

Clase 4:

Descripción general del Sistema Nervioso

El tejido nervioso es una estructura extremadamente organizada, que se encarga de:

- recoger información, tanto del medio externo como del propio organismo.
- procesar y almacenar esa información.
- elaborar respuestas de conducta.
- en los seres humanos la actividad del SN da lugar a la consciencia.

El SN puede dividirse en dos grandes regiones anatómicas:

- Sistema Nervioso Central (SNC), compuesto por el encéfalo y la médula espinal.
- Sistema Nervioso Periférico (SNP), formado por grupos neuronales denominados **ganglios**, y por los **nervios periféricos**, situados en el exterior de la médula espinal y del encéfalo.

Ambos sistemas están separados anatómicamente, pero funcionan interconectados.

La relación del SN con el resto del cuerpo se establece mediante un componente somático y otro autónomo. El componente **somático** proporciona al SNC información sensorial acerca del estado muscular, de la posición de las extremidades y del medio ambiente externo al organismo, e incluye las salidas motoras a través de las motoneuronas. Por su parte, el sistema nervioso **autónomo** se encarga de regular la musculatura lisa y cardíaca, así como la función de diversas glándulas y vísceras. Este control automático incluye tres elementos:

- Sistema **simpático**: participa en la respuesta del organismo al estrés.
- Sistema **parasimpático**: se encarga de mantener el equilibrio propio del estado de reposo.
- Sistema **entérico**: controla la función del músculo liso del tubo digestivo.

Sistema Nervioso Central

Formado por el **encéfalo** y la **médula espinal**.

El encéfalo está a su vez formado por:

- bulbo raquídeo
 - protuberancia
 - mesencéfalo
 - cerebelo
 - diencefalo
 - hemisferios cerebrales
- |- estas tres regiones forman el **tronco del encéfalo**

Médula espinal: recibe y procesa información sensorial de la piel, las articulaciones y los músculos de las extremidades y el tronco; controla el movimiento de las extremidades y el tronco. Existen cuatro regiones: cervical, torácica, lumbar y sacra.

Bulbo raquídeo: en él se encuentran centros responsables de funciones autónomas tan vitales como la digestión, respiración y control de la frecuencia cardíaca.

Protuberancia o puente: conduce información sobre el movimiento, desde los hemisferios cerebrales hasta el cerebelo.

Cerebelo: implicado en el control y la modulación fina del movimiento, y en el aprendizaje de habilidades motoras.

Mesencéfalo: control de determinadas funciones sensoriales y motoras, como los movimientos oculares y la coordinación de los reflejos visuales y auditivos.

Diencéfalo: formado por el **tálamo** y el **hipotálamo**.

- el tálamo procesa la mayor parte de la información que llega al córtex desde el resto del SN.
- el hipotálamo está implicado en la regulación de funciones endocrinas y en el control del SNA.

Hemisferios cerebrales: formados por el **córtex cerebral**, el **hipocampo**, los **ganglios basales** y la **amígdala**.

- la amígdala coordina las respuestas endocrinas y autónomas con los estados emocionales.
- los ganglios basales participan en la regulación motora.
- el hipocampo está implicado en la memoria, es decir, en procesos de almacenamiento de información.
- el córtex es una estructura densamente plegada. En él se produce el procesamiento superior de la información, integrando información que procede del resto del SN; y se elaboran las complejas respuestas que dan lugar, en última instancia, a la conducta y a la consciencia. Se divide en cuatro lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital.

Sistema Nervioso Periférico (SNP)

Podemos dividirlo según sus componentes somático y autónomo:

- el SNP somático incluye a las neuronas sensoriales de los **ganglios de la raíz dorsal**, y de los **ganglios craneales**, que inervan la piel, los músculos y las articulaciones.
- El SNP autónomo inerva las vísceras, glándulas y la musculatura lisa y cardíaca.

Tipos de células

Hay dos clases de células en el SN:

- células nerviosas o neuronas.
- células gliales o glía.

Las **células gliales** se sitúan principalmente rodeando los cuerpos celulares de las neuronas.

