

ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso es el encargado de llevar a cabo la mayoría de las funciones de control y coordinación de actividades en los organismos superiores. En su nivel de actuación más simple está encargado de regular el medio interno, controlando las respuestas autónomas y endocrinas. En un nivel más complejo, es el responsable de realizar la comunicación con el medio externo, a través de las funciones sensoriales y motoras; y en el hombre es la base de la conciencia, el pensamiento, la memoria y el resto de funciones superiores o comportamiento cognitivo.

El sistema nervioso se distribuye en distintas subdivisiones, estas parcelas no resultan excluyentes entre sí, sino que su descripción se realiza según distintos criterios:

a. Según la posición en el organismo:

◊ **Sistema Nervioso Central o Neuroeje:** es el centro estructural y funcional de todo el sistema nervioso. Está formado por el encéfalo y la médula espinal. Desde el punto de vista celular en esta división sólo se incluyen los elementos celulares que están íntegramente situados en estas zonas. El encéfalo está formado por cinco regiones provenientes de las vesículas encefálicas embrionarias: Mielencéfalo (Bulbo raquídeo), Metencéfalo (Protuberancia y cerebelo), Mesencéfalo (Mesencéfalo), Diencefalo (Tálamo e hipotálamo) y Telencéfalo (Ganglios basales y corteza cerebral). La médula espinal es la parte más caudal del sistema nervioso central. Se subdivide en las regiones cervical, torácica, lumbar y sacra.

◊ **Sistema Nervioso Periférico:** Está formado por grupos de neuronas denominados ganglios y nervios periféricos. Según su punto de origen existen doce nervios (o pares) craneales, provenientes del encéfalo; y 31 nervios (o pares) raquídeos, procedentes de la médula espinal. Estos nervios procedentes del sistema nervioso central se extienden como una red por todo el organismo.

b. Según la función:

◊ **Sistema Nervioso Somático:** Realiza el control de las funciones voluntarias, las que permiten al organismo su relación con el medio externo.

◊ **Sistema Nervioso Autónomo o Vegetativo:** Realiza el control de las funciones involuntarias que permiten la regulación del medio interno, o la adecuación del medio interno frente a estímulos medioambientales.

Desde el punto de vista funcional, el sistema nervioso central presenta una organización jerarquizada donde la médula sería el nivel más inferior o 1º nivel, en ella se desarrollan los procesos más simples de control; en un 2º nivel o nivel intermedio se situaría el tronco, el cerebelo y el diencefalo con tareas más complejas, y el 3º nivel, o nivel superior correspondería al telencéfalo.

Estructura del sistema nervioso central

Médula espinal

Alojada en el conducto vertebral se extiende desde el agujero occipital hasta la primera vértebra lumbar. Presenta una estructura segmentada, y lateralmente en cada segmento, se proyectan las raíces dorsales y ventrales. A través de las raíces dorsales se produce la entrada de información de los receptores sensoriales del tronco y extremidades; por las raíces ventrales sale información hacia los órganos efectores. Si se observa una sección transversal en cualquiera de sus segmentos, puede verse una región central en forma de mariposa de sustancia gris y contorneándola una región de sustancia blanca.

La sustancia gris contiene somas de neuronas y la sustancia blanca está formada por haces ascendentes y descendentes de fibras nerviosas, vías de conducción de dos direcciones que conectan el encéfalo con diferentes segmentos medulares.

A nivel medular se inicia el procesamiento de la información sensorial y se establecen circuitos para realizar muchos reflejos que son la base de la postura y del movimiento.

Encéfalo

Es uno de los mayores órganos del individuo adulto. El encéfalo adquiere su tamaño definitivo hacia los dieciocho años, aunque su crecimiento más rápido ocurre durante los primeros años de la vida. Está dividido de abajo hacia arriba en varias regiones:

- Tronco del encéfalo

Es una región absolutamente imprescindible para la supervivencia del individuo, consta a su vez de tres porciones: el bulbo raquídeo o médula oblongada, la protuberancia o puente y el mesencéfalo.

