

## Tema 3: 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** ocupan 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.

### Organización de las motoneuronas en la médula espinal

La médula espinal contiene una región central de sustancia gris, compuesta en su mayoría por cuerpos celulares de neuronas, y una región periférica de sustancia blanca, compuesta de axones. Los somas de las motoneuronas se localizan en la parte ventral de la sustancia gris, en las denominadas **astas ventrales**. Las motoneuronas que inervan un músculo determinado se encuentran agrupadas en **núcleos motores** que pueden abarcar más de un segmento espinal.

Las motoneuronas que inervan los músculos axiales y proximales se sitúan en la región medial; las que inervan músculos distales se localizan en la región lateral. Por otra parte, las motoneuronas que inervan músculos extensores se sitúan ventralmente, y las que inervan músculos flexores se encuentran más dorsales. Los músculos axiales y proximales se utilizan predominantemente para mantener el equilibrio y la postura; por el contrario, los músculos distales se utilizan para actividades de manipulación finas. Ambos grupos de motoneuronas (mediales y laterales) están controladas por vías descendentes distintas.

### **Sistemas motores del tronco encefálico**

Además de los tractos de fibras de control motor que parten del córtex, en el tronco del encéfalo existen varios tractos descendentes de control motor, con origen en varios núcleos. Existen dos tipos de vías, en función de su localización y distribución en la médula espinal:

- **vías mediales:** controlan los músculos axiales y proximales y, por lo tanto, están implicadas en el control de la postura y mantenimiento del equilibrio. Terminan en la región ventromedial de la sustancia gris espinal. Estas vías descienden por las columnas ventrales ipsilaterales de la médula, y terminan sobre interneuronas y motoneuronas. Existen tres tractos principales:
  - **vestibuloespinal:** se origina en el **núcleo vestibular** y transportan información desde el laberinto vestibular para el control reflejo del equilibrio y la postura.
  - **reticuloespinal:** se origina en la **formación reticular** del puente y bulbo, y controla el mantenimiento de la postura. Integra información procedente de diversas regiones (núcleo vestibular, córtex).
  - **tectoespinal:** se origina en el **colículo superior**, en el mesencéfalo, y coordina los movimientos de la cabeza y los ojos. Recibe un control superior procedente del córtex.
- **vías laterales:** controlan los músculos distales y están implicadas en los movimientos dirigidos a una meta, principalmente de manos y brazos. Terminan en la región dorsolateral de la sustancia gris espinal. El principal tracto descendente lateral es:
  - **rubroespinal:** se origina en el **núcleo rojo**, en el mesencéfalo, y desciende por la columna lateral contralateral de la médula. Controlan las motoneuronas que inervan los músculos distales de los miembros, implicadas en la realización de movimientos finos con los dedos y la mano.

El córtex motor, además de ejercer un control directo sobre las motoneuronas de la médula, también actúa sobre éstas indirectamente, controlando las vías del tronco encefálico.

### **Control motor cortical**

El nivel superior de control motor lo constituyen tres áreas del córtex cerebral:

- córtex motor primario.
- córtex premotor.
- área motora suplementaria.

El **córtex motor primario** está directamente implicado en generar las órdenes de activación de las motoneuronas; por su parte, el **córtex premotor** y el **área motora suplementaria** están más implicados en la preparación para el movimiento, enviando señales al córtex primario.

De estas regiones parten axones hacia la médula espinal y el tronco:

- a) existen fibras que controlan las regiones motoras del tronco encefálico.
- b) **Fibras corticobulbares:** controlan los músculos faciales.

**c) Fibras corticoespinales:** controlan las motoneuronas que inervan los músculos del tronco y extremidades. La mayoría de los axones se originan en el córtex motor primario. Existe un tracto corticoespinal **lateral**, que controla las motoneuronas de los núcleos laterales de la médula; y un tracto corticoespinal **ventral**, que controla las motoneuronas de la región más medial.

Estas vías corticobulbares y corticoespinales sólo existen en los mamíferos y, dentro de éstos, los primates son los que tienen un control más complejo, con un mayor número de conexiones directas de la corteza con las motoneuronas (en los mamíferos con menor desarrollo encefálico no existen conexiones directas con motoneuronas, sólo con interneuronas).

El córtex motor primario (y las áreas premotoras) contiene un **mapa motor** del cuerpo, en donde no todas las partes están representadas por igual: las partes del cuerpo utilizadas en tareas que requieren más precisión o control fino (cara, manos) tienen representaciones proporcionalmente mayores.

### 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**.

#### Estructura y conexiones

El cerebelo está compuesto de una capa exterior denominada **córtex cerebeloso** y de varios núcleos, denominados **núcleos profundos**. En el córtex cerebeloso se encuentran las células de Purkinje, neuronas que pueden llegar a recibir hasta unas 200.000 entradas (y que tienen una salida, como todas). Se ha calculado que el cerebelo tiene unas  $7 \cdot 10^{10}$  neuronas, ¡mucho más que en todo el córtex cerebral!

Recibe **entradas** procedentes:

- de la periferia (tracto espinocerebeloso).
- de los núcleos del tronco encefálico.
- de una estructura del bulbo, el núcleo inferior de la oliva, que a su vez recibe conexiones procedentes del córtex cerebral y de la médula.

Envía **salidas** a:

- los núcleos del tronco encefálico.
- el córtex motor y premotor, a través del tálamo.

#### **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**.

#### Estructura

Están compuestos por cinco núcleos subcorticales, que están altamente interconectados entre sí:

- caudado.
- putamen.
- globo pálido.
- núcleo subtalámico.
- sustancia nigra.

Recibe **entradas** procedentes principalmente de:

- varias regiones del córtex cerebral.
- tálamo.

Envía sus **salidas** a:

- varios núcleos del tálamo, que proyectan al córtex premotor y el área motora suplementaria.

De esta manera, los ganglios basales influyen, entre otros, en los sistemas descendentes corticoespinal y corticobulbar.

---

Para la próxima clase debes:

- leer el texto y tratar de comprenderlo.
  - 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.
-