

Capítulo 47. Integración y control II: el sistema nervioso

El sistema nervioso, junto con el sistema endocrino, integra y controla las numerosas funciones que capacitan a un animal para regular su ambiente interno y reaccionar y enfrentar al ambiente externo.

Dentro del reino animal se puede constatar una complejidad sensorial creciente, una mayor capacidad de procesamiento de la información y una tendencia a la centralización de grupos neuronales en ganglios. La evolución ha favorecido una especialización en los sistemas nerviosos en recibir información, codificarla y transmitirla de neurona en neurona.

El sistema nervioso central consta del cerebro y la médula espinal, que en los vertebrados, están contenidos en el cráneo y la columna vertebral. La porción del sistema nervioso que se encuentra fuera del sistema nervioso central constituye el llamado sistema nervioso periférico.

En los vertebrados, las neuronas de salida del sistema nervioso periférico están organizadas en dos divisiones principales: el sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo. El sistema autónomo tienen a su vez dos ramas- el sistema simpático y el parasimpático- que son anatómica, fisiológica y funcionalmente distintas. La unidad funcional del sistema nervioso es la neurona o célula nerviosa. Una neurona está formada por dendritas que reciben estímulos; un cuerpo celular que contiene el núcleo y la maquinaria metabólica que también recibe estímulos y un axón o fibra nerviosa, que envía estímulos a otras células.

La información recibida de los ambientes interno y externo, y las instrucciones llevadas hacia los efectores son transmitidas en el sistema nervioso en forma de señales electroquímicas. En el estado de reposo, hay una diferencia en carga eléctrica entre el interior y el exterior de la membrana celular del axón -el potencial de reposo-. Luego de la estimulación apropiada ocurre un potencial de acción, que es una inversión transitoria en la polaridad de la membrana. El potencial de acción que se transmite a lo largo de la membrana axónica es el impulso nervioso. Como todos los potenciales de acción tienen la misma amplitud, el mensaje llevado por un cierto axón puede variar sólo con un cambio en la frecuencia o en el patrón de los potenciales de acción. En las fibras miélicas, el impulso nervioso salta de un nodo a otro de la vaina de mielina, acelerándose así la conducción.

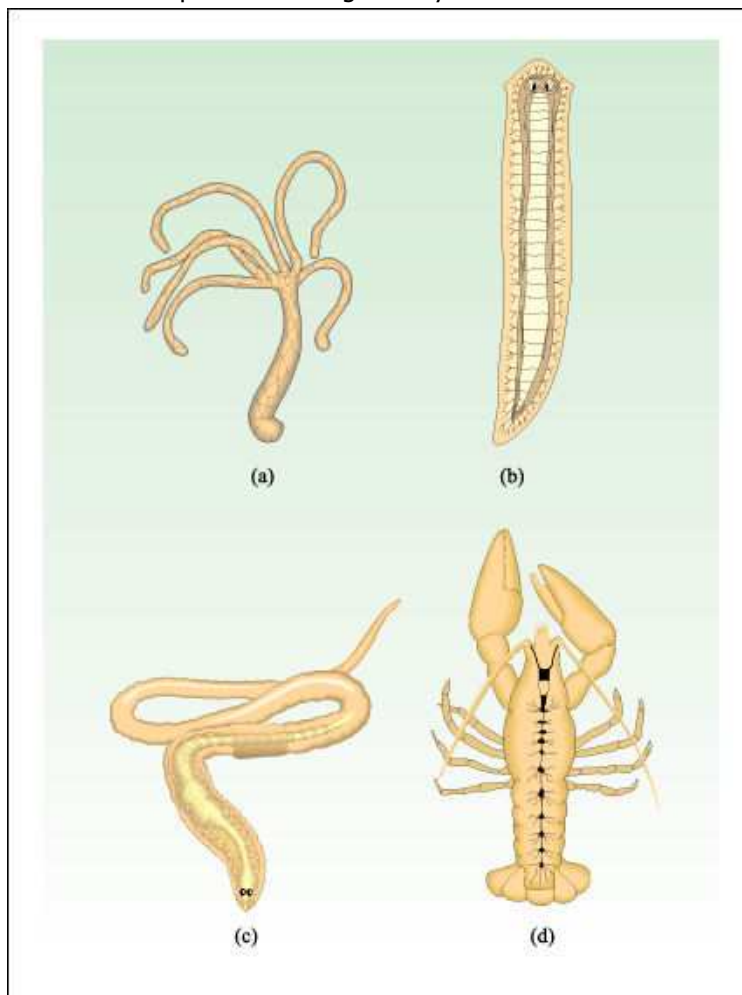
Las neuronas transmiten señales a otras neuronas a través de uniones llamadas sinapsis. En la mayoría de las sinapsis, la señal cruza la hendidura sináptica en forma de una sustancia química, un neurotransmisor, que se une a un receptor específico en la membrana de la célula postsináptica. También intervienen neuromoduladores. La unión de un neurotransmisor o de un neuromodulador a su receptor puede abrir o cerrar un canal iónico de membrana o poner en movimiento un segundo mensajero. El efecto final es un cambio en el voltaje de la membrana de la célula postsináptica.

