sinapsis por yuxtaposición de membranas y paso de los iones por unas uniones íntimas.

_Sinapsis química: es la más corriente en los mamíferos son las mediadas por la liberación de una sustancia a la brecha sináptica.

3.1 SINAPSIS ELÉCTRICAS

_No requieren neurotransmisores.

_La transmisión del impulso nervioso se trata como un único elemento sin que exista el retardo sináptico.

_No están polarizadas pudiendo transmitir el impulso nervioso en ambos sentidos.

_Tienen carácter sólo excitador.

3.2 SINAPSIS QUÍMICAS

_Los dos elementos están separados por una hendidura o brecha sináptica lleno de mucopolisacáridos.

_El elemento presináptico tiene:

• Vesículas sinápticas: contienen neurotransmisores sintetizados por la propia neurona.

• Microfilamentos: forman una red en la que quedan atrapadas las vesículas sinápticas, la actina es uno de los elementos constitutivos.

• Membrana presináptica: posee en su cara interna una serie de proyecciones densas unidas por su base a la membrana en la que quedan huecos, en la zona de membrana existen unos poros (sinaptoporos) por los que se produce la salida al exterior del neurotransmisor contenido en vesículas. Uno de los elementos constitutivos es la miosina.

El elemento postsináptico:

• Receptores específicos: son estructuras proteicas, actúan como receptores de determinados neurotransmisores, están acopladas a canales específicos para determinados iones.

• Vesículas: contienen un enzima encargada de catalizar la destrucción del neurotransmisor fijado a los receptores.

3.3 NEUROTRANSMISORES

La acetilcolina (ACh): neurotransmisor del sistema somático; al no poderse hidrolizar el ACh el resultado es la inactivación de la vía nerviosa y un mal funcionamiento de los sistemas nervioso y neuromuscular lo que puede conducir a la muerte por parálisis de los músculos respiratorios.

Aminas biogénicas: liberada por las células posganglionares del sistema simpático.

• Catecolaminas: adrenalina y noradrenalina

Aminoácidos:

• Ácido glutámico: actúan en la sinapsis excitadoras del SNC de los vertebrados y las sinapsis neuromusculares de algunos invertebrados.

• Ácido gamma-aminobutírico: inhibidor del SNC.

Neuropéptidos: en algunos casos estas sustancias actúan como hormonas. Por ejemplo: hormona antidiurética, hormonas liberadoras hipotálamicas y distintas hormonas gastrointestinales.

Opioides endógenos: el cerebro produce neuropéptidos (endorfinas y encefalinas) de forma natural, tienen propiedades analgésicas naturales y productoras de placer euforia. El opio, la morfina y la heroína son usados por el hombre para estimular tales receptores, las altas dosis provocan cambios metabólicos en las neuronas receptoras, al faltar el producto se produce un malestar que sólo remite al volverse a administrar la droga, se denomina adicción.

3.4 TRANSMISIÓN DEL IMPULSO NERVIOSO EN LAS SINAPSIS QUÍMICAS

Al llegar el impulso nervioso al elemento presináptico éste provoca la apertura de los canales de Na^+ y de Ca^{++} , el Ca^{++} entra en la célula y activa el sistema de actina-miosina, el cual arrastra las vesículas sinápticas. Las vesículas son forzadas a penetrar en los huecos y verter su contenido por los sinaptoporos.

Los neurotransmisores son captados por los receptores específicos (situados en el elemento postsináptico y activa la apertura de canales para determinados iones), produce un cambio de polaridad. Este potencial puede tomar cualquier valor en función de la cantidad neurotransmisor-receptor.

La variación de la polaridad provoca la apertura de las vesículas que contienen los enzimas de inactivación del neurotransmisor, éstos desactivan el receptor y motivan el cierre de los canales. Un neurotransmisor sólo mantiene activado un receptor durante un corto periodo de tiempo. Los productos residuales se utilizan para sintetizar nuevos neurotransmisores.