El bulbo raquídeo se puede considerar como una prolongación de la médula espinal, la sustancia gris se reparte en núcleos, unos de función sensorial y otros motora. En esta región se localizan los centros de control de la respiración y de la circulación.

La protuberancia, situada por encima del bulbo es una región ensanchada que por su cara posterior o dorsal está unida al cerebelo a través de los pedúnculos cerebelosos. Contiene núcleos sensoriales y motores.

El mesencéfalo o cerebro medio es la porción superior y más pequeña del tronco del encéfalo, en su cara anterior hay dos ensanchamientos que corresponden a los pedúnculos cerebrales. Contiene núcleos de relevo de la información visual y auditiva y también núcleos relacionados con el estado de alerta del encéfalo.

En diferentes porciones del tronco encefálico tienen origen los doce pares craneales que inervan cara, cuello y cabeza y algunos alcanzan el tórax y vísceras abdominales.

- Cerebelo

Es una parte del encéfalo grande que se sitúa en la cara dorsal del tronco encefálico, y que está unido a él a través de tres haces de fibras que forman los pedúnculos cerebelosos (superior, medio e inferior). Está formado por dos hemisferios cerebelosos y una región central denominada vermis.

En una sección transversal puede observarse una capa superficial de sustancia gris, la corteza cerebelosa y una porción central de sustancia blanca. La corteza presenta al igual que la cerebral, numerosos surcos y circunvoluciones. En el interior de la sustancia blanca hay intercalados núcleos de sustancia gris.

El cerebelo desarrolla funciones fundamentales relacionadas con el control de los músculos esqueléticos. Interactúa con la corteza cerebral para producir movimientos, ayuda a controlar la postura y participa en el mantenimiento del equilibrio.

- Diencefalo

Es una región cubierta por los hemisferios cerebrales y situada en la profundidad del encéfalo. Consta de varias estructuras situadas alrededor del tercer ventrículo. A cada lado de la línea media está situado un núcleo de sustancia gris, el tálamo, inferiormente se sitúa el hipotálamo que rodea lateral y ventralmente al tercer ventrículo. Los núcleos que se encuentran en el tálamo procesan información sensorial enviándola a la corteza cerebral del mismo lado, otros reciben información del cerebelo y los ganglios basales y envían información a la corteza motora del mismo lado, y algunos núcleos desarrollan funciones relacionadas con el estado de conciencia.

Los núcleos hipotalámicos son centros de regulación de funciones vegetativas de gran importancia para la supervivencia del individuo, funciona como un eslabón entre la corteza cerebral y los centros autónomos inferiores.

- Telencéfalo o cerebro

Consta de dos hemisferios cerebrales unidos en la línea media a través de un tracto de fibras denominado cuerpo calloso. Cada hemisferio tiene una capa externa de sustancia gris de unos 2-4 mm de grosor denominada corteza cerebral. Esta corteza al igual que la cerebelosa se encuentra extraordinariamente plegada formando las circunvoluciones que suponen un fuerte incremento de la superficie manteniendo el mismo volumen.

Por debajo de la corteza se encuentra una gran masa de sustancia blanca formada por axones que interconectan las distintas regiones corticales, y la corteza con el resto del encéfalo. En la profundidad de la sustancia blanca de cada hemisferio se encuentran una serie de núcleos, los ganglios basales. Participan en la iniciación y el control del movimiento voluntario.

Cubiertas protectoras o meninges

El sistema nervioso central es una estructura vital y muy delicada, por ello dispone de una serie de elementos o cubiertas de protección. El más externo es la cubierta ósea, el cráneo encierra el encéfalo y la columna vertebral aloja a la médula espinal. Por debajo del hueso, se sitúan las meninges que son tres capas de tejido conectivo situadas desde el hueso al tejido nervioso en el siguiente orden:

1. Duramadre: formada por un fuerte tejido fibroelástico denso. En ella se sitúan los senos venosos de drenaje del sistema nervioso central.
2. Aracnoides: formada por tejido fibroso
3. Piamadre: formada por tejido conectivo fino

Entre ellas se sitúan los siguientes espacios:

1. Espacio epidural: por encima de la duramadre, contiene tejido adiposo, plexos venosos y otros tejidos conjuntivos.

2. Espacio subdural: por debajo de la duramadre, o entre duramadre y aracnoides, contiene una pequeña cantidad de líquido seroso.
3. Espacio subaracnoideo: por debajo de la aracnoides, o entre aracnoides y piamadre. Conectado con las cavidades ventriculares encefálicas y canal epndimario medular, se encuentra lleno de líquido céfalorraquídeo.