Una sola neurona puede recibir señales de muchas sinapsis y, según la suma de las señales excitadoras e inhibitoras, se iniciará o no un potencial de acción en su axón. Así, las neuronas individuales funcionan como importantes centros de transmisión y control en la integración de la información por el sistema nervioso.

Evolución de los sistemas nerviosos

Al comparar los sistemas nerviosos de los invertebrados, desde los más simples hasta los complejos, se evidencia una tendencia a la concentración de tejido nervioso en zonas especializadas y protegidas.

En los vertebrados, el sistema nervioso es dorsal, y se encuentra notablemente desarrollado. Sus centros principales de procesamiento -la médula espinal y el cerebro- están encerrados y protegidos por los huesos de la columna vertebral y del cráneo. En la evolución de los vertebrados se observa una tendencia hacia la cefalización. La integración precisa que acompaña a esta centralización posibilita comportamientos complejos.



a) Hydra, un cnidario; b) una planaria; c) una lombriz de tierra. d) un cangrejo de río.

En Hydra a), un cnidario, el impulso nervioso se propaga de modo difuso a lo largo de la red nerviosa desde el área de estimulación. En la planaria, b), hay dos cordones nerviosos longitudinales y cierta agregación de ganglios y órganos sensoriales en el extremo anterior. En los anélidos, como la lombriz de tierra c), los cordones nerviosos longitudinales están fusionados en un doble cordón nervioso ventral. En el cangrejo de río d), un artrópodo, el cordón nervioso también es doble y ventral, con una serie de ganglios, casi tan grandes como el cerebro, que controlan segmentos particulares del cuerpo.

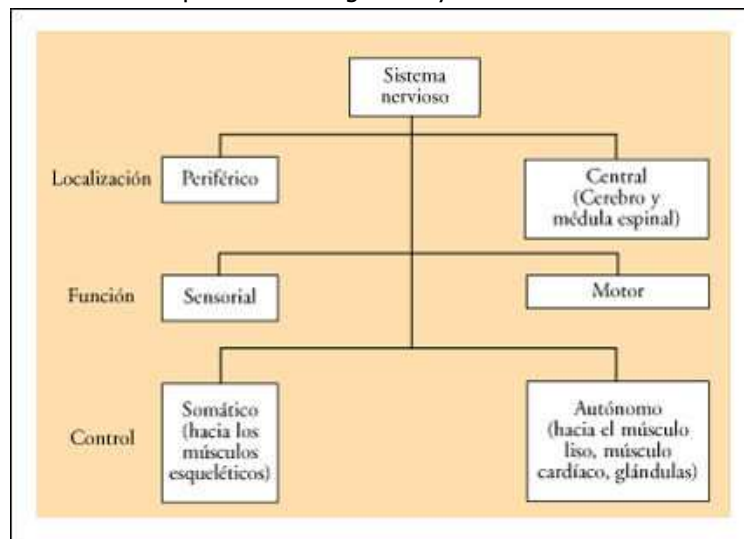
Organización del sistema nervioso de los vertebrados

El sistema nervioso de los vertebrados tiene subdivisiones que pueden ser distinguidas por criterios anatómicos, fisiológicos y funcionales. La principal es la subdivisión en sistema nervioso central -el cerebro y la médula espinal- y sistema nervioso periférico -las vías sensoriales y motoras que llevan información hacia y desde el sistema nervioso central-. Las vías motoras se dividen a su vez en el sistema nervioso somático, con control voluntario sobre el músculo esquelético y en el sistema nervioso autónomo, que controla en forma inconsciente al músculo liso, al cardíaco y a las glándulas. El sistema autónomo, a su vez, se subdivide en sistema simpático y sistema parasimpático.

La unidad funcional del sistema nervioso es la neurona, que tiene un cuerpo celular, un axón y frecuentemente muchas dendritas. Hay cuatro clases de neuronas: neuronas sensoriales; interneuronas; neuronas de proyección y neuronas motoras. Muchas están rodeadas y aisladas por células de la glia, llamadas neuroglia en el sistema nervioso central y células de Schwann en el sistema nervioso periférico.

Las células de la glia, si bien no participan directamente en la producción del impulso nervioso, proveen la vaina de mielina que acelera la transmisión de las señales a través de las neuronas, actúan como tejido de sostén, facilitan la nutrición de las neuronas y la remoción de sus desechos metabólicos y sirven como guías para el desarrollo neuronal.

En vertebrados e invertebrados, los cuerpos de las células nerviosas frecuentemente se encuentran agrupados en ganglios si se encuentran a nivel del sistema nervioso periférico y núcleos si están en el sistema nervioso central. Los axones, que constituyen las fibras nerviosas, también se agrupan formando haces: se llaman tractos cuando están en el sistema nervioso central y nervios cuando están en el sistema nervioso periférico.



Subdivisiones del sistema nervioso de un vertebrado como el Homo sapiens.