Características de las sinapsis químicas:

- Necesitan un mediador químico.

- Existe un retardo sináptico entre la llegada del impulso al elemento presináptico y la aparición de un potencial postsináptico, suficientemente grande para generar un nuevo impulso nervioso.

- Las sinapsis están polarizadas, luego la transmisión únicamente se puede realizar en un sentido.

Podemos clasificar los receptores de dos formas:

a) Rapidez con que realizan la transmisión:

- Rápidos: de regulación directa de la apertura de los canales (receptores nicotínicos de la acetilcolina); el receptor puede estar situado en la misma estructura que forma el canal de los iones o muy próximo a él.

- Lentos: regulación indirecta de la apertura de los canales (receptores muscarínicos de la acetilcolina). El complejo neurotransmisor-receptor activa un enzima ligado a la membrana, que cataliza el paso de ATP a AMP-cíclico. Éste activa unos sistemas proteína-quinasa los cuales son los que controlan la apertura de los canales iónicos.

b) Efectos sobre la polaridad de la membrana: un mismo neurotransmisor puede tener efecto excitador o inhibidor según el receptor en el que actúa.

- Excitadores: la unión nt-rp determina la apertura de los canales de Na^+ esto provoca un potencial de acción transmisible (rp acetilcolina de las uniones musculares, β -receptores adrenérgicos que se activan por la adrenalina y noradrenalina).

- Inhibidores: se abren los canales específicos para el K^+ , éste sale de la célula y provoca una hiperpolarización, como consecuencia la posibilidad de generar un impulso nervioso en esa zona se ve disminuida (acetilcolina del músculo cardíaco, β^2 -receptores adrenérgicos que se estimulan por la adrenalina y en menor cantidad por la noradrenalina).

3.5 INTEGRACIÓN NEURONAL

Cada neurona puede recibir un número elevado de impulsos nerviosos pero sólo es capaz de generar un impulso cada vez, ésta actúa como un centro de integración, decide o no la generación de impulsos que serán transmitidos.

La llegada de un solo impulso por una sinapsis no es capaz de provocar la generación de un impulso, son necesarios más impulsos o bien que se reciban simultáneamente por varias sinapsis excitadoras. El impulso nervioso se produce cuando el sumatorio de todos los impulsos recibidos sea capaz de modificar la polaridad de la membrana hasta alcanzar el valor umbral, lo que causa la apertura de los canales de Na^+ y la aparición de un potencial de acción.

La zona de procarina más próxima a la salida del axón es la que tiene mayor densidad de canales de Na^+ , provoca que el umbral de descarga sea menor, cuanto más próxima a esta zona se encuentre una

sinápsis mayor es su efectividad.

3.6 CIRCUITOS Y CENTROS NERVIOSOS

_Circuito neuronal: distintas vías que puede seguir el impulso nervioso desde su origen hasta su destino, pueden ser: cadenas lineales, circuitos convergentes, divergentes, paralelos y reverberantes.

_Centro nervioso: conjunto de neuronas interconexionadas, localizadas en una zona delimitada del sistema nervioso central y que regulan una función determinada. Muchos son pares actuando en direcciones opuestas e inhibiéndose recíprocamente.

_Existen dos tipos de neuronas: unas de gran tamaño haciendo sinapsis con neuronas exteriores y unas menores que sólo se relacionan con neuronas de su propio centro. El número de neuronas y el grado de complejidad son característicos de cada centro nervioso

4.SISTEMAS SENSORIALES

_Estímulos: diferentes formas de energía ambiental que pueden ser captadas por las células receptoras.

_Los mecanismos básicos de la percepción sensorial son comunes, la variación se presenta en función de la localización de los rcp en el organismo (en el interior o internorreceptores, en el exterior externorreceptores) o de la naturaleza del estímulo (quimiorreceptores, mecanorreceptores, electrorreceptores, receptores térmicos o fotorreceptores).