Tienen varias funciones vitales:

- sirven como **elementos de soporte**, proporcionando estructura y consistencia al encéfalo. También pueden actuar para separar y aislar grupos de neuronas.
- producción de **mielina**, que es la capa aislante que recubre a muchos axones.
- **recogida y eliminación de restos** celulares, tras una lesión o muerte de una neurona.
- mantenimiento de la **concentración de K⁺** en el líquido extracelular y captación de **neurotransmisores**.
- **guía** de la migración neuronal y del crecimiento axonal.
- participan en la formación de la **barrera hemato-encefálica**, que previene el paso al encéfalo de sustancias tóxicas presentes en el torrente sanguíneo.
- participan en la **modulación de la actividad neuronal** y en las interacciones sinápticas.
- probablemente están también implicadas en la **nutrición** de las neuronas.

Existen varios tipos de células gliales:

- **oligodendrocitos:** forman la vaina de mielina en el SNC; envuelven varios axones a la vez.
- **células de Schwann:** forman la vaina de mielina en el SNP; cada célula envuelve a un solo axón.
- **astrocitos:** son los más numerosos. Poseen cuerpos celulares estrellados, con prolongaciones relativamente largas. Una de sus funciones, por ejemplo, es rodear la región de la sinapsis para captar el neurotransmisor y mantener la concentración de K^+ . También pueden regular la actividad y comunicación neuronal.
- **microglía:** células pequeñas, con forma estrellada o fusiforme. Entre sus funciones se encuentra realizar la fagocitosis del material degenerado.

Sistemas sensoriales

Nuestro encéfalo está siendo bombardeado constantemente por información procedente del exterior; el sistema nervioso extrae la información que es importante para nuestra supervivencia y el resto es desechado. Con esa información el sistema nervioso crea una **imagen del mundo** que nos rodea. Nuestras percepciones difieren cualitativamente de las propiedades físicas de los estímulos: recibimos ondas electromagnéticas de distintas frecuencias y percibimos colores; recibimos variaciones en las ondas de la presión del aire y percibimos palabras y música; recibimos miles de componentes químicos disueltos en el aire o agua y percibimos olores y sabores. Colores, sonidos, olores y sabores son **construcciones mentales** creadas en el cerebro por el procesamiento sensorial; **no existen como tales fuera del encéfalo**.

No toda la información sensorial se transforman en una experiencia consciente, en una **percepción**; existe mucha información que se utiliza para el control del movimiento, para la regulación de las funciones de los órganos internos, que nunca alcanza el nivel consciente. Recibimos información desde los vasos sanguíneos, vísceras, músculos, etc, que permite regular parámetros como la presión sanguínea, la frecuencia cardíaca o la frecuencia respiratoria.

Hay tres aspectos comunes a todos los sentidos:

- un **estímulo físico**.
- un conjunto de sucesos mediante los cuales el estímulo se **transduce** en un mensaje de impulsos nerviosos.
- una **respuesta** al mensaje (frecuentemente una percepción).

La fisiología estudia las consecuencias neuronales del estímulo físico, cómo se realiza la transducción, y cómo el estímulo es procesado por el encéfalo. Actualmente se utilizan en humanos técnicas no invasivas que permiten conocer cómo es la función nerviosa ante distintos estímulos, como la tomografía por emisión de positrones (**PET**) o la imagen por resonancia magnética (**MRI**).

Atributos de las percepciones

- **modalidad o cualidad:** hay seis modalidades sensoriales principales: vista, oído, tacto, gusto, olfato y equilibrio. Cada modalidad presenta **submodalidades**, que constituyen sentidos más elementales (por ejemplo, la amplia diversidad de sabores se consigue por combinaciones de cinco submodalidades gustativas básicas: dulce, ácido, salado, amargo y umami). La modalidad es una propiedad de la vía nerviosa sensorial (¿qué ocurre si se hace un cambio en la vía?); cada fibra nerviosa es activada por un tipo de estímulo específico (por ejemplo, las fibras nociceptoras no se activan por estímulos suaves).
- **intensidad:** depende de la intensidad del estímulo. La intensidad del estímulo más baja que un sujeto puede detectar se denomina **umbral sensorial**. Estos umbrales no son fijos, pueden estar influidos por la experiencia, la fatiga o el contexto en el que se presenta un estímulo. El umbral para el dolor, por ejemplo, suele elevarse durante la competición deportiva o en el parto.
- **duración:** la duración de la sensación depende de la intensidad y de la duración del estímulo. En general, cuando un estímulo persiste largo tiempo, la intensidad de la sensación disminuye, lo que se denomina **adaptación**.
- **localización:** la mayoría de las sensaciones se perciben con una localización específica en el espacio, ya sea en el cuerpo o en el exterior. La distancia mínima detectable entre dos estímulos se llama **umbral entre dos puntos**. Este umbral puede ser tan pequeño como 1 mm en la punta de los dedos. Cada receptor sensorial sólo puede ser activado por un estímulo que incida sobre un área determinada de la superficie receptora; a esta área se le denomina **campo receptor**. Por ejemplo, el campo receptor para un mecanorreceptor del tacto es la porción de piel inervada por una neurona concreta. El tamaño del campo receptor está directamente relacionado con la resolución espacial de un sistema sensorial: cuanto menores sean los campos receptores, mayor será la resolución.

Organización de los sistemas sensoriales

Todos los sistemas sensoriales tienen una organización anatómica similar.

Receptor

El contacto inicial con el mundo externo ocurre a través de células especializadas denominadas **receptores sensoriales**. En los sistemas olfativo y somatosensorial el receptor sensorial es una neurona denominada **neurona sensorial primaria**. En los sistemas gustativo, visual, auditivo y vestibular (o del equilibrio) los receptores son **células epiteliales** especializadas, las cuales se comunican con una neurona sensorial primaria. Estas células epiteliales y las neuronas sensoriales se integran en estructuras complejas denominadas **órganos sensoriales**.

Estímulo físico

Cada receptor es sensible a una forma de energía física y, según esto, existen distintos tipos de receptores:

- mecanorreceptores: sensibles a fuerzas mecánicas.
- fotorreceptores: sensibles a la luz.
- termorreceptores: sensibles a las variaciones de temperatura.
- quimiorreceptores: sensibles a determinadas sustancias químicas.
- nociceptores: sensibles a estímulos que producen lesiones (mecánicos, químicos, térmicos).

Algunos animales tienen tipos especializados, como los electrorreceptores en peces o los receptores de infrarrojos en serpientes.

El tipo concreto de energía a la que un receptor es sensible se conoce como **estímulo adecuado**. Cada receptor es sensible solo a un estrecho rango de estimulación (por ejemplo, cada receptor auditivo no es sensible a todas las frecuencias, sino solo a una parte del espectro).

Transducción

A pesar de existir distintos tipos de estímulos, toda la energía es transformada en descargas neurales. Para ello se produce la **transducción del estímulo**, o sea, la conversión de la energía del estímulo en una despolarización o hiperpolarización local de la membrana de la célula receptora. El estímulo produce un cambio local en el potencial de membrana de la neurona sensorial primaria, que se llama **potencial receptor**. Cuando el potencial receptor alcanza el cono axónico se generan potenciales de acción si la amplitud es superior al umbral de excitación.

Codificación

A continuación se produce la **codificación neural**: la señal neural evoca una descarga de potenciales de acción que representan parámetros del estímulo (intensidad, duración). Los potenciales de acción son iguales en todo el sistema nervioso; un potencial de acción provocado por un estímulo débil es igual que uno provocado por un estímulo fuerte. Para señalar las diferencias del estímulo se produce la codificación neural: lo importante no son los potenciales de acción individuales, sino los **patrones de descarga**; o sea, existe un código neural. Por ejemplo: la frecuencia de descarga de una neurona sensorial primaria aumenta con la intensidad del estímulo.

Vía ascendente

La ramificación central de la neurona sensorial primaria contacta con **neuronas de segundo orden** en el SNC y, en la mayoría de los sistemas, éstas envían la información en dirección al **tálamo**. Finalmente el tálamo envía las señales al **córtex**.

Receptores sensoriales en el músculo

Los músculos contienen dos tipos de receptores sensoriales (mecanorreceptores) que proporcionan al SNC información acerca de los cambios de la longitud del músculo y de las fuerzas que estos cambios generan; o sea, información acerca del movimiento y también de la propiocepción (posición de los miembros en el espacio).

Husos musculares: responden al estiramiento de fibras musculares especializadas. Se encuentran en las porciones carnosas de los músculos, paralelos a las fibras musculares esqueléticas. Son estructuras alargadas, con el centro un poco más grueso (de ahí su estructura fusiforme) y una longitud de 4-10 mm. El huso se encuentra dentro de una cápsula de tejido conectivo llena de líquido gelatinoso.

Tienen tres componentes:

- un grupo de fibras musculares especializadas: **fibras intrafusales**.
- terminales sensoriales: registran los cambios de longitud de las fibras intrafusales. Normalmente se enrollan alrededor de fibras individuales.
- terminales motoras: motoneuronas gamma, en los extremos.

Cuando las fibras intrafusales se estiran los terminales sensoriales aumentan su tasa de descarga, porque se activan canales iónicos sensibles al estiramiento. Estos terminales pertenecen a los tipos de fibras sensoriales Ia y II.

Para que el huso pueda ser sensible a la nueva conformación, el SNC regula la longitud de las fibras intrafusales mediante las **motoneuronas gamma**. Por el contrario, las **fibras extrafusales** están inervadas por **motoneuronas alfa**. En la contracción de un músculo, por lo tanto, se produce una **coactivación alfa-gamma** que permite que ambos sistemas funcionen en sincronía.

Un ejemplo práctico: el reflejo miotático

Un reflejo es una respuesta relativamente estereotipada frente a un estímulo sensorial específico. La activación de los receptores sensoriales puede producir respuestas motoras muy rápidas y dependientes de la médula espinal: **reflejos espinales**. La respuesta refleja más rápida es la producida por las fibras Ia: éstas se activan por el estiramiento muscular (y, por lo tanto, estiramiento del huso), lo que da lugar a una acción refleja que consiste en generar una respuesta motora opuesta al estímulo, o sea, la contracción del músculo que ha sufrido el estiramiento. Este es un reflejo monosináptico y se denomina **reflejo de estiramiento o miotático**. Un ejemplo es el **reflejo patelar**, que se origina por estiramiento del cuádriceps al golpear ligeramente el tendón de la rodilla.

Organos tendinosos de Golgi: son sensibles a los cambios de tensión. Se encuentran en la unión entre la fibra muscular y el tendón, por lo tanto están conectados en serie a un grupo de fibras musculares esqueléticas. Son cápsulas delgadas, de 1 mm de longitud aproximadamente. Las fibras de colágeno que llegan del tendón se dividen en finos fascículos, formando una estructura trenzada. El estiramiento del tendón endereza los haces de colágeno, lo que comprime los terminales nerviosos y provoca su descarga. Los terminales sensoriales pertenecen al tipo Ib.

Cuando el músculo se estira, las aferencias del huso aumentan su descarga, mientras que los órganos tendinosos sólo muestran un aumento pequeño. Cuando el músculo se contrae, la tasa de descarga del órgano tendinoso aumenta mucho, mientras que la del huso disminuye o cesa (**lo que también es información, ojo**).

Sistemas motores

Los sistemas sensoriales son los puntos de entrada al sistema nervioso; transforman energía física en señales neurales. Los sistemas motores utilizan señales neurales para convertir planes de acción en movimientos musculares que producen movimientos.

Los movimientos pueden dividirse en tres grandes clases según su complejidad y el grado de control voluntario:

- **respuestas reflejas**, como el reflejo rotuliano, la retirada de la mano de un objeto caliente, o el tragar. Son los comportamientos motores más simples y están poco afectados por controles voluntarios. Son respuestas estereotipadas y rápidas.
- **patrones rítmicos** de movimiento, como andar, correr o masticar. Combinan características de los actos reflejos y voluntarios. En general solo el inicio y el final de la secuencia son voluntarios.
- **movimientos voluntarios**, son los más complejos. Se caracterizan por dos rasgos: son movimientos que se realizan con un objetivo determinado y en gran medida aprendidos (su ejecución mejora mucho con la práctica).

En cualquier clase de movimiento, en cualquier conducta, los músculos se relajan y se contraen. Puesto que los músculos únicamente pueden *tirar* de sus lugares de inserción, se requieren grupos de músculos en lados opuestos de cada articulación: los **agonistas** y los **antagonistas**.

De igual manera que existen distintos tipos de movimientos, en el SNC existe una jerarquía de estructuras que controlan esos movimientos:

- la **médula espinal** es la estructura más básica; es la estructura fundamental para las acciones reflejas y es el punto final de control para los movimientos voluntarios. Las respuestas reflejas pueden funcionar incluso cuando la médula espinal queda desconectada del encéfalo.
- los sistemas descendentes del **tronco del encéfalo** forman el nivel siguiente. Controlan muchos patrones rítmicos de movimiento (respiración), movimientos de ojos y cabeza, así como la postura.
- las áreas motoras del **córtex cerebral** ocupa el nivel jerárquico más alto; lugar desde el que se ejecutan las órdenes de movimiento voluntario.

Además existen otras dos regiones implicadas en el control motor: el **cerebelo** y los **ganglios basales**, que no están implicadas directamente en la producción del movimiento, sino en la regulación y modulación de las órdenes del córtex y del tronco encefálico.

Cada componente del sistema motor contiene mapas somatotópicos del cuerpo. Todas estas señales de control convergen finalmente sobre las **motoneuronas** de la médula espinal, que son las encargadas de inervar y activar los músculos esqueléticos.

El cerebelo y los ganglios basales

Además de las tres regiones jerárquicas, córtex - tronco encefálico - médula, existen otras dos estructuras que regulan la función motora.

Cerebelo

Realiza un control fino de los movimientos, comparando las entradas sensoriales con las órdenes motoras descendentes, y ajustando las salidas de los principales sistemas motores descendentes encefálicos. O sea, actúa como un **comparador**, que compensa los errores del movimiento, al comparar los movimientos proyectados con los realizados.

Hay evidencias que apoyan que el cerebelo participa en el **aprendizaje motor**: los circuitos cerebelosos se modifican por la experiencia, y estos cambios son importantes para el aprendizaje.

Las **lesiones** del cerebelo no provocan parálisis, sino que bloquean la coordinación de los movimientos, impiden el mantenimiento del equilibrio y disminuyen el tono muscular. A las anomalías en la coordinación de los movimientos voluntarios se les denomina **ataxias**.

Ganglios basales

Los ganglios basales realizan un control del movimiento voluntario, recibiendo entradas y enviando sus salidas al córtex cerebral. Parece que están implicados principalmente en la **planificación y desencadenamiento** de los movimientos voluntarios, y en la organización de los ajustes posturales asociados.

Las **enfermedades** que afectan a los ganglios basales provocan alteraciones del movimiento, con movimientos involuntarios anómalos y trastornos de la postura. Una de las principales enfermedades que afecta a esta región del encéfalo es la **enfermedad de Parkinson**.

Para la próxima clase debes:

- leer el texto y tratar de comprenderlo.
 - buscar imágenes y esquemas del SN que muestren las regiones que se indican en el texto.
 - pensar sobre las siguientes cuestiones:
 - un murciélago ¿tiene una imagen del mundo que le rodea?
 - un árbol que cae en un bosque, ¿hace ruido aunque no haya ser vivo alguno lo suficientemente cerca como para oírlo?
 - ser capaz de representar en un dibujo un huso muscular.
 - ser capaz de representar en un dibujo el funcionamiento del reflejo patelar.
 - relacionar los distintos tipos de movimientos con las principales estructuras que los regulan.
 - comprender la jerarquía que existe entre las distintas estructuras que controlan el movimiento.
 - comprender y diferenciar las funciones del cerebelo y los ganglios basales.
-