



Saber & entender

Organización de la motricidad

Marzo 2005

Informe

Los músculos estriados esqueléticos, que están bajo el control del sistema nervioso, garantizan la motricidad (locomoción, postura, mímica, etc.).

El sistema nervioso central (cerebro, cerebelo, médula espinal) es una auténtica torre de control del organismo y constituye el lugar en el que se integra la información y la orden motora gracias a la que se realizan los movimientos voluntarios.

El sistema nervioso periférico (raíces nerviosas y nervios periféricos) lleva esta información hasta el músculo por medio de la unión neuromuscular.

Cada músculo esquelético está conectado a la médula espinal por un nervio periférico. La transmisión del impulso nervioso al músculo desencadena la contracción muscular. Al contraerse, el músculo produce fuerza y movimiento.



ASEM

Federación Española de Enfermedades Neuromusculares



AFM

Association Française contre les Myopathies

PAPEL DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso está formado por el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico, ambos transmiten, según el caso, información motora o sensitiva. El sistema nervioso central está integrado por el cerebro, el cerebelo, el tronco cerebral y la médula espinal, mientras que el sistema nervioso periférico está constituido por los nervios, que salen o entran en la médula espinal (nervios raquídeos) o el tronco cerebral (nervios craneales).

Control voluntario de la motricidad (Vía motora piramidal)

Los músculos esqueléticos están controlados por una zona precisa de la corteza cerebral denominada área motora. La corteza cerebral desempeña un papel importante en el control de los movimientos voluntarios. La motricidad voluntaria depende del haz piramidal que permite la conexión directa entre la corteza cerebral motora y las motoneuronas que se encuentran en el tronco cerebral (primera motoneurona) y en la médula espinal (segunda motoneurona). El impulso nervioso va de las motoneuronas hacia los nervios periféricos que establecen una sinapsis con los músculos en la unión neuromuscular. Gracias a sus propiedades (excitabilidad, contractibilidad, elasticidad, etc.) los músculos son capaces de generar fuerza.

Regulación de los movimientos (Vía motora extrapiramidal)

El sistema nervioso central posee un sistema de vigilancia sofisticado. Trata e interpreta la información sensorial recibida del área motora (corteza cerebral), del tronco cerebral y de los receptores sensoriales situados en todos los tejidos (hueso, músculo, tendón, ligamento, piel, etc.). De modo especial, dispone de información permanente sobre el estado y la

posición de las distintas partes del cuerpo en el espacio.

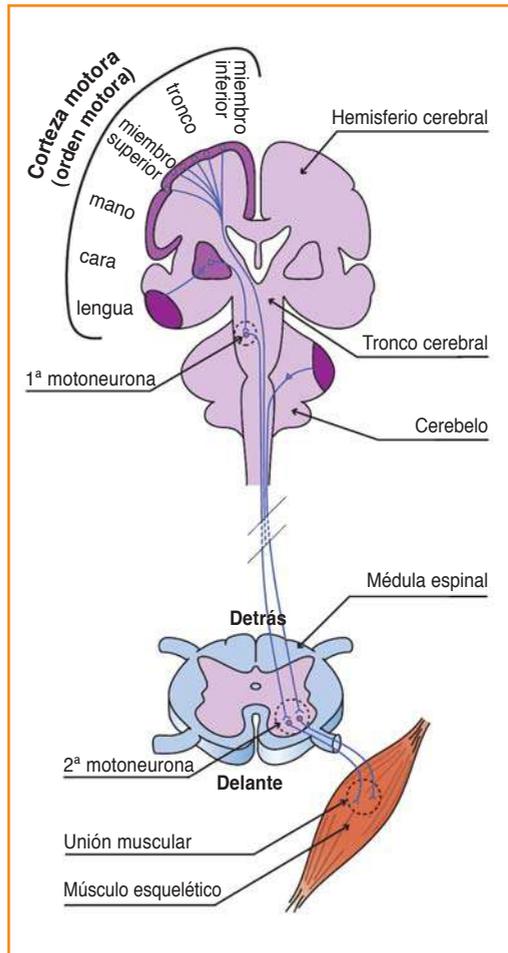
El cerebelo controla la bipedestación y el equilibrio. Sincroniza las contracciones de los diferentes músculos esqueléticos y produce movimientos coordinados.