• LOS RECEPTORES COMO TRADUCTORES

_Mecanismo de transducción: las células rcp tienen una estructura equivalente a la de la sinápsis, estando polarizadas (potencial de reposo) y disponiendo de canales específicos para determinados iones que se abren con la llegada de los estímulos para los que están especializados, determinando una despolarización variable (potencial rcp) en función del tiempo de apertura, el estímulo ha quedado transducida a una señal nerviosa que se conducirá por las vías en forma de potencial de acción.

_En muchos casos la célula rcp inicia una cascada enzimática que amplifica la señal, originándose una señal nerviosa cuya energía es mucho mayor que la del estímulo.

_La transducción es diferente según el tipo de órgano sensorial:

• Recepción de un órgano sensorial complejo: la llegada del estímulo motiva una alteración que puede consistir en una modificación de la permeabilidad de la membrana de ciertos iones (el estímulo es el responsable directo) o en una modificación del metabolismo interno del elemento rcp que altera la permeabilidad de la membrana a ciertos iones (el estímulo es el responsable indirecto).

Existe una relación directa (no lineal) entre la intensidad del estímulo aplicado y el potencial del receptor generado, mayor intensidad del estímulo más número de canales abiertos. El potencial del receptor determina la liberación de neurotransmisores químicos, éstos son captados por la neurona asociada y provoca en ella un potencial de excitación postsináptico (potencial generador), existe una relación lineal entre ambos potenciales.

Se establece un circuito local con las zonas adyacentes de la neurona sensorial y si el potencial generador es suficientemente alto, se produce una despolarización lo bastante alta para abrir los canales de Na⁺ y la aparición de un potencial de acción, se genera el impulso nervioso.

Cuanto más intenso es el estímulo más pronto se genera el impulso nervioso, una vez alcanzado el potencial de acción pasa por un período de refractariedad, cuando concluye se genera un nuevo impulso y mientras el estímulo permanezca el potencial receptor y el potencial generado se mantienen. La intensidad del estímulo es transformada por el rcp en frecuencia de transmisión de impulsos, dependiendo también del tiempo de aplicación del estímulo.

• Recepción de un órgano sensorial sencillo: el receptor es la propia neurona, el estímulo produce directamente la aparición del potencial generador

• SENSIBILIDAD Y ADAPTACIÓN DE LOS RCP

_Valor umbral: valor mínimo del estímulo para provocar una respuesta, varía para cada rcp y puede variar en animales de una misma especie y en animales de distinta especie.

_Umbral diferencial: variación en la intensidad del estímulo preciso para causar diferencias apreciables en el grado de sensación, cuanto mayor es la intensidad mayor es el umbral diferencial.

_Adaptación: propiedad que tienen los rcp de dejar de transmitir (rcp físicos o de adaptación rápida) o de reducir la frecuencia de transmisión (receptores táctiles o de adaptación lenta) al persistir la aplicación de un estímulo constante. Puede ser debida a un descenso en el potencial generador por agotamiento del nt o por acomodación de la membrana, en otros casos se debe a una característica de la transmisión de señales.

4.3 QUIMIORRECEPTORES

_Existen células cuya actividad viene coordinada por la llegada de ciertas sustancias químicas específicas: quimiorreceptores, células rcp gustativas y células olfatorias. Por otra parte muchos tejidos responden metabólicamente al recibir en sus rcp a las hormonas.

_Receptores del gusto: se encuentran agrupados en los botones gustativos o yemas que se encuentran en las papilas gustativas en los surcos que se abren por una abertura o poro gustativo. El botón gustativo consta de células epiteliales y células gustativas que están conectadas con fibras nerviosas sensoriales. Las células basales se encargan de sustituir por mitosis a las células que van muriendo. Cada célula gustativa es sensible a un tipo de agente químico que a su llegada produce una alteración de la permeabilidad de la membrana y una disminución de su potencial de reposo proporcional a la concentración de la sustancia. La excitación es muy lenta y con sensibilidad moderada. Se localizan en la mucosa lingual y la parte anterior de la boca y de la faringe.