El sistema nervioso de los vertebrados consiste en un sistema nervioso central -el cerebro y la médula espinal- y un sistema nervioso periférico -una vasta red de nervios que conectan el sistema nervioso central con todas las otras partes del cuerpo-. Las neuronas sensoriales llevan información al sistema nervioso central y las neuronas motoras la llevan desde ese sistema. Las neuronas motoras están organizadas en los sistemas somático y autónomo, y el sistema autónomo contiene dos divisiones: la simpática y la parasimpática. Dentro del sistema nervioso central, la médula espinal constituye el enlace entre el cerebro y el resto del cuerpo. Es un cilindro delgado que en un corte transversal se ve dividido en un área central de materia gris y un área externa de materia blanca. La materia gris de la médula consiste fundamentalmente en interneuronas, cuerpos celulares de neuronas motoras y neuroglia. La materia blanca consiste en tractos de fibras que corren a lo largo de la médula espinal, formados principalmente por axones.

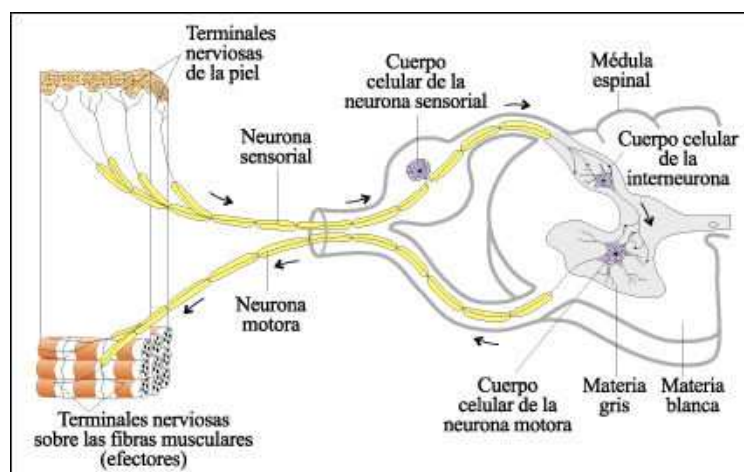
La médula se continúa con el tallo cerebral, en la base del cerebro; éste contiene tractos de fibras que conducen señales hacia y desde la médula espinal y también los cuerpos celulares de las neuronas cuyos axones inervan los músculos y las glándulas de la cabeza. Además, dentro del tallo cerebral hay núcleos que controlan algunas de las funciones reguladoras automáticas importantes, como el control de la respiración y de la presión sanguínea.

El sistema nervioso central se encuentra protegido además por capas de membranas -las meninges- que regulan el pasaje de sustancias desde la circulación general hacia el tejido nervioso -la barrera hematoencefálica- y hacia el líquido cefalorraquídeo -la barrera hematocefalorraquídea-. Las células gliales que rodean a esos capilares también contribuyen a establecer una barrera.

Sólo atraviesan las barreras las sustancias liposolubles y de bajo peso molecular. Existen zonas del sistema nervioso central que se encuentran por fuera de estas barreras, y que funcionan como sensores del estado del organismo.

El sistema nervioso periférico está constituida por neuronas cuyos axones se extienden desde el sistema nervioso central a los tejidos y órganos del cuerpo. Incluyen tanto a neuronas motoras eferentes como a neuronas sensoriales, aferentes. Las fibras de las neuronas motoras y de las neuronas sensoriales están unidas formando nervios: los nervios craneales y los nervios espinales. Pares de nervios espinales entran y salen de la médula a través de espacios entre las vértebras.

Los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales están en los ganglios de la raíz dorsal por fuera de la médula espinal, y las fibras sensoriales llegan al lado dorsal de la médula espinal -en donde pueden establecer sinapsis con neuronas de proyección, interneuronas o neuronas motoras- o bien ascender hacia el cerebro. Las fibras de las neuronas motoras emergen de la zona ventral de la médula espinal. Los cuerpos celulares de las neuronas motoras localizados en la médula espinal pueden recibir señales de neuronas de proyección, de interneuronas y de neuronas sensoriales. Los cuatro tipos de neuronas frecuentemente están interconectadas en los arcos reflejos.



Las terminales nerviosas libres de la piel, cuando se estimulan de manera apropiada, transmiten señales a lo largo de la neurona sensorial a una interneurona en la médula espinal. La interneurona transmite la señal a una neurona motora. En consecuencia, las fibras musculares se contraen. Las neuronas de proyección, que no se muestran aquí, también son estimuladas por la neurona sensorial y llevan la información sensorial al cerebro.

El sistema nervioso somático se divide en "voluntario" -controla los músculos esqueléticos que pueden moverse a voluntad- e "involuntario" -incluye los nervios motores que controlan al músculo cardíaco, las glándulas y el músculo liso-.

Anatómicamente, las neuronas motoras del sistema somático son distintas y están separadas de las del sistema nervioso autónomo, aunque los axones de ambos tipos pueden ser llevados dentro del mismo nervio.