Aparte de las cubiertas protectoras descritas anteriormente, las neuronas del sistema nervioso central están protegidas por una barrera entre la sangre y el medio extracelular del tejido nervioso, que se denomina barrera hemato-encefálica. Las células endoteliales de los capilares, que vascularizan esta región, presentan uniones estrechas para impedir el paso de sustancias que pudieran causar una alteración de la actividad neuronal. La existencia de la barrera hemato-encefálica limita estrechamente el movimiento de solutos desde la sangre al sistema nervioso central.

Líquido cefalorraquídeo

La regulación del líquido extracelular que rodea las células nerviosas es una función de la circulación sanguínea cerebral. El líquido cefalorraquídeo es un depósito de líquido circulante que junto con la sangre regula el medio extracelular de las células nerviosas.

El líquido cefalorraquídeo se encuentra en el espacio subaracnoideo en torno al encéfalo y médula espinal y en el interior de las cavidades del sistema nervioso central. Las grandes cavidades se llaman los ventrículos y son cuatro: dos ventrículos laterales, uno en cada hemisferio cerebral, el tercer ventrículo situado en el diencéfalo, y el cuarto ventrículo en el tronco encefálico que se continúa en la médula en un conducto central denominado canal epndimario.

Es una solución similar a la plasmática con muy pocas proteínas pero con una composición electrolítica distinta, ya que posee concentraciones mayores de cloro, sodio y magnesio; e inferiores de potasio y bicarbonato.

El volumen de líquido céfalorraquídeo es de 120 a 150 ml, encontrándose unos 35 ml en el interior de los ventrículos cerebrales y unos 100 ml en el espacio subaracnoideo. Se forma en los plexos coroideos a razón de 500 ml/día lo que supone una renovación total de unas cuatro veces al día. Circula por los espacios ventriculares y canal epndimario, para después recorrer la superficie del encéfalo y médula espinal a través del espacio subaracnoideo. Se reabsorbe en las vellosidades aracnoideas drenando a los senos venosos.

Las funciones que cumple el líquido céfalorraquídeo, de forma resumida, son las siguientes:

1. Forma una cubierta líquida protectora que funciona como un sistema de flotación protegiéndole de los bruscos movimientos de la cabeza.
2. La modificación de su volumen sirve para compensar fluctuaciones en la cantidad de sangre en el interior del cráneo de tal modo que el volumen intracraneal se mantenga constante.
3. Mantiene un medio iónico adecuado.
4. Permite la eliminación de sustancias de desecho que por ser poco solubles en lípidos o tener un tamaño grande no atraviesan la pared capilar.
5. Participa en los mecanismos de transporte intercerebral, ya que muchos neuropéptidos son vehiculados de una región a otra del encéfalo a través del líquido cefalorraquídeo.

Tipos de células en el Sistema Nervioso

Las unidades celulares funcionales del sistema nervioso son las neuronas, las cuales forman la red de comunicación que es la arquitectura básica para el funcionamiento de este sistema. Se estima que en el sistema nervioso de un adulto joven existen unos 100.000 millones de neuronas (10^{11}), y esta cantidad tan sólo se corresponde con el 10% de las células que lo componen. El resto, 90%, aproximadamente la mitad del volumen, corresponde a las células de la glía o neuroglia ("pegamento entre las neuronas") que forman la matriz conjuntiva de soporte de las neuronas.