Los distintos tipos de sensaciones son: dulce (asociado a un conjunto amplio de moléculas), salado (asociado a sales iónicas), agrio o ácido (asociado a la presencia de hidrogeniones), amargo (grupo muy heterogéneo de sustancias orgánicas) y el umami (glutamato monosódico).

_Receptores del olfato: tienen alta sensibilidad y especificidad, están asociados al sistema respiratorio. Son rcp químicos a distancia y pueden apreciar olores debidos a sustancias cuya concentración en el aire es infinitesimal. Está asociado a la supervivencia e inversamente a la vista.

La zona olfatoria está en la parte más profunda de las cavidades nasales y en los vertebrados fuera de la corriente respiratoria.

En la zona olfatoria junto a las células de sostén y las células basales se encuentran las células receptoras olfatorias, neuronas bipolares cuyas terminaciones dendríticas llegan hasta la superficie en donde proyectan varios cilios al exterior en la capa de moco. Cada célula del epitelio nasal tiene solo un tipo de

receptor, todas las células con el mismo tipo de receptor envían sus señales al mismo glomérulo del área específica del cerebro, la información es enviada al córtex cerebral, donde se forma la imagen del olor. A esta forma llegan también más o menos simultáneamente la información procedente de las papilas gustativas constituyéndose una imagen conjunta (flavor). En este sentido la adaptación no se debe a la falta de respuesta del rcp sino a un efecto inhibitor de los circuitos neuronales centrales de la vía olfatoria.

4.3 MECANORRECEPTORES

— Son los receptores que responden a estímulos mecánicos incluyen los del sentido del dolor y el tacto que forman parte de los sentidos somáticos, los del sentido muscular que informan del grado de contracción muscular, los del equilibrio (mantener la posición) y los fonorreceptores (sentido del oído).

4.3.1 LOS SENTIDOS SOMÁTICOS

— La piel está formada por:

• La epidermis: en el interior o germinativo las células sufren continuas mitosis y migran hacia la superficie donde sufren cambios degenerativos formando el estrato córneo de células aplanadas queratinizadas y muertas.

• La dermis: en el interior del tejido conjuntivo, rico en fibras colágenas y fibras elásticas que en su parte más profunda tiene adipocitos.

• Melanocitos: contienen melanina responsable de la pigmentación de la piel y protege de la luz ultravioleta.

— Tipos de piel (según el vello):

• Piel glabra: sin vello en las palmas de las manos y en las yemas de los dedos.

• Piel velluda: en la mayor parte del cuerpo de los hombres y en el resto de los mamíferos.

— Receptores sensoriales de la piel:

• Terminaciones nerviosas libres: tanto en la piel glabra como en la velluda responden a estímulos mecánicos de dolor, al calor y al frío.

• Corpúsculos de Pacini: en las capas profundas de la dermis, son receptores de la presión, captan los cambios rápidos de presión o contacto y de adaptación rápida. Hay una gran cantidad y la distribución no es uniforme. Los analizadores centrales pueden hacer discriminaciones muy finas de forma, relieve y magnitud de la presión de los objetos.

• Discos de Merckel de la piel glabra: se encuentran cerca de la unión de la dermis y la epidermis, detectan la intensidad estática de estímulos de presión–contacto.

• Los corpúsculos de Meissner: en la piel glabra, en la base de las papilas dórnicas y responden a la sensación del tacto y son receptores de gran adaptabilidad, son sensibles a los contactos rápidos o muy ligeros.

• En la piel velluda, los tallos y folículos pilosos están englobados por las terminaciones de cinco a diez fibras nerviosas sensitivas que han perdido la cubierta de Schwann, dichas terminaciones responden a

pequeños desplazamientos del pelo.

4.3.2 SENTIDO MUSCULAR Y CINESTESIA

_Sentido muscular: nos proporciona la información exacta de la posición de los músculos y tendones.