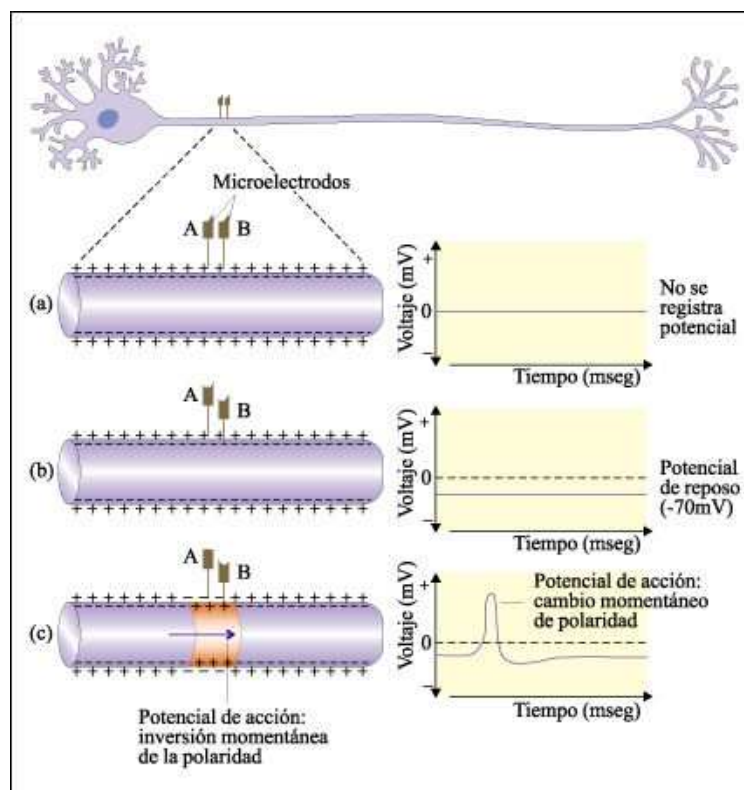
Las divisiones del sistema nervioso autónomo -simpática y parasimpática- son anatómica, fisiológica y funcionalmente distintas. Funcionalmente, los sistemas simpático y parasimpático son generalmente antagónicos. La mayoría de los órganos internos están inervados por axones de ambos sistemas y la regulación homeostática del cuerpo depende de la cooperación de estas divisiones del sistema autónomo y de la actividad de las glándulas endocrinas. El sistema parasimpático está involucrado primariamente en las actividades restauradoras del cuerpo.

La estimulación parasimpática hace más lenta la frecuencia cardíaca, incrementa los movimientos del músculo liso de la pared intestinal, y estimula la secreción de las glándulas salivales y de las glándulas digestivas del estómago. El sistema simpático, por el contrario, prepara el cuerpo para la acción. Los rasgos físicos del miedo, como el aumento de las frecuencias cardíaca y respiratoria, entre otros, resultan de la descarga aumentada de neuronas del sistema simpático.

El impulso nervioso

La conducción nerviosa está asociada con fenómenos eléctricos. La diferencia en la cantidad de carga eléctrica entre una región de carga positiva y una región de carga negativa se llama potencial eléctrico. Casi todas las membranas plasmáticas tienen una diferencia de potencial eléctrico -el potencial de membrana- en el que el lado interno de la membrana es negativo respecto al lado externo.

La transmisión del impulso nervioso es diferente de una corriente eléctrica: el impulso nervioso no experimenta disminución entre los extremos del axón; es mucho más lento que una corriente eléctrica y, a diferencia de ésta, la intensidad del impulso siempre es la misma: o bien no hay impulso nervioso en respuesta a un estímulo de una fibra nerviosa, o hay una respuesta máxima.



El potencial eléctrico a través de la membrana del axón se mide con microelectrodos conectados a un osciloscopio.

a) Cuando ambos electrodos están fuera de la membrana, no se registra ninguna diferencia de potencial. b) Cuando un electrodo se coloca dentro de la membrana, el interior de la neurona es negativo con respecto al exterior y la diferencia entre los dos es de aproximadamente 70 milivoltios. Este es el potencial de reposo. c) Al estimular un axón, el impulso nervioso se propaga a lo largo de él; cuando alcanza la región en donde se encuentran los microelectrodos, el osciloscopio muestra una breve inversión de la polaridad: el interior se hace positivo en relación con el exterior. Esta breve inversión en la polaridad es el potencial de acción.

El interior de la membrana está cargado negativamente con respecto al exterior. Esta diferencia de voltaje - la diferencia de potencial- constituye el llamado potencial de reposo de la membrana. Cuando el axón es estimulado, el interior se carga positivamente con relación al exterior. Esta inversión de la polaridad se denomina potencial de acción. El potencial de acción que viaja a lo largo de la membrana constituye el impulso nervioso.