La ejecución de movimientos intencionados y terminados (movimientos voluntarios) depende del sistema nervioso central que integra la información sensorial, programa el movimiento (sincronización, etc.) y transmite las órdenes de contracción al músculo.

La orden, una vez lanzada, se transmite al sistema nervioso periférico que toma el relevo y ordena la contracción al músculo por medio de los nervios motores. Los

músculos, órganos efectores, responden contrayéndose.

El conjunto de esta actividad motora global, consciente o no, que se manifiesta en el marco del movimiento está controlado por las vías motoras extrapiramidales. Se trata de las vías neurológicas de la motricidad que se sitúan fuera del haz piramidal. Dado que activan grupos musculares enteros, desempeñan un papel en la regulación de los movimientos y el tono muscular. El sistema extrapiramidal, en asociación con el cerebelo, controla el tono, la coordinación del gesto y la adaptación postural.



Vía motora voluntaria.

La corteza cerebral desempeña un papel importante en el control de los movimientos voluntarios por medio del haz piramidal. El haz piramidal conecta la corteza cerebral motora con las motoneuronas que se encuentran en el tronco cerebral (haz corticobulbar) y en la médula espinal (haz corticoespinal). El impulso nervioso sale de la motoneurona hacia el nervio periférico que establece una sinapsis con el músculo en la unión neuromuscular. La estimulación del nervio provoca la contracción del músculo estriado esquelético.

EQUIPAMIENTO SENSORIAL TENDINOMUSCULAR

El sistema nervioso central posee un sistema de vigilancia sofisticado. Una serie de detectores específicos son sensibles a la actividad neuromuscular y participan, así, en la regulación de manera retroactiva de la orden del sistema nervioso central.

Los músculos también tienen una función de percepción propia. Si el sistema nervioso central controla los actos reflejos o intencionales de los músculos, estos últimos le envían, a cambio, información sobre el desarrollo de estos actos. Las informaciones que transmiten al cerebro nos permiten acceder, como los otros sentidos, a la conciencia de nuestro cuerpo y de su lugar en el espacio (propiocepción). Esta sensibilidad muscular es fundamental para el aprendizaje motor y el reaprendizaje (rehabilitación después de lesiones cerebrales o del aparato locomotor).

Receptores musculares y tendinosos

Estos receptores sirven de manera general para el ajuste de la longitud y la regulación de la tensión del músculo estriado.

Fibras intrafusales

Los receptores musculares son fibras musculares sensitivas, denominadas fibras intrafusales, alrededor de las cuales se envuelve una fibra nerviosa. Estas fibras son sensibles al estiramiento (variaciones de longitud del músculo). Se agrupan en husos en el interior de los músculos, en paralelo con las fibras musculares motoras (denominadas fibras extrafusales). Cuando el haz se estira como consecuencia de la relajación o el alargamiento del músculo que lo contiene, origina un mensaje capaz de propagarse a lo largo de la fibra hasta la médula espinal, centro nervioso reflejo. Las fibras intrafusales pue-

COORDINACIÓN ENTRE MOVIMIENTO Y POSTURA

El movimiento voluntario se diferencia del movimiento reflejo o de un movimiento automático por el hecho de que es muy mejorable por el aprendizaje. La locomoción y el control de la postura son movimientos voluntarios.

Los ajustes posturales se originan antes y durante el movimiento para estabilizar la postura. Las actividades posturales anticipadas permiten, además de estabilizar la postura, el inicio del movimiento. Para realizar un movimiento (preciso y rápido), es necesario coordinar de manera apropiada el movimiento que finaliza con la postura. Esta coordinación es posible gracias a la intervención del sistema nervioso central. Los ajustes posturales necesarios para estabilizar la postura no son automáticos y exigen atención

• LOCOMOCIÓN

Al andar, la cabeza sirve de «plataforma de control» ya que permanece siempre en una posición estable. Esto está vinculado a la geometría del esqueleto: la porción de columna vertebral que sostiene la cabeza es perfectamente vertical y actúa como una «plomada».

Una vez realizado el aprendizaje de la marcha, ésta se efectúa de manera voluntaria

pero automática. La voluntad permite modular la rapidez, la longitud del paso, etc. para adaptar el movimiento al entorno.

Existen dos detectores fundamentales que permiten al cerebro medir los movimientos del cuerpo en el espacio. El ojo indica la vertical visual y la velocidad de los desplazamientos del cuerpo en el espacio. Otros detectores situados en el oído interno (sistema vestibular) desempeñan un papel importante en el equilibrio. Del mismo modo, reflejos de ajuste de la postura activan los detectores de los músculos y tendones.

• CONTROL DE LA POSTURA

La postura está controlada por estructuras cerebrales. La información procede de numerosos receptores sensoriales:

- el conjunto de los propioceptores informa sobre el estiramiento de los distintos músculos o sobre la posición de las articulaciones; en particular, los propioceptores del cuello informan sobre la posición de la cabeza en relación al cuerpo;
- el sistema vestibular informa sobre la posición o los movimientos de la cabeza;
- el sistema visual informa sobre la posición de la cabeza en relación al mundo exterior.

den contraerse como las fibras motoras, pero solamente en sus extremos. Estos receptores están innervados por dos tipos de terminaciones sensitivas que indican bien la longitud (fibras sensitivas

la), bien los cambios de longitud (fibras sensitivas II).

Las extremidades de estos receptores poseen terminaciones nerviosas que proceden de las neuronas motoras: las motoneuronas

gamma y beta. Estas últimas van a controlar la sensibilidad de los detectores.

Órganos de Golgi

Los receptores tendinosos son los órganos neurotendinosos de Golgi. Están constituidos por pequeñas estructuras fibrosas que se sitúan en la unión del músculo y el tendón y son sensibles, de modo específico, a la tensión del tendón. Informan al sistema nervioso cen-

tral sobre las variaciones de fuerza (estática y dinámica) gracias a las fibras sensitivas Ib.

Receptores articulares

En la cápsula y los ligamentos se encuentran distintos tipos de receptores.

Corpúsculos de Ruffini y Pacini

Los corpúsculos de Ruffini responden tanto a los estímulos de

movimiento como a los de posición, mientras que los corpúsculos de Pacini responden solamente al movimiento.

Terminaciones nerviosas libres

Se sitúan en los ligamentos y las cápsulas. Intervienen en la noción cuando se producen movimientos forzados.

ORGANIZACIÓN DEL MOVIMIENTO

El cerebelo interviene en la sincronización de las contracciones con el fin de generar movimientos armoniosos.

Una cadena muscular es el conjunto de músculos que se asocian para un determinado movimiento; por ejemplo, los músculos extensores de los miembros inferiores en un salto. La sincronización de una cadena muscular es uno de los objetivos del entrenamiento deportivo y la rehabilitación. Un movimiento armonioso es el resultado de las contracciones sincrónicas de varios músculos (agonistas y antagonistas, sinergistas y fijadores).

Músculos agonistas/antagonistas

Los músculos se distribuyen en grupos (por ejemplo, los músculos elevadores de los pies). Los músculos de un mismo grupo garantizan funciones muy próximas. Estos se denominan agonistas y los que realizan el movimiento opuesto antagonistas.

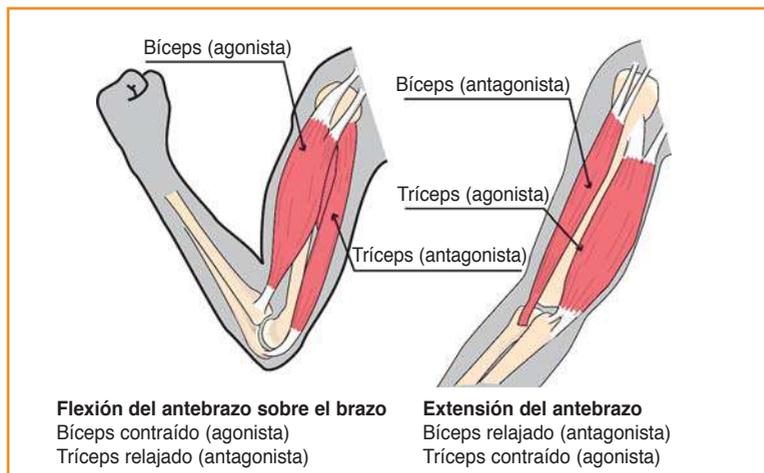
Al comienzo de la contracción (y del acortamiento) de los agonistas, los músculos antagonistas se estiran y se relajan, cuando el movimiento se realiza lentamente. En los movimientos más rápidos, los músculos antagonistas desempeñan un papel moderador sobre la acción de los agonistas. Participan en el control de la velo-

cidad, de la amplitud y de la precisión del movimiento generado por los músculos agonistas.

Músculos sinergistas/fijadores

La mayoría de los movimientos hacen que intervenga uno o varios músculos: son los músculos sinergistas. En la contracción del músculo principal, los músculos sinergistas realizan el mismo movimiento que éste (agonista) o reducen los movimientos inútiles o no deseados (antagonistas, fijadores, etc.).

Cuando los músculos sinergistas inmovilizan un hueso, se les denomina músculos fijadores o estabilizadores. Los músculos fijadores intervienen cuando un movimiento exige una determinada fuerza que requiere un punto de apoyo sólido. En un determinado momento del movimiento, estos músculos entran en juego para inmovilizar una parte del cuerpo en un bloque rígido.



Movimientos y contracción muscular

En movimientos sucesivos o durante el mismo movimiento, un músculo puede ser en primer lugar agonista y, a continuación, antagonista.

CONTRACCIÓN MUSCULAR

La contracción, que genera fuerza y movimiento, constituye la función primordial de la fibra muscular.

Mecánica de la contracción muscular

Con el término 'contracción' se hace referencia a una serie de fenómenos que culminan con la producción de fuerza por parte del músculo. Esta fuerza se origina en las proteínas contráctiles (actina y miosina): la miosina está considerada como el motor molecular de la contracción. La dirección de la fuerza producida es paralela a la de las fibras musculares.

La fuerza desarrollada por el sarcómero depende del nivel de solapamiento de los filamentos de actina y miosina. Cuando el sarcómero está en B (posición «óptima»), está disponible un número máximo de puentes, la tensión producida sobre la curva es máxima. En A, el solapamiento de los filamentos limita el número de puentes, la curva de tensión está en fase ascendente. En C, la actina presenta poco contacto con la miosina y las posibilidades de puentes son reducidas, se trata de la fase descendente de la curva.

Tensión y carga

La tensión es la fuerza ejercida por el músculo sobre un objeto y la carga es la fuerza ejercida por un objeto pesado sobre el músculo. Tensión y carga son, por lo

tanto, dos fuerzas opuestas. Para levantar una masa, es necesario que el músculo ejerza una tensión superior a la carga. La fuerza desarrollada en una articulación por los músculos se expresa en términos de pares de fuerza.

Contracciones isotónicas e isométricas

Cuando no hay acortamiento del músculo o cuando hay equilibrio entre tensión y carga de modo que ésta permanezca inmóvil, la contracción se denomina isométrica. Este tipo de contracción tiene lugar cuando el miembro inferior debe sostener el cuerpo en el momento del apoyo. Los músculos trabajan sin crear movimiento, sin cambiar de longitud. Cuando un músculo se contrae al levantar una masa, la contracción se denomina isotónica concéntrica. En una carrera, la contracción concéntrica del cuádriceps sigue de cerca a la contracción isométrica vinculada a la fase de apoyo. Permite volver al momento de la fase denominada «de empuje». Este tipo de trabajo concéntrico es especialmente importante cuando se suben escaleras o en una carrera en cuesta.

Si el músculo se contrae frenando el descenso de la carga, la contracción se denomina excéntrica. En la carrera, el trabajo excéntrico del cuádriceps acompaña la recepción del miembro inferior en el suelo. Durante la primera parte del contacto con el suelo, el músculo trabaja de manera excéntrica. Se alarga, sus dos extremidades se alejan. Este trabajo es muy importante en las bajadas.

Curva tensión/longitud del sarcómero

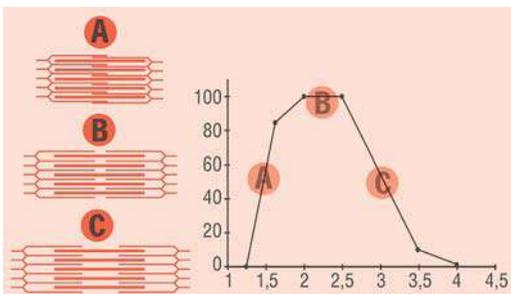
En A: tensión débil (el sarcómero está muy acortado). En B: tensión máxima (posición ideal). En C: tensión débil (poco contacto entre los filamentos de actina y de miosina).

De la excitación a la contracción

El músculo posee una propiedad particular, la de ser un tejido excitable. La excitación de un músculo es previa a su contracción. Para que una fibra muscular se contraiga es necesario que se aplique en su membrana (sarcolema) una corriente eléctrica o potencial de acción. Se denomina acoplamiento excitación-contracción al conjunto de los mecanismos por los que la señal eléctrica de la membrana muscular desencadena los fenómenos físicoquímicos de la contracción. Estos fenómenos originan un incremento temporal de la concentración en iones de calcio en el interior de la fibra muscular lo que provoca su contracción inmediata.

La contracción se desencadena por un estímulo de las motoneuronas de la médula espinal por parte de los centros nerviosos superiores. Se divide en varias etapas.

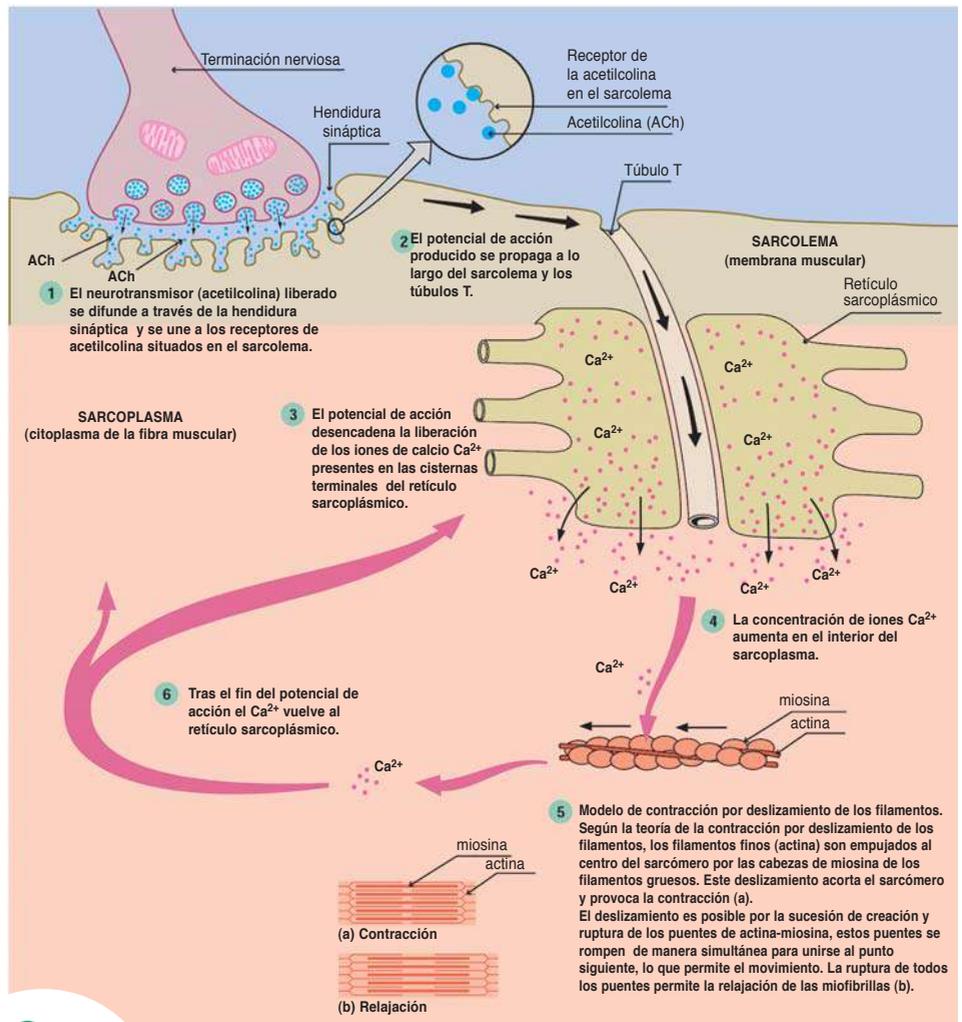
- La unión neuromuscular es la zona de contacto entre la terminación nerviosa (o axonal) de la motoneurona y la fibra muscular. Permite la transmisión de la excitación de la motoneurona a la fibra muscular por medio de una sustancia química, la acetilcolina.
- La acetilcolina se fija en la membrana muscular gracias a un receptor específico (receptor de la acetilcolina). Esta fijación desencadena una señal que va a propagarse a la superficie de la fibra muscular, es el potencial de acción muscular.
- En ese momento comienza el acoplamiento excitación-contracción. La señal se propaga a lo largo de la membrana muscular (sarcolema), penetra profundamente al interior de la fibra gracias a los túbulos transversos y provoca la liberación de iones calcio (Ca²⁺) a partir de las cisternas terminales del retículo sarcoplásmico; su concentración aumenta en



Secuencia de los acontecimientos que dan lugar a la contracción muscular.

el citoplasma de la fibra muscular (sarcoplasma).

• Este aumento de la concentración de iones Ca^{2+} va a ser la causa del desencadenamiento del mecanismo molecular de la contracción que provoca la fijación y el deslizamiento de los filamentos proteicos de actina y miosina. La fase de relajación muscular aparece cuando la excitación nerviosa cesa; el calcio liberado en el citoplasma se recupera entonces, gracias a un transportador, en el retículo sarcoplásmico longitudinal.



ASEM

**Federación ASEM
Federación Española
de Enfermedades
Neuromusculares**
C. Jordi de Sant Jordi,
26-28 Bajos
08027 Barcelona
Tel. 934 516 544
Fax 934 083 695
asem15@suport.org
www.asem-esp.org



1, rue de l'Internationale - BP 59
91002 Évry cedex
Téléphone : 01 69 47 28 28
Télécopie : 01 60 77 12 16
www.afm-france.org

iège social : AFM - Institut de Myologie
83, boulevard de l'Hôpital
751 Paris cedex 13

Agradecemos la colaboración de:



84-689-1564-5

Traducción promovida por ASEM Galicia – Asociación Gallega contra las enfermedades Neuromusculares, en el marco del proyecto I+D+i (PGITDITO4SIN065E) "Creación y explotación de recursos documentales sobre Enfermedades Neuromusculares" 2004-2007. Web: www.asemgalicia.com

Agradecemos la colaboración de:

- Traducción: Dña. Elena SÁNCHEZ TRIGO (Catedrática del Área de Traducción e Interpretación de la Universidad de Vigo)
- Revisión médica: Dra. Carmen NAVARRO (Jefe de Servicio de Anatomía Patológica del Hospital do Meixoeiro -Vigo)