_Cinestesia: sentido de la posición y movimiento de los miembros, contribuye los receptores de la piel y los rcp del aparato músculo-esquelético incluyendo también sensaciones de esfuerzo, de fuerza y de peso.

_Los rcp sensitivos del aparato músculo-esquelético son:

• Husos musculares: formados por fibras musculares modificadas, unidas en pequeños haces en el interior de los músculos que informan del grado de estiramiento del músculo.

• Órganos tendinosos de Golgi: se encuentran en el interior del tendón del extremo del músculo e informan del grado de estiramiento del tendón.

• Rcp de las articulaciones: son de varios tipos y similares a los de la piel, informan de la posición de la articulación.

4.3.3 EL SENTIDO DEL EQUILIBRIO

_La función del sentido del equilibrio es mantener la información de las posiciones y movimientos de rcp propioceptivos, los cutáneos, los viscerales y otros rcp que se encuentran en el oído interno.

_Los responsables del equilibrio estático y la aceleración lineal, se encuentran en el utrículo y el sáculo.

_Rcp de la percepción de movimientos angulares: se encuentran en los conductores semicirculares, hay 3 distribuidos en los 3 planos del espacio forman 45° con los planos sagital y frontal del cráneo.

_Los conductos: unen entre sáculo a 3 divertículos (utrículo, sáculo, cisterna) formando el laberinto membranoso. Este conjunto está relleno de un líquido (endolinfa) y rodeado por otro (perilinf), que separa el laberinto membranoso (laberinto óseo) que lo encierra.

_Utrículo: en el interior se encuentra en la mácula formada por células ciliadas con sus cilios proyectados en una capa gelatinosa en la que se encuentran unas concreciones calcáreas (otolitos). Las células ciliadas reciben terminaciones nerviosas sensitivas.

Los otolitos están en contacto con los cilios, los cambios de posición estimulan un grupo de cilios concretos. Este sistema informa constantemente al sistema nervioso central de la posición relativa de los otolitos. Para que perciban también la aceleración es preciso que esté supere ciertos valores.

_Sáculo: no interviene en el sentido del equilibrio y no se conoce su función.

_Conductos semicirculares: existen las zonas receptoras (crestas) de la aceleración angular, las crestas tienen células ciliadas cuyos cilios engloban en una sustancia gelatinosa (cúpula) que divide la zona en dos partes.

_Sensibilidad a la dirección del giro: al producirse una rotación rápida la cúpula se desplaza, pero la endolinfa por inercia tiende a conservar su posición empujando a la cúpula y estimulando a los cilios; éstos están orientados en una misma dirección los que les hace sensibles únicamente a la dirección del lado donde se produce la estimulación, ya que el contrario se produce una inhibición. Dada la disposición

de los conductos semicirculares captan todas las orientaciones del giro.

4.3.4 EL OÍDO

Fonorreceptores: son mecanorreceptores especializados que convierten cambios rítmicos de presión en descargas nerviosas que son interpretadas como sonidos por el sistema nervioso central.

El oído es una estructura especializada con 3 partes:

• Oído externo: comprende la oreja y el conducto auditivo externo. La oreja sirve para una mejor captación de los sonidos y el conducto auditivo externo se prolonga desde el exterior hasta el tímpano.

• Oído medio: es una cavidad temporal separado del conducto auditivo externo por el tímpano y comunicado al oído interno por 2 aperturas (ventana oval y ventana redonda). Contiene una cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo), el primero está fijado al estrato conjuntivo del tímpano y el último forma un cierre de la ventana oval. Transmite y amplifica las vibraciones del tímpano a consecuencia de la llegada del sonido. La cavidad timpánica se comunica con la faringe por la trompa de Eustaquio su finalidad es equilibrar las presiones a ambos lados de la membrana timpánica.