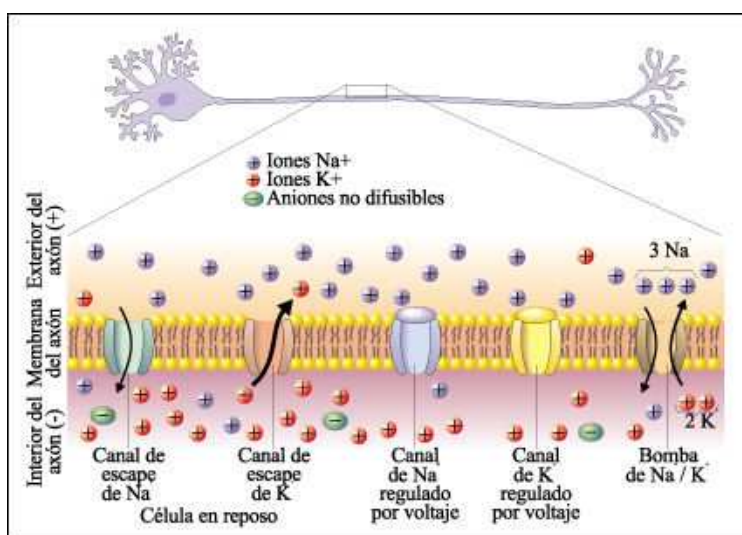
Los potenciales de acción registrados para una misma neurona casi siempre son iguales. La única variación -aunque crítica- es la frecuencia, es decir, el número de impulsos nerviosos que se producen en un tiempo determinado; la frecuencia es directamente proporcional a la intensidad del estímulo.

Además de la medición de la actividad de las neuronas, actualmente es posible registrar, en forma macroscópica, la actividad cerebral por métodos no invasivos, por medio de técnicas como la tomografía por emisión de positrones o la resonancia magnética funcional que permiten determinar qué zonas del cerebro están más o menos activas en base a cambios en distintos parámetros fisiológicos cuando se realizan tareas específicas (sensoriales, motoras o cognitivas). Esta actividad general se correlaciona con la de las neuronas individuales, la cual es determinada con microelectrodos colocados a ambos lados de la membrana neuronal.

El potencial de acción depende del potencial eléctrico neuronal, que, a su vez, es posible por las diferencias en la concentración iónica a cada lado de la membrana. En los axones, las diferencias críticas de concentración involucran iones potasio (K⁺) e iones sodio (Na⁺).

La distribución de los iones a ambos lados de la membrana es característica y es gobernada por tres factores: 1) la difusión de partículas a favor de un gradiente de concentración, 2) la atracción de partículas con cargas opuestas y la repulsión de partículas con cargas iguales y 3) las propiedades de la propia membrana.

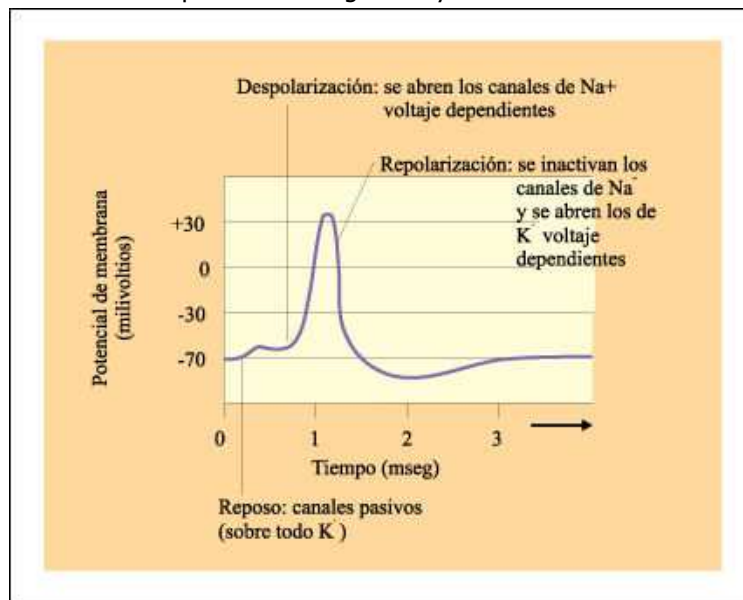
La bicapa lipídica de la membrana del axón es impermeable a los iones y a la mayoría de las moléculas polares, por lo que el movimiento de partículas a través de la membrana depende de proteínas que proporcionan canales que las partículas pueden atravesar por difusión facilitada o por transporte activo. Los iones son específicos, particularmente Na⁺ y K⁺. Otro rasgo significativo de la membrana del axón es la presencia de una proteína integral de membrana -la bomba de sodio-potasio- que bombea iones Na⁺ hacia afuera del axón e iones K⁺ hacia adentro.



Axón en estado de reposo.