Células de la glía o neuroglia

Son células que sirven como elemento de soporte tanto físico como metabólico para las neuronas. También tienen una gran importancia en el desarrollo y en los procesos de regeneración del sistema nervioso. Aunque originalmente se les adjudicó un papel meramente pasivo de almacén, las funciones de la glía han ido creciendo en importancia a lo largo de los últimos años, descubriéndose así que el correcto funcionamiento de la "parte noble" del sistema nervioso que son las neuronas reposa en buena medida en esta segunda línea de células.

En general, son células pequeñas de prolongaciones cortas y ramificadas, y existen varios tipos:

1. Astrocitos: muy frecuentes en el sistema nervioso central, presentan gran número de prolongaciones ramificadas que envuelven tanto los somas como las dendritas neuronales. Mediante estas ramificaciones forman los *pies perivasculares* alrededor de los capilares, formando parte de la barrera hemato-encefálica que

- limita el paso de sustancias hasta las neuronas; de este modo controlan el medio ambiente de la neurona. Así, por ejemplo, pueden captar K^+ y regular su concentración extracelular.
2. Oligodendrocitos: forman la vaina de mielina en el sistema nervioso central y sirven para mantener unidas las fibras nerviosas.
 3. Células de Schwann: forman la vaina de mielina en el sistema nervioso periférico y son el equivalente de los oligodendrocitos del sistema nervioso central. Cuando se sitúan sobre los somas neuronales se las denomina células satélite.
 4. Microglia: son células pequeñas y escasas con funciones defensivas, al aparecer un daño tisular nervioso, se convierten en grandes macrófagos.
 5. Ependimocitos o células ependimarias: son células, algunas ciliadas, de un epitelio cúbico simple, que tapizan las cavidades llenas de líquido cefalorraquídeo del sistema nervioso central.

Funciones de las células de la glía

1. Son elementos de soporte, que sirven también para separar e incluso aislar grupos de neuronas
2. Dos tipos de células gliales sirven para formar la vaina de mielina
3. Algunas actúan como basureros, recogiendo restos tras una lesión o muerte celular
4. Tamponan y mantienen la concentración de potasio extracelular, algunas captan y retiran neurotransmisores en las sinapsis
5. Durante el desarrollo ciertas células gliales guían la migración de las neuronas y dirigen el crecimiento de los axones
6. Ciertos tipos de células gliales participan en la construcción de la barrera hematoencefálica que previene la entrada de tóxicos de la sangre al encéfalo
7. Algunas células gliales pueden participar en la nutrición de las neuronas.

Neurona

La mayor parte de las neuronas tienen un cuerpo o soma donde se sitúan los principales orgánulos celulares. Los somas de las neuronas se presentan normalmente agrupados formando lo que en el sistema nervioso central se describe como sustancia gris. Estas agrupaciones presentan distintas denominaciones: núcleos, láminas, ganglios, etc. En el sistema nervioso periférico algunos somas se sitúan en ganglios (ganglios sensoriales, autónomos) y otros se encuentran distribuidos en los tejidos como la pared gastrointestinal formando el sistema entérico.

La característica más importante de la neurona es la presencia de las prolongaciones de su cuerpo celular. Existen dos tipos de prolongaciones:

- a. Dendritas: Son prolongaciones numerosas, ramificadas y cortas en el sistema nervioso central, y largas en el periférico. Constituyen un mecanismo de expansión de membrana extraordinariamente grande, en algunas neuronas representan hasta el 90 % de su superficie celular. Sobre sus membranas se sitúan una gran cantidad de receptores que van a permitir la recepción de información a manera de gran antena.
- b. Axon, cilindro-eje o fibra nerviosa: Es una prolongación única que emerge en una región del soma denominada cono o colina axónica. Puede presentar ramas colaterales y una arborización terminal. Su longitud es muy variable desde unas pocas micras hasta más del metro. En el sistema nervioso central las agrupaciones de axones conforman la denominada sustancia blanca.

Clasificación de las neuronas

a. Según el punto de vista morfológico. Dependiendo del número de prolongaciones que se originan desde el soma.