• Oído interno: en él se encuentran los fonorreceptores. Es un conjunto de cavidades óseas (laberinto óseo), rellenas de perilinfa que se comunica con el líquido cefalorraquídeo, que encierran una estructura limitada por tejido epitelial (laberinto membranoso) que contiene endolinfa. El laberinto membranoso consta de dos semicirculares, el utrículo y el sáculo y de la cóclea.

La cóclea membranosa está fijada a la ósea, sin espacio entre ambas. Dos membranas (basilar y vestibular) la dividen en 3 compartimentos. El dorsal (rampa vestibular) y el ventral (rampa timpánica) están conectadas entre sí con el vestíbulo, conteniendo perilinfa. El intermedio (rampa media o conducto coclear) se comunica con las otras porciones del laberinto membranoso y está repleto de endolinfa.

En el conducto coclear se encuentra el órgano de la audición (órgano de Corti). Sobre la membrana basilar se disponen hileras de células ciliadas sensitivas; los pilares de Corti dividen una hilera de células ciliadas internas y 3 células ciliadas externas. Estas reciben las terminaciones nerviosas y sobre ella encontramos una membrana (tectorial) que se extiende a lo largo de todo el órgano de Corti y pueden apoyarse sobre las células deformándolos.

Los movimientos vibratorios del tímpano son recogidos por el martillo y transmitidos por la cadena de huesecillos. Los movimientos del estribo sobre la ventana oval se convierten en ondas de compresión y se propagan sucesivamente a la perilinfa, membranas limitantes del conducto coclear y endolinfa. La onda de la membrana motiva el elevamiento de la membrana basilar y el aplastamiento de los cilios de las células auditivas contra la membrana tectorial y genera estímulos auditivos. La localización del sonido es debida a la audición binaural, de esta forma se puede apreciar las diferencias de tiempo de la llegada del sonido a los oídos y determinar de qué dirección procede.

4.4 FOTORRECEPTORES: LA VISIÓN

La luz no provoca directamente el impulso nervioso sino que pone en marcha un conjunto de reacciones químicas cuyo punto final es el impulso, estas células contienen pigmentos que absorben la luz y actúan como un disparador.

Ojo: estructura específica en el que se encuentran los fotorreceptores de los vertebrados; tiene 3 capas:

• Esclerótica: tejido conjuntivo denso que protege y mantiene la forma del globo ocular, en su polo anterior

hay una lente convexo-cóncava transparente (córnea).

• Coroides: capa fuertemente vascularizada y con un epitelio pigmentario, a lugar al iris.

• Retina: no forma una capa completa y es la zona sensorial.

En el interior del globo ocular encontramos una segunda lente (cristalino) que sujeta al coroides por fibras musculares, que divide al globo en un compartimiento anterior con las cámaras anterior y posterior (repleto de humor vítreo).

El ojo gracias a su sistema de lentes y a la capacidad de enfoque cristalino proyecta una imagen real e invertida del objeto sobre la retina. En la parte anterior, la membrana pigmentada (iris) y el orificio central que delimita (pupila) actúan como diafragmas regulando la cantidad de luz que penetra. El globo ocular se encuentra protegido por párpados, pestañas y glándulas lacrimales de los elementos extraños que podrían dañar la córnea.

La retina es el órgano receptor formada por capas superpuestas en la más profunda, la capa pigmentada, se encuentra la capa fotorreceptores.

Hay dos tipos de células rcp (conos y bastones) su estructura es:

• Segmento externo: grueso y cónico en los conos y delgado en los bastones. Hay un acúmulo de discos de doble membrana perpendiculares al eje de la célula. Se encuentra el pigmento visual (rodopsina). Su orientación es perpendicular a la trayectoria de los rayos de luz para recibir la máxima excitación.

• Segmento interno: contiene todos los órganos citoplasmáticos.

• Terminal sináptica: los bastones son más sensibles a la luz que los conos, pero con menor poder de resolución o agudeza visual.

La mácula lútea (en el centro de la retina) está compuesta por conos, en ella las capas de neuronas están desplazadas, por ello la luz incide directamente, es una zona de baja sensibilidad (necesaria mucha luz) y máxima agudeza visual.