En la bicapa lipídica del axón hay proteínas integrales de membrana que actúan como canales, por los que los iones K⁺ y Na⁺ se pueden desplazar entre el citosol de los axones y el líquido intersticial externo. Los distintos tipos de canales son el canal de escape de Na⁺ y el canal de escape de K⁺ permanecen siempre abiertos, y durante el estado de reposo permiten la difusión de los iones hacia adentro y hacia fuera del axón siguiendo su gradiente de concentración. Los canales de Na⁺ y los canales de K⁺ regulados por voltaje permanecen cerrados durante el estado de reposo. La bomba Na⁺/K⁺ bombea 3 iones Na⁺ hacia fuera del axón por cada 2 iones K⁺ bombeados hacia adentro. La concentración de iones K⁺ es mucho mayor en el citosol que en el líquido intersticial. Por lo tanto, los iones K⁺ difunden hacia fuera del axón a través de los canales de escape de K⁺, a favor de su gradiente de concentración. Los iones más grandes, cargados negativamente, no pueden acompañar a los iones K⁺ en su camino hacia fuera del axón. En consecuencia, el interior del axón se carga negativamente en relación al exterior. La bomba Na⁺/K⁺ extrae rápidamente iones Na⁺ del axón, a la vez que aumenta la concentración de iones K⁺ por el bombeo de esos iones hacia el interior. Con ello se mantienen las diferencias de concentración de las que depende el potencial de la célula en reposo.

La membrana axónica está polarizada, el interior es más negativo que el exterior, lo que determina el potencial de reposo. Esto es lo que hace posible la generación de un potencial de acción. La carga negativa en el interior del axón atrae un cierto número de iones K⁺ y Na⁺ que se dirigen hacia el interior del axón por sus respectivos canales de escape. Los iones Na⁺ se extraen rápidamente del axón gracias a la bomba Na⁺/K⁺, a la vez que aumenta la concentración de iones K⁺ por el bombeo de esos iones. Con ello se mantienen las diferencias de concentración de las que depende el potencial de la célula en reposo.



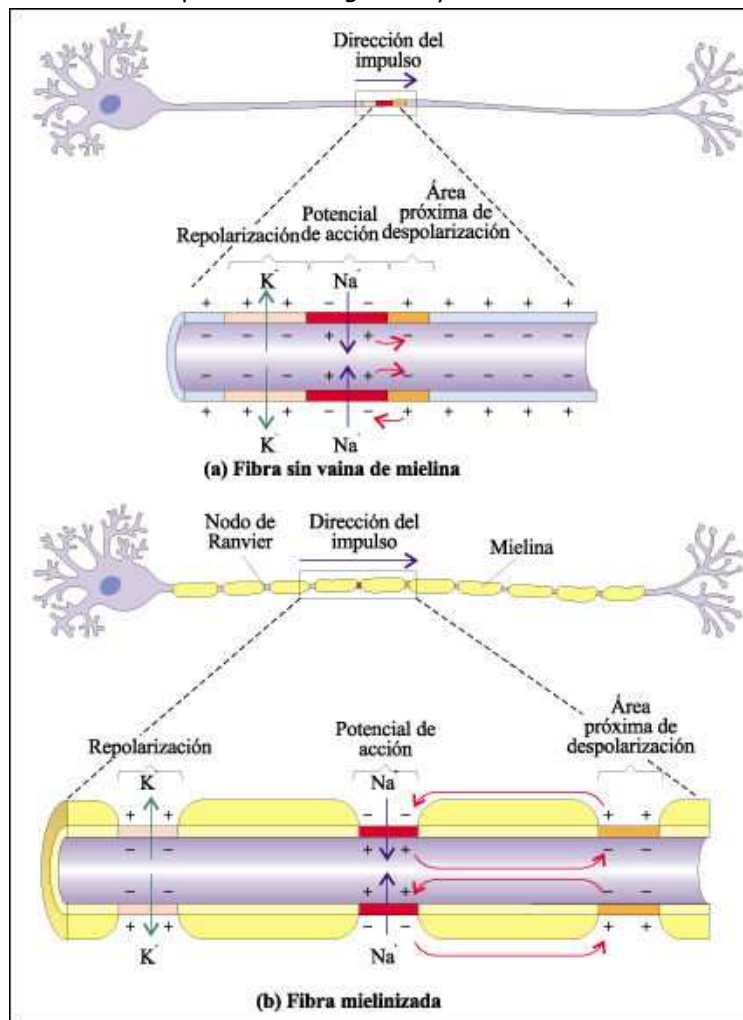
El potencial de acción.

Una porción de la membrana se vuelve momentáneamente muy permeable a los iones Na^+ mediante la apertura de canales dependientes de voltaje. Cuando se abren los canales de Na^+ , los iones pasan precipitadamente al interior y la polaridad de la membrana se invierte. A continuación, aunque no se observa en esta figura, se abren los canales de potasio regulados por voltaje y se inactivan los de sodio regulados por voltaje, lo que lleva a una repolarización de la membrana y al eventual reestablecimiento del estado de reposo. b) Gráfico de un potencial de acción y los movimientos iónicos asociados.

Un aspecto importante del impulso nervioso es que, una vez iniciado, la inversión transitoria de la polaridad continúa moviéndose a lo largo del axón, renovándose continuamente.

El potencial de acción se autopropaga porque en su pico, cuando el interior de la membrana en la región activa es comparativamente positivo, los iones cargados positivamente se mueven desde esta región al área adyacente dentro del axón, que todavía es comparativamente negativa. Como resultado, el área adyacente se despolariza o, sea, se hace menos negativa. Esta despolarización abre los canales de Na^+ activos y regulados por voltaje, que permiten que los iones Na^+ entren precipitadamente. El incremento resultante en la concentración interna de iones Na^+ despolariza la siguiente área contigua de la membrana, haciendo que sus canales iónicos de Na^+ se abran y permitiendo que el proceso se repita. Como consecuencia de este proceso de renovación, que se repite a lo largo de toda la membrana, el axón -un conductor muy pobre de la corriente eléctrica- es capaz de conducir un impulso nervioso a una distancia considerable sin que cambie en absoluto la intensidad. El impulso nervioso se mueve en una sola dirección porque el segmento del axón situado "detrás" del sitio donde se produjo el potencial de acción tiene un período refractario breve durante el cual sus canales iónicos de Na^+ no se abrirán; así, el potencial de acción no puede retroceder.

Los axones largos de los vertebrados generalmente están envueltos en vainas de mielina, formadas por células de la glia especializadas. La vaina de mielina hace que la propagación del impulso nervioso sea mucho más rápida en los vertebrados que en los invertebrados.



Fibras con y sin vaina de mielina.

a) En una fibra sin vaina de mielina, toda la membrana del axón está en contacto con el líquido intersticial. Todas las partes de la membrana contienen canales y bombas de sodio-potasio. b) En una fibra mielinizada, en cambio, solo están en contacto con el líquido intersticial las zonas de la membrana axónica correspondientes a los nodos de Ranvier. Prácticamente todos los canales iónicos y bombas de sodio-potasio se concentran en estas zonas. Así, los potenciales de acción se pueden generar solo en los nodos y el impulso nervioso salta de nodo en nodo, acelerándose la conducción.

Las sinapsis

Las señales viajan de una neurona a otra a lo largo de la unión especializada -la sinapsis- que puede ser de naturaleza química o eléctrica.

La llegada de un potencial de acción a la terminal axónica de la célula presináptica está acompañada por cambios en la concentración iónica. Estos cambios son transmitidos a través de las uniones nexus a la célula postsináptica, donde despolarizan la membrana celular e inician un nuevo potencial de acción.

Una sinapsis química. La llegada de un potencial de acción en la terminal axónica inicia la fusión de vesículas sinápticas con la membrana del axón, liberando neurotransmisores en el espacio sináptico. Éstos difunden a la célula postsináptica, donde se combinan con receptores específicos de la membrana celular. Una red proteica en el espacio sináptico ancla a las membranas presinápticas y postsinápticas y, en ocasiones, contiene enzimas que degradan las moléculas de neurotransmisor.

Algunos neurotransmisores son sintetizados en el cuerpo celular de la neurona y transportados a los terminales axónicos, donde son "empaquetados" y almacenados en vesículas sinápticas. Otros son sintetizados y se empaquetan dentro de las terminales axónicas. La liberación de las moléculas neurotransmisoras es disparada por la llegada de un potencial de acción al terminal axónico. Después de su liberación, los neurotransmisores son removidos o destruidos rápidamente, interrumpiéndose su efecto; ésta es una característica esencial del control de las actividades del sistema nervioso.

Una variedad de sustancias químicas funcionan como neurotransmisores. En el sistema nervioso periférico, los principales son la acetilcolina y la noradrenalina.

En el sistema nervioso central se han encontrado muchos otros neurotransmisores, incluyendo a las llamadas aminas biógenas (como la noradrenalina) entre ellas la dopamina y la serotonina, ambas derivadas de aminoácidos.

Neurotransmisor	Comentarios
Aminas biógenas	
Acetilcolina	Actúa en la placa neuromuscular del sistema nervioso autónomo y de algunas vías dentro del cerebro. Se cree que participa en la regulación del ciclo sueño-vigilia. Se sintetiza a partir de colina (mediante la enzima colina acetil transferasa) y se degrada por la enzima acetilcolinesterasa. Los bloqueantes de esta enzima son venenos poderosos.
Dopamina	Actúan en las vías centrales. Relacionados con mecanismos de regulación del sistema motor. Su falta causa la enfermedad de Parkinson. La dopamina se sintetiza a partir del precursor L-DOPA, que se usa como fármaco en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson. La serotonina se sintetiza a partir del aminoácido triptófano. La histamina se sintetiza a partir del aminoácido histidina y participa en la respuesta inmune. Además, algunas sinapsis del sistema nervioso central utilizan histamina, en particular, en el hipotálamo.
Serotonina (5-hidroxitriptamina)	
Histamina	
Noradrenalina (norepinefrina)	Actúan en la porción simpática del sistema nervioso autónomo y de vías dentro del cerebro. Se sintetizan a partir de la dopamina y son ambos degradados por la enzima monoaminooxidasa.
Adrenalina	
Aminoácidos	
GABA	Actúan en las vías centrales. Relacionados con mecanismos de regulación del sistema motor. GABA es el principal neurotransmisor inhibitorio del sistema nervioso central. El efecto de los barbitúricos , el alcohol y varios anticonvulsivantes está mediado por receptores de GABA. La glicina es uno de los principales neurotransmisores inhibitorios a nivel del tronco encefálico y la médula espinal. El glutamato es el principal neurotransmisor excitatorio del sistema nervioso central.
Glicina	
Glutamato	
Aspartato	
Neuropéptidos	
Sustancia P	Participa en algunas vías del dolor
Neuropéptido Y	Participa en la regulación de varios comportamientos alimentarios
Péptido vasoactivo intestinal (VIP)	Presente en diversas sinapsis del sistema nervioso central y también funcional en el sistema nervioso autónomo
Arginina vasopresina (AVP)	Presente en las sinapsis del sistema nervioso central, incluyendo el hipotálamo
Galanina	Se propone que también participa en vías relacionadas con el comportamiento alimentario
Péptidos opioides: (encefalinas y endorfinas)	Se sintetizan como un prepeptido que se cliva y da diversos neurotransmisores. Participan en mecanismos de analgesia endógena, y se cree que también participan en muchos otros comportamientos
Gases	
Óxido nítrico (ON)	Se caracterizó inicialmente como el neurotransmisor de la vía que inerva los músculos peneanos permitiendo la erección. Actualmente se han propuesto numerosas funciones, incluyendo procesos de aprendizaje y memoria. Se sintetiza a partir de la arginina mediante la enzima óxido nítrico sintetasa (ONS).
Monóxido de carbono (CO)	Al igual que el ON, puede difundir libremente entre las células y posee una vida media extremadamente corta.

Casi todas las drogas que actúan en el cerebro alterando el humor o el comportamiento, lo hacen intensificando o inhibiendo la actividad de los sistemas neurotransmisores. La cafeína, la nicotina y las anfetaminas, estimulan la actividad cerebral en forma análoga a los neurotransmisores excitatorios en las sinapsis. La clorpromazina y los tranquilizantes relacionados bloquean los receptores de dopamina en muchos sitios, mientras que el ácido lisérgico -LSD- (un alucinógeno) inhibe la acción de la serotonina cerebral.

Debe mencionarse que muchos neuropéptidos, junto con otras sustancias neuroactivas, pueden desempeñar otro papel en la transmisión sináptica; no generar la señal transmisora sino regularla. Estas moléculas, que pueden ser liberadas de las mismas terminales axónicas que los neurotransmisores principales o de otras células, se conocen como neuromoduladores.

Aunque éstos pueden moverse directamente a través de la hendidura sináptica, también pueden difundir a una distancia mayor, afectando a numerosas células dentro de una región local del sistema nervioso central. Al igual que los neurotransmisores, se unen a receptores específicos de membrana y alteran los canales iónicos o ponen en movimiento segundos mensajeros; sus efectos frecuentemente consisten en modular la respuesta de la célula a un neurotransmisor principal. Se han identificado hasta el momento más de 200 sustancias diferentes que funcionan como neuromoduladores. Estas incluyen las endorfinas, los interferones y las interleucinas, las hormonas liberadoras hipotalámicas, las hormonas hipofisarias, las hormonas de páncreas como la insulina, y hasta las hormonas digestivas gastrina y colecistocinina.

Las dendritas y el cuerpo celular de una sola neurona pueden recibir señales -en forma de moléculas de neurotransmisor o neuromodulador- enviadas por centenares o hasta por miles de sinapsis. La unión de cada molécula a su receptor tiene cierto efecto en el grado de polarización de la célula postsináptica. Si el efecto es que el interior de la célula se vuelve menos negativo (despolarización) se dice que es excitatorio. Por el contrario, si el efecto es que se mantiene al potencial de membrana en valores cercanos al potencial de reposo, o aun, el interior se hace más negativo (hiperpolarización), se dice que es inhibitorio.

Los cambios en la polaridad inducidos por los neurotransmisores y los neuromoduladores se extienden desde las sinapsis a través de la célula postsináptica al cono axónico, que es la región del axón en la cual puede originarse un impulso nervioso. Si el efecto colectivo es una despolarización suficiente como para permitir un flujo de iones Na⁺ tal que

constituya el inicio de un potencial de acción, entonces comienza un impulso nervioso en el axón de la célula postsináptica y un nuevo mensaje es enviado velozmente a una multitud de otras neuronas con las cuales hace sinapsis el axón.

El procesamiento de la información que ocurre dentro del cuerpo celular de cada neurona individual desempeña un papel central en la integración y en el control ejercidos de manera conjunta por los sistemas nervioso y endocrino. Es afectado no sólo por los neurotransmisores y neuromoduladores específicos recibidos por la célula, sino también por su cantidad, el tiempo preciso de su llegada y las localizaciones en la neurona de las varias sinapsis y receptores.



El cuarto Blanco - Biblioteca Web