

CONTROL NERVIOSO DEL MOVIMIENTO

José Luis Camacho Díaz

Médico Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte
Asesor Médico del Deporte del Centro Andaluz de Medicina del Deporte de Huelva

ÍNDICE

Glosario	3
Objetivos de aprendizaje	4
Introducción	5
Control espinal del movimiento	12
Control cerebral del movimiento	18
Resumen	22
Bibliografía	23

GLOSARIO

Acetilcolina. Sustancia química liberada por ciertas terminaciones nerviosas, sobre todo las que inervan a la musculatura esquelética.

Actina. Proteína muscular en filamentos. Componente principal de los filamentos finos de la miofibrilla muscular.

Aferente. Centrípeto, va de la periferia al centro.

Eferente. Centrífugo, del centro a la periferia.

Miofibrillas. Elementos contráctiles de las células musculares esqueléticas.

Miosina. Proteína muscular contráctil. Los filamentos gruesos de la miofibrilla muscular están formados por ella.

Propiocepción. Capacidad que permite detectar la posición y el movimiento del cuerpo en el espacio sin la participación de los ojos (visión).

Propioceptores. Receptores que informan de la orientación del cuerpo en el espacio y la posición de los miembros.

Sarcómero. Unidad estructural y funcional de la miofibrilla. Se encuentra entre dos líneas o discos Z sucesivas/os.

Sinápsis. Región de comunicación y transmisión de impulsos entre el axón de una neurona y las dendritas o cuerpo celular de otra.

Tropomiosina. Proteína larga que se dispone alrededor de los filamentos de actina.

Troponina. Proteína globular grande que se localiza sobre un extremo de cada molécula de tropomiosina.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

1. Recordar la estructura y función de la fibra muscular esquelética.
2. Conocer las estructuras que intervienen en el control del movimiento voluntario e involuntario.
3. Comprender los mecanismos que determinan el movimiento.
4. Describir las características de los centros implicados en el control y realización del movimiento motor.

INTRODUCCIÓN

Los músculos esqueléticos están compuestos por paquetes ordenados de células musculares estriadas.

Existen dos tipos:

1) ***Extrahusales***. Se denominan fibras musculares, se caracterizan por ser alargadas, cilíndricas, con numerosos núcleos y tener en su citoplasma un material proteico contráctil, los miofilamentos de actina y miosina (que se agrupan en miofibrillas).

A los filamentos de actina se fijan dos proteínas importantes para la regulación de la contracción muscular, la tropomiosina y la troponina.

Cada miofibrilla puede dividirse en una sucesión de segmentos iguales denominados sarcómeros (unidades contráctiles).

El sarcómero está formado por un haz de miofilamentos de actina (finos) y miosina (gruesos), paralelos al eje mayor de la célula muscular estriada esquelética, cuya distribución da lugar a diferentes regiones. La secuencia es la siguiente:

- *Un disco Z* (se desconoce su composición). De él parten, en cada dirección, los filamentos de actina.
- *Un hemidisco I* (claro). Formado exclusivamente por filamentos de actina.
- *Un disco A* (oscuro). En él están entremezclados los filamentos gruesos de miosina y los finos de actina.
- *Un disco H* (más claro que el A). En el que solamente intervienen los filamentos de miosina.
- *Un disco M* (más oscuro). Divide en dos partes iguales al disco H. Corresponde a una estructura transversal de unión que une la porción media (más gruesa) de los filamentos de miosina.
- *Un hemidisco I* (claro).
- *Un disco Z*.