En la periferia predominan los bastones es una zona de gran sensibilidad y menor agudeza.

La rodopsina está compuesta por opsina (prot) y un grupo prostético que al incidir la luz sobre el cambia formando la lumino-rodopsina, luego se separa en opsina y todo-trans-retinal que en ausencia de luz vuelve a generar rodopsina. No se conoce cómo este cambio químico altera la permeabilidad del Na⁺.

Únicamente los primates, algunos mamíferos y las aves perciben los colores. La absorción para los 3 colores primarios (azul, verde, rojo) es independiente por 3 tipos de conos. La opsina presenta modificaciones responsables de los diferentes espectros de absorción de la rodopsina. En la ceguera de colores existe una ausencia de rodopsina o deficiencia de alguno de los tipos de opsina.

5.SISTEMAS EFECTORES

5.1 CONTRACCIÓN DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

Los músculos esqueléticos poseen una estructura especializada para la contracción que produce el movimiento del animal, ésta se produce como respuesta a la llegada de un estímulo nervioso y es consecuencia del deslizamiento de unos miofilamentos respecto a otros, con consumo de energía y

producción de calor.

El impulso nervioso circula como corriente de acción por la fibra nerviosa, pero no puede transmitirse directamente a la fibra muscular debido a la brecha sináptica. Por ello se produce la liberación del neurotransmisor acetilcolina, esta almacenada en el elemento presináptico y es vertida al llegar el impulso, rellenando la brecha, luego es captada por los rcp de la fibra muscular y origina un potencial de acción que se transmite y origina la contracción.

En la membrana los canales de Na^+ están acoplados a la proteína específica para la acetilcolina y sólo permanecen abiertos mientras ésta está unida al rcp. Se crea una despolarización de la membrana que se convierte en corriente de acción si alcanza unos valores mínimos. La acetilcolina permanece poco tiempo ya que la despolarización causa también la rotura de unas vesículas que contienen acetilcolinesterasa que descompone la acetilcolina.

Los sistemas T son los encargados de iniciar los procesos que darán lugar a la contracción tras producirse la corriente de acción. Los sistemas T (contiene una bomba de Ca^{++}), tienen una concentración muy superior de Ca^{++} que el sarcoplasma. La corriente de acción provoca una salida masiva de este ion, al desaparecer la bomba vuelve a retirar el Ca^{++} del sarcoplasma y efectúa un gasto de energía (ATP).

La presencia de una determinada concentración de Ca^{++} es indispensable para la contracción. En el músculo en reposo los miofilamentos primarios y secundarios están separados porque el complejo tropomiosina-troponina bloquea los puntos de fijación de la actina y miosina. La salida del Ca^{++} determina la activación de la troponina y un cambio de la disposición estructural del complejo que deja libre los puntos de fijación.

Dos Ca^{++} se unen a la cabeza de la miosina (en reposo presenta unida una molécula de ADP y posee una reserva energética de la hidrólisis del ATP), abatiéndose los puentes y uniéndose la actina y miosina, formando el complejo activado (actina-miosina), que efectúa un giro (porque es muy inestable) arrastrando al miofilamento secundario hacia el interior de los miofilamentos primarios.

El complejo pasivo (complejo también activado) es el que pierde el ADP y es estable ya que sólo se deshace en presencia de ATP en el medio, en este caso se fija a la cabeza de la miosina (provoca la separación actina-miosina), se hidroliza y parte de la energía se emplea en realizar un giro opuesto y parte se almacena.

Si al realizarse el giro opuesto sigue habiendo Ca^{++} el puente vuelve a unirse a otros puntos de fijación de la actina y se repite el proceso. Se produce una contracción por la unión y posterior giro un número repetido de veces.

Si al volver los puentes hacia arriba el Ca^{++} ha sido retirado del medio no se realiza la unión actina-miosina, los puentes de irán separando paulatinamente y los componentes elásticos del músculo devolverán el miofilamento secundario a su posición de reposo.

Si el ATP se agota durante el transcurso del proceso los complejos actina-miosina pasivos no se deshacen y provoca la contracción permanente (rigor mortis en el caso extremo).

5.2 CONTROL NERVIOSO DEL MÚSCULO Y EL MOVIMIENTO

La innervación motora no es independiente, está realizada por fibras nerviosas de tipo axónico, cuyas neuronas (neuronas $\hat{I}$) se localizan en las astas anteriores de la médula espinal. La fibra nerviosa (fibras $\hat{I}$) al llegar al músculo se ramifica y penetra en los tabiques conjuntivos formando unas terminaciones arborescentes que se ponen en relación con fibras musculares

_Unidad motora: constituye la unidad funcional del músculo esquelético; está constituido por una neurona-í±, una fibra-í± y las fibras musculares inervadas.

Las fibras nerviosas de una unidad motora no están agrupadas, sino que están intercaladas con las de otras unidades formando una especie de damero. Todas las fibras de una misma unidad tienen las mismas características.

_Tono muscular: grado de contracción necesario para mantener una postura determinada sin realizar ningún movimiento, por tanto el músculo se encuentra en un estado de tensión permanente, involuntaria e inconscientemente.

_El tono muscular se regula mediante un reflejo a nivel de médula espinal (reflejo miotático o postural), es el grado de estiramiento del músculo captado por el huso muscular y que se transmite a la médula, ahí se origina una señal a las fibras extrahusuales para que se contraigan, simultáneamente se inhiben las neuronas que provocan la relajación de la masa muscular antagonista. En el reflejo de retirada entre la neurona sensitiva y la motora hay otra neurona de asociación o interneurona.

La información procedente de los rcp al llegar a la médula se bifurca a otros segmentos medulares que activan o inhiben a otros músculos implicados en el movimiento reflejo.

Finalmente la información llega hasta enfalo en el cerebelo y cerebro, aquí se toma la decisión de ejecutar el movimiento correspondiente y coordinarlo con otros. Así se regula la locomoción, la manipulación, los movimientos voluntarios y el habla. La corteza cerebral puede modificar voluntaria y conscientemente la realización de estos movimientos al actuar sobre el cerebelo.

5.3 OTROS EFECTORES

_Glándulas: Órganos formados por células secretoras cuya misión principal es la de sintetizar y secretar alguna sustancia química.

• Glándulas endocrinas: fabrican hormonas que son secretadas al torrente circulatorio y que actúan sobre células y órganos alejados. Algunas son células nerviosas que pueden secretar hormonas a la sangre. Son las células neuroendocrinas del hipotálamo, de la hipófisis posterior y de la médula adrenal. En otros casos no depende de una innervación directa de las glándulas.

• Glándulas exocrinas: vierten su secreción, no son nerviosas pero están bajo control nervioso a través del sistema vegetativo. La llegada del estímulo libera al neurotransmisor que origina una despolarización que permite la entrada del Ca^{++} y provoca el movimiento de los gránulos superficiales hacia la membrana, originándose la secreción de la sustancia. En otros casos la secreción glandular permanece almacenada en alvéolos y el estímulo nervioso actúa sobre células mioepiteliales que se contraen y empujan el contenido de los alvéolos fuera.

_Efectores independientes: células que funcionan sin necesitar control externo, respondiendo a estímulos que ellas mismas perciben (células con cilios y flagelos?).

_Órganos eléctricos: efectores especializados en la producción de un campo eléctrico fuera del cuerpo. Por ejemplo: raya eléctrica, anguila eléctrica.

_Efectores bioluminiscentes: producen luz mediante la oxidación de un sustrato. En el caso de la luciérnaga está bajo control nervioso.

_Cromatóforos: son células efectoras pigmentadas, la respuesta a ciertos estímulos puede originar un

cambio en la forma de dichas células o en la distribución de los pigmentos de dentro y con ello la coloración del animal.