1. Neuronas unipolares o pseudounipolares: una única prolongación que se ramifica, para dar una rama central (se dirige hacia el SNC) y una rama periférica (se aleja del SNC). Estas dos ramas forman en conjunto un axon que conduce impulsos desde las dendritas en la terminación de la rama periférica hacia el SNC.
2. Neuronas bipolares: con un axon y una dendrita, son las menos habituales
3. Neuronas multipolares: con un axon y múltiples dendritas, son las más habituales en el sistema nervioso central.

b. Según el punto de vista funcional. Dependiendo de la dirección del tránsito de información a su través:

1. Neuronas aferentes (sensoriales): Llevan la información desde la periferia al sistema nervioso central
2. Neuronas eferentes (motoras): Llevan la información desde el sistema nervioso central a la periferia.
3. Interneuronas: Llevan la información de unas neuronas a otras y se sitúan exclusivamente dentro del sistema nervioso central.

Estudio de la fibra nerviosa o axon

Los axones son porciones de la neurona que en algunos casos han de atravesar distancias muy largas para llegar a sus células diana. La mayor parte de las fibras nerviosas se agrupan formando en el sistema nervioso periférico los nervios y en el central los tractos, haces o pedúnculos.

En el sistema nervioso periférico los axones van protegidos por una fina cubierta de tejido conectivo que se denomina endoneuro. Un grupo de fibras forma un haz o fascículo y va a su vez rodeado de una segunda cubierta conectiva denominada perineuro. Por último, un conjunto de haces se agrupa con vasos sanguíneos formando un paquete vásculo-nervioso que va protegido por una tercera cubierta denominada epineuro, el cual sirve también como elemento de anclaje con los tejidos subyacentes.

Las fibras nerviosas pueden ser de dos tipos: Mielínicas, cuando poseen una cubierta protectora denominada *vaina de mielina*, que a modo de aislante rodea la fibra separándola del medio extracelular. Esta envuelta está formada por la superposición de múltiples segmentos de membrana de células de la glía, dando lugar a una barrera lipídica que le aportará propiedades funcionales muy relevantes. La otra modalidad son las amielínicas que carecen de vaina de mielina.

La construcción de la vaina de mielina supone un gasto energético muy grande para el sistema nervioso. Aquellas fibras que bien por ser muy cortas, o por llevar información poco relevante o que no precisa ser procesada muy rápidamente, serán del tipo amielínico.

En el sistema nervioso central existen fibras mielínicas y fibras amielínicas. La célula de la glía responsable de la formación de la vaina es el oligodendrocito, que al disponer de múltiples prolongaciones utiliza cada una de ellas para formar la vaina de mielina alrededor de múltiples fibras (1 oligodendrocito/50 fibras). En las fibras amielínicas el oligodendrocito se sitúa alrededor de la fibra pero sin formar vaina.

En el sistema nervioso periférico:

a. Fibras mielínicas.. La célula de la glía que forma esta vaina es la célula de Schwann que puede enrollarse hasta cien veces alrededor de la fibra y construir una gruesa capa de mielina. Cada célula de Schwann sólo rodea una fibra, y como las fibras pueden tener grandes longitudes se requiere la sucesión de múltiples células de Schwann para cubrirla. Los espacios que quedan entre las células se denominan nodos de Ranvier y están situados aproximadamente cada 1-2 mm.

b. Fibras amielínicas. En este caso la célula de Schwann rodea una única vez a la fibra nerviosa y sirve para la protección de varios axones.

Propagación del potencial de acción

La generación del potencial de acción ocurre normalmente a nivel del cono o colina axónica, posteriormente se propaga a lo largo de toda la fibra nerviosa hasta las ramificaciones terminales axónicas. Cuando un potencial de acción se origina en una zona de la membrana, la polaridad de dicha zona es distinta a las regiones vecinas que permanecen en reposo; así al existir dos potenciales diferentes juntos fluirá una pequeña corriente entre ambas regiones. Se forma de esta manera un circuito local.

Existen dos modalidades de conducción que aunque basadas en el mismo fenómeno de flujo de corriente, o circuito local, se desarrollan de distinta forma en cada una de las dos variedades de fibras nerviosas:

A. Conducción continua o punto a punto en las fibras amielínicas.

El potencial de acción genera una corriente local que fluye y despolariza la membrana adyacente (en situación de reposo) hasta el potencial umbral; esta despolarización activa el mecanismo de apertura y retroalimentación positiva de los canales de Na⁺ dependientes dando lugar a un cambio rápido en la polaridad o potencial de acción. De ese modo se van generando potenciales de acción de igual amplitud a lo largo de la membrana. El potencial de acción se propaga en una onda continua ya que toda la membrana axónica está en contacto con el líquido extracelular. Un símil, bastante acertado, con el proceso de conducción continua es la combustión de un cigarrillo; una vez aplicado el estímulo (en el ejemplo, cerilla o mechero) el proceso es espontáneo y se autoabastece. La región sin quemar sería la membrana en reposo, la región que se está quemando la zona despolarizada, y la región ya quemada, la membrana en estado refractario sin posibilidad de entrar de nuevo en combustión. La diferencia, a favor de la fibra, radica en que la zona quemada al cabo de muy poco tiempo vuelve a estar regenerada y en condiciones de repetir el proceso.

La dirección de la propagación es anterógrada u ortodrómica, es decir, desde el cono axónico a las ramificaciones terminales de la fibra. Esto es debido al hecho de que las corrientes locales no pueden despolarizar áreas de membrana, que han sido previamente despolarizadas, porque están en período refractario (con sus canales de Na⁺ dependientes de voltaje en estado de cerrado inactivable).

B. Conducción saltatoria en las fibras mielínicas

La mielina es un material aislante, formado fundamentalmente por fosfolípidos, que dificulta el flujo de cargas entre el interior y el exterior celular. Como no es una vaina continua, sino que está interrumpida por los nodos de Ranvier, es en estas regiones donde se acumulan los canales dependientes de voltaje. De esta forma, el potencial de acción sólo puede generarse en los nodos y por este "salto" de nodo a nodo se denomina a la conducción saltatoria. Este tipo de conducción, lógicamente, incrementa extraordinariamente la velocidad; así un potencial de acción se transmite de la cabeza a los pies en 4 segundos a través de fibras amielínicas y lo haría en 0,01 segundos a través de grandes fibras mielínicas.

Además, la conducción saltatoria supone un ahorro energético, ya que los movimientos iónicos sólo transcurren en los nodos, siendo el desequilibrio iónico menor y por lo tanto el consumo de ATP por la bomba de Na/K ATPasa también.

Clasificación de las fibras nerviosas

Un criterio funcional de clasificación consiste en distribuirlas atendiendo a la velocidad de conducción del potencial de acción o impulso nervioso. Los parámetros que determinan la velocidad de conducción son tres:

1. Diámetro de la fibra (0.2 a 20 μ m): A mayor diámetro mayor velocidad de conducción
2. Espesor de la vaina de mielina: A mayor espesor, mayor velocidad de conducción.
3. Distancia internodal: A mayor distancia internodal, mayor velocidad de conducción

La velocidad de conducción de una fibra viene determinada por su diámetro, ya que éste marca su área transversal y por lo tanto su resistencia al paso de la corriente. Sin embargo la relación entre diámetro y velocidad de conducción no es lineal. En el caso de los grandes axones mielínicos la velocidad de conducción (m/seg) es aproximadamente el diámetro en micras multiplicado por 6, para las fibras mielínicas pequeñas se multiplicaría por 4,5 y para las fibras amielínicas por 1,7.

Los axones de los nervios periféricos fueron divididos por conveniencia en tres grupos A, B y C de acuerdo a sus respectivas velocidades de conducción. Para las fibras sensoriales se usa otra clasificación que las divide en cuatro grupos I, II, III y IV.

La conducción puede ser bloqueada por frío, compresión, anoxia, y fármacos como los anestésicos locales. La velocidad de conducción disminuye un 3% por cada grado que baja la temperatura, el bloqueo es mayor en las grandes fibras mielínicas que en las pequeñas amielínicas. Por el contrario el bloqueo de los anestésicos es más efectivo en fibras amielínicas pequeñas que en las grandes mielínicas