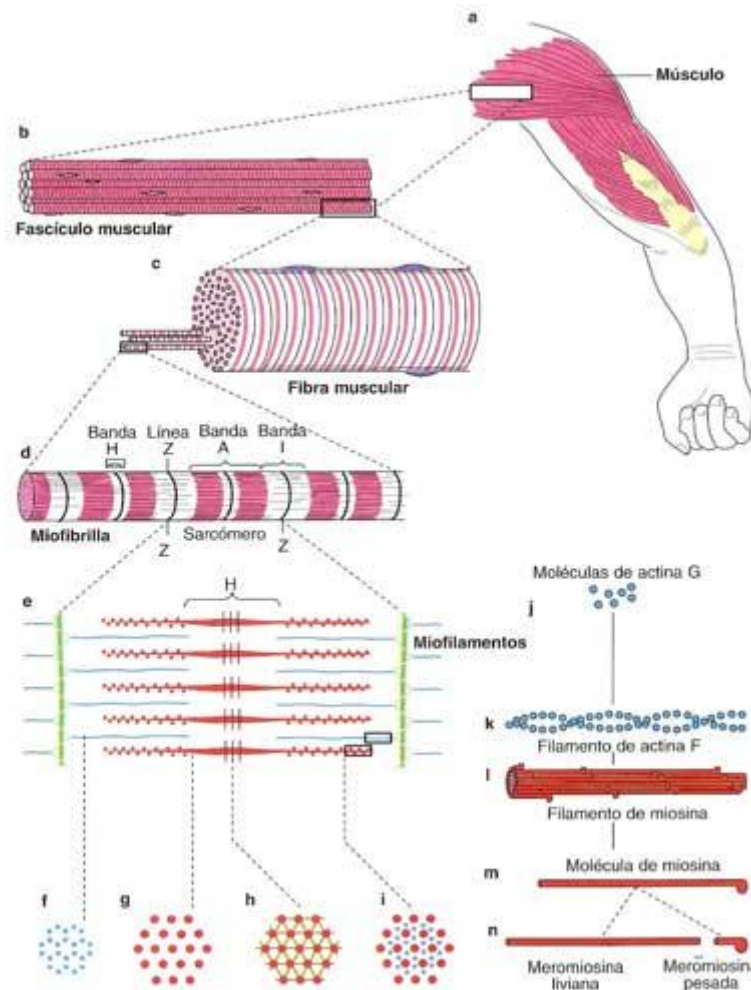


Figura 1. El sarcómero (músculo esquelético desde el nivel macroscópico al molecular).
 Geneser, F.: *Histología*. Panamericana S. A. (2002) Madrid.

Las fibras musculares están delimitadas por una membrana celular excitable denominada sarcolema.

El citoplasma, además de lo citado y los organelos habituales de la célula, posee dos sistemas de retículo endoplásmico liso de características especiales: a) *el retículo sarcoplásmico* (saco intracelular extenso que almacena iones Ca^{++}), longitudinal de canalículos y sáculos anastomosados y b) *el sistema T*, transversal de canalículos estrechos.

Los túbulos T conducen la actividad eléctrica desde la superficie de la membrana hasta la profundidad de la fibra muscular.

La despolarización de la membrana del túbulo T provoca unos cambios en la conformación de unas proteínas que están asociadas con los canales cálcicos del retículo

sarcoplásmico, condición necesaria para que se libere calcio en el citoplasma celular. El aumento del Ca^{++} libre intracelular provoca la contracción muscular.

En cada músculo existen cientos de fibras musculares, estando cada una de ellas innervada por un axón procedente del sistema nervioso central (SNC).

Las propiedades fisiológicas y metabólicas de los músculos esqueléticos están determinadas por diferencias en la estructura de las fibras que los forman.

Atendiendo a criterios fisiológicos, la fibra muscular se puede dividir en: a) *tipo I, rojas o de contracción lenta*, ricas en sarcoplasma, mioglobina, mitocondrias y enzimas oxidativas, b) *tipo II, blancas o de contracción rápida*, más pobres en sarcoplasma, mioglobina, mitocondrias y enzimas oxidativas. Se distinguen tres tipos: *IIA*, de contracción rápida y relativamente resistentes a la fatiga (características intermedias), *IIB* de contracción rápida y rápidamente fatigables y *IIC* (parecen ser una forma primitiva de fibra *tipo II*, que posiblemente se puedan transformar en *IIA* y *IIB*).

La distribución de las fibras *tipo I* y *II* es diferente según los músculos. Por lo general, en los encargados de mantener la postura predominan las *tipo I* y en los que se emplean en movimientos bruscos y rápidos las *tipo II*.

Estamos dotados genéticamente de una proporción determinada de cada tipo de fibra en diferentes músculos. Circunstancia que podría influir en el rendimiento deportivo.

Las fibras musculares están agrupadas en paralelo y su unión asegurada por tejido conjuntivo que se distribuye rodeando a cada célula muscular (endomisio), a un haz de células musculares (perimisio) y al músculo en conjunto (epimisio).

La célula muscular estriada esquelética posee, desde el punto de vista histofisiológico, dos regiones especiales importantes: a) *la unión neuromuscular o placa motora*, que permite la transmisión del estímulo nervioso a ésta y b) *las uniones miofibrilares*.

La placa motora tiene unos estrechamientos que contienen mitocondrias y acetilcolina.

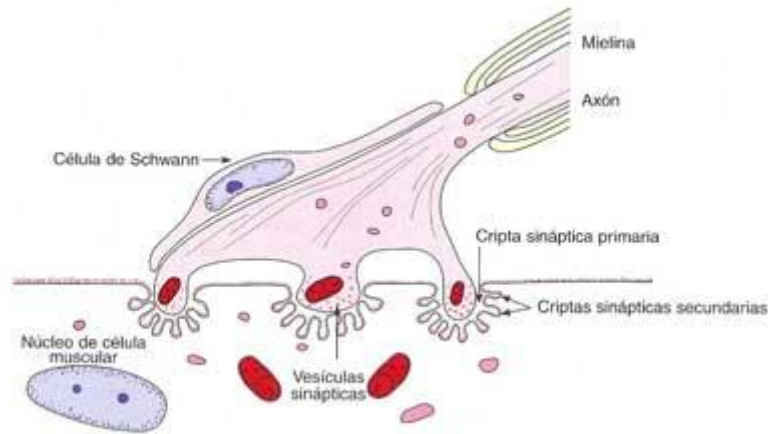


Figura 2. Placa motora. Geneser, F.: *Histología*. Panamericana S. A. (2002) Madrid.

2) **Intrahusales**. Forman parte de los husos neuromusculares, órganos sensoriales constituidos por estas células musculares especializadas, fibras nerviosas (aférentes y eferentes) y vasos sanguíneos.

Son de dos tipos: unas largas, dilatadas en su porción media (donde hay muchos núcleos agrupados) y otras más pequeñas y estrechas, con núcleos en toda su longitud.

Las fibras motoras (eferentes gamma) modifican su longitud según el grado de estiramiento del músculo, detectado por las terminaciones nerviosas espirales (fibras aferente sensitivas), las que rodean a las fibras intrahusales.

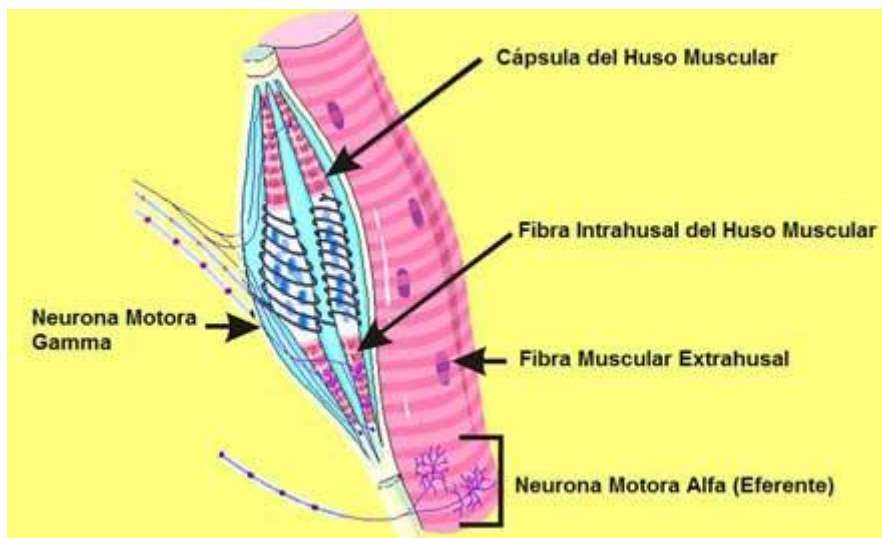


Figura 3. Huso neuromuscular. Lopategui Corsino, E.
<http://www.salumed.com/AprenMotor/ppt/Estimulo.ppt>.

Desde un punto de vista anatómico, el sistema nervioso se divide en central: *encéfalo, médula espinal, líquido cefalorraquídeo, meninges* y periférico: *nervios, ganglios, receptores especializados*.

Además, el sistema nervioso periférico se clasifica, según la función, en somático (relaciona el organismo con el medio ambiente) y autónomo (tiene relación con el medio interno orgánico y controlan las funciones viscerales del organismo).

El encéfalo lo forman el cerebro (diencefalo, mesencefalo y telencefalo), cerebelo y bulbo raquídeo.

La médula espinal, estructura cilíndrica con sentido céfalo-caudal, es la porción intrarraquídea del sistema nervioso.

El líquido cefalorraquídeo tiene una función protectora y nutritiva (baña y rodea al encéfalo y la médula espinal).

Las meninges, duramadre, aracnoides y piamadre, son unas membranas que protegen el SNC.

De cada segmento medular nacen un par de nervios espinales, que se unen a la médula a través de una raíz anterior (ventral) y otra posterior (dorsal).

El nervio espinal está formado por fibras motoras y sensitivas. Las primeras abandonan la médula por delante, formando la raíz anterior, y las segundas entran por detrás, constituyendo la raíz posterior.

Los cuerpos de las neuronas motoras se encuentran en el asta anterior de la médula (sustancia gris) y los de las sensitivas en los ganglios espinales.

La estructura del sistema nervioso periférico es diferente, en el somático, una sola neurona conduce el estímulo nervioso desde el sistema nervioso central hasta el músculo, mientras que en el autónomo (simpático y parasimpático) son necesarias dos y, por lo tanto, la exigencia de una sinápsis nerviosa (neuronas preganglionar-presináptica y postganglionar-presináptica).

Los cuerpos de las células postganglionares se agrupan fuera del sistema nervioso central para formar los ganglios.

Cada neurona preganglionar establece sinápsis con varias postganglionares (característica del sistema nervioso autónomo).

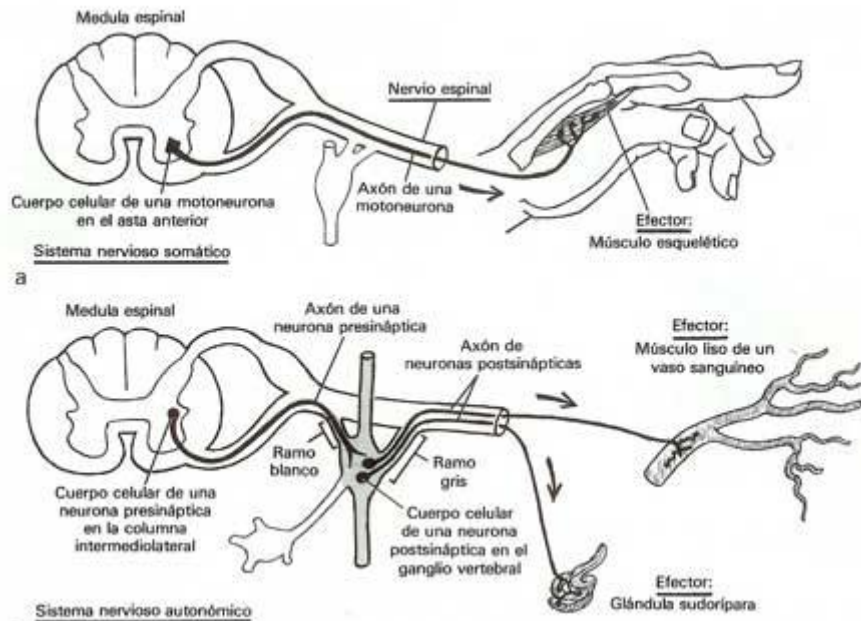


Figura 4. Sistema nervioso periférico: somático y autónomo.

Reith, Edward J., Breidenbach, B., Lorenc, M.: Texto Básico de Anatomía y Fisiología para Enfermería. Ediciones Doyma S. A. (1982) Barcelona.

Las células del sistema nervioso central son de dos tipos:

1) Las neuronas. Parenquimatosas excitables que conducen los impulsos nerviosos. Son las que realizan las funciones específicas.

Distinguimos:

- Sensitivas (aférentes): Reciben estimulación sensitiva a nivel de sus terminaciones dendríticas y la conducen hacia el SNC para su procesamiento.
- Motoras (eferentes): Conducen, desde el SNC, sus impulsos hacia músculos, glándulas y otras neuronas.
- Interneuronas: Están dentro del SNC, funcionan como interconectoras o integradoras. Establecen redes de circuitos neuronales entre las neuronas sensitivas, motoras y otras interneuronas.

2) Las neuroglías. Mesenquimatosas de sostén. Forman el armazón.

El sistema nervioso tiene tres partes diferenciadas: a) sensitiva, informa de lo que nos rodea, b) integradora, integra la información sensitiva y c) motora, es el resultado final de la integración, contrae los músculos.

Existe una jerarquía dentro del sistema nervioso:

- Médula espinal (zona inferior). Se realizan movimientos reflejos. En sus astas ventrales se encuentran las motoneuronas.

- Tronco encefálico (zona intermedia). Aquí se encuentran los núcleos de los pares craneales. Existen núcleos motores para la musculatura axial (tronco), distal (extremidades) y proximal (hombros y caderas).

- Cerebro (zona superior). Áreas motoras de la corteza, controlan al tronco encefálico y la médula espinal.

El cerebelo desempeña un papel regulador en la coordinación de la actividad muscular, el mantenimiento del tono muscular y la conservación del equilibrio. Recibe información procedente de las diferentes partes del organismo, la corteza cerebral le envía una serie de fibras que posibilitan la cooperación entre ambas estructuras, los músculos y articulaciones le señalan de modo continuo su posición y el oído interno le mantiene informado acerca de la posición y movimientos de la cabeza.

Los ganglios basales representan a un conjunto de núcleos que participan en la regulación de los movimientos, una vía directa activa el movimiento y una vía indirecta tiende a inhibirlo. Están insertados en un circuito que se inicia en la corteza cerebral y cuya salida es a través del tálamo, de vuelta a la corteza cerebral.

CONTROL ESPINAL DEL MOVIMIENTO

El arco reflejo, es un movimiento muy básico, sin control voluntario, en el que interviene la médula espinal.

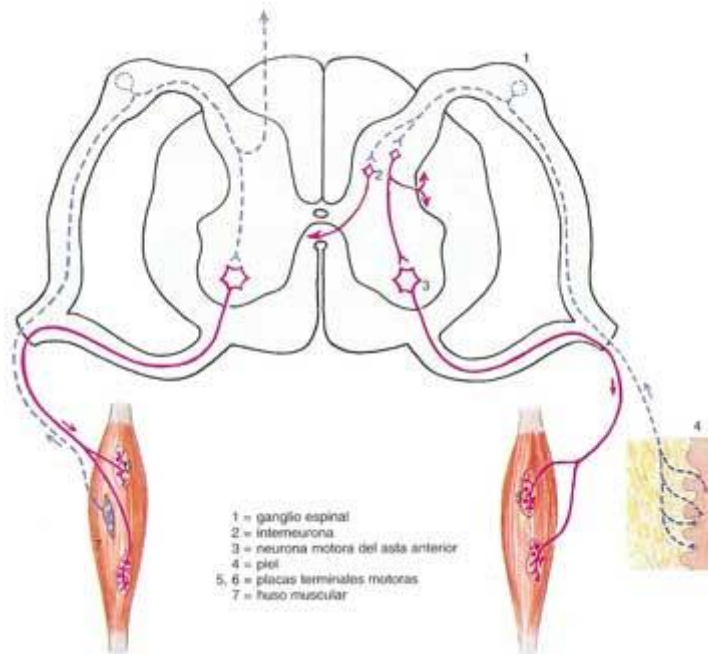


Figura 5. Arcos reflejos de la médula espinal.

Sobotta, J.: Atlas de Anatomía Humana. Panamericana S. A. (1994) Madrid.

A) Sistema motor somático.

La musculatura somática está inervada por las neuronas motoras somáticas del asta ventral de la médula espinal.

Las neuronas que inervan musculatura distal y proximal se encuentran en los engrosamientos cervical (segmentos espinales C3-T1) y lumbar (segmentos espinales L1-S3) de la médula espinal, mientras que las de la musculatura axial se encuentran a todos los niveles.

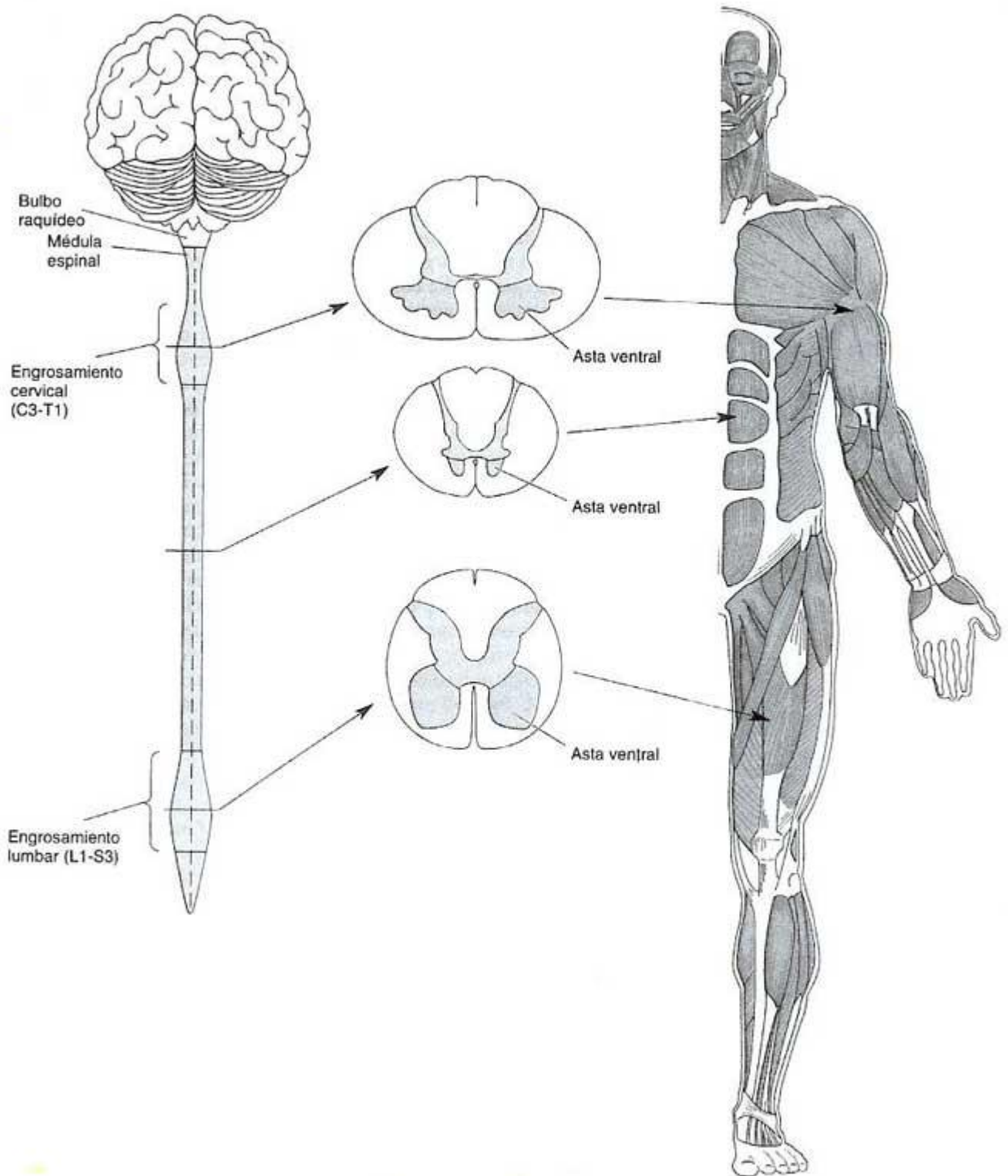


Figura 6. Distribución de las neuronas motoras en la médula espinal. (M. Bear)
 Bear, Mark F., Connors, Barry W., Paradiso, Michael A.: Explorando el Cerebro. Masson, S. A. (2002)
 Barcelona.

Las motoneuronas inferiores de la médula espinal se dividen en alfa y gamma.

Dan inervación motora a las fibras musculares extrahusales (neuronas alfa) y las intrahusales (neuronas gamma).

Las neuronas motoras alfa son responsables directas de que el músculo genere fuerza, cada una de ellas y las fibras musculares que inerva forman la unión neuromuscular o placa motora (Sherrington la denominó unidad motora). Se agrupan en núcleos motores, dentro de las astas ventrales de la médula espinal, ventromediales (musculatura axial y proximal) y dorsolaterales (musculatura distal).

El control graduado de la contracción muscular se realiza a través de la sinapsis especializada entre el nervio y el músculo esquelético (unión neuromuscular) y el reclutamiento de unidades motoras adicionales.

Existen tres fuentes de aferencia a las motoneuronas alfa: a) las células ganglionares de la raíz dorsal, con axones que inervan a los husos neuromusculares, b) las neuronas motoras superiores del cerebro, terminan principalmente en las neuronas motoras alfa que inervan los músculos distales y c) interneuronas de la médula espinal, estas aferencias pueden ser excitadoras o inhibitorias.

Las unidades motoras pueden ser rápidas, cuando las fibras musculares son de tipo II o blancas y lentas, cuando son de tipo I o rojas. De forma experimental (John Eccles y cols) se ha demostrado que esto no es exactamente así. Al eliminar la inervación de un músculo rápido y sustituirla por la de uno lento éste adopta las propiedades del último.

B) Acoplamiento de la excitación-contracción.

La contracción muscular se inicia con la liberación de acetilcolina en los terminales de los axones de las neuronas motoras alfa. La secuencia excitación-contracción-relajación es la siguiente:

1) Excitación:

- a) En el axón de la motoneurona alfa se produce un potencial de acción.
- b) La terminación del axón de la motoneurona alfa libera acetilcolina en la unión neuromuscular.
- c) Los canales del receptor nicotínico se abren y el sarcolema postsináptico se despolariza.
- d) En la fibra muscular se genera un potencial de acción que se desplaza rápidamente por el sarcolema.

e) La despolarización de los túbulos T provoca que el retículo sarcoplásmico libere Ca^{++} .

2) Contracción:

- a) El Ca^{++} se une a la troponina.
- b) Se exponen los lugares de unión a la miosina en la actina.
- c) La miosina se une a la actina.
- d) Se produce una rotación de las cabezas de miosina.
- e) Las cabezas de miosina se desprenden a expensas del ATP.
- f) El ciclo continúa siempre que existan Ca^{++} y ATP.

3) Relajación:

- a) El retículo sarcoplásmico secuestra el Ca^{++} mediante una bomba activada por el ATP.
- b) La troponina cubre los lugares de unión de la miosina en la actina.

C) Control espinal de las unidades motoras.

La actividad de la neurona motora se autocontrola por diferentes mecanismos:

a) *Propiocepción a partir del huso neuromuscular:*

Al estirar un músculo éste responde con una contracción (reflejo miotático). El receptor de este reflejo es el huso neuromuscular.

Cuando el músculo es estirado, se estira la parte central de las fibras intrahusales y se estimulan los axones sensoriales.

Las fibras aferentes procedentes de los husos (tipo Ia y II) entran en la médula por la raíz posterior, se ramifican rápidamente y hacen sinapsis excitadoras con las motoneuronas del músculo del que proceden y de los músculos sinergistas.

El reflejo miotático tiene una función postural, es el responsable del tono muscular. Cuando una fuerza externa tiende a modificar la postura se estiran algunos músculos y se genera una contracción que se opone a ese cambio. Al seccionar las raíces dorsales se elimina el reflejo y se produce una pérdida del tono muscular, lo que ratifica la retroalimentación sensorial.

La fibra Ia y las neuronas motoras alfa con las que hace sinapsis constituyen el arco reflejo miotático monosináptico, porque sólo una sinapsis separa las aferencias sensoriales primarias de las eferencias de la neurona motora. Este arco reflejo sirve de circuito de retroalimentación antigravedad. La mayor descarga de potenciales de acción

de los axones Ia despolariza sinápticamente las neuronas motoras alfa, que responden aumentando su frecuencia de potenciales de acción (contracción muscular, acortamiento del músculo).

b) *Neuronas motoras gamma:*

La activación de las neuronas motoras inferiores produce efectos contrarios.

- Alfa. Acortamiento de las fibras musculares extrahusales (por lo tanto del músculo) y relajación del huso neuromuscular, que dejará de transmitir.
- Gamma. Contraen las partes distales de las fibras intrahusales y, por lo tanto, estiran su parte central, incrementando la sensibilidad del huso al estiramiento.

Conclusión, las neuronas motoras gamma aumentan la actividad del reflejo miotático y del tono muscular.

c) *Propiocepción a partir del órgano tendinoso de Golgi:*

El huso neuromuscular no es la única fuente de aferencia propioceptiva desde el músculo, en la unión del músculo y el tendón se encuentra otra, el órgano tendinoso de Golgi.

Los órganos de Golgi están inervados por axones sensoriales Ib, que penetran en la médula espinal para efectuar sinapsis con las interneuronas del asta ventral. Algunas de estas interneuronas hacen conexiones inhibitorias con las neuronas motoras alfa que inervan al mismo músculo, base del reflejo miotático inverso (de función protectora: trata de evitar que el músculo se dañe). Al peligrar la integridad de la unión músculo-tendinosa, por una tensión muscular excesiva, las fibras Ib inhiben las motoneuronas alfa del propio músculo y estimulan las del antagonista para conseguir que disminuya dicha tensión.

Proporcionan a la médula espinal diferente información, debido a su diferente disposición anatómica, los husos sobre la longitud muscular y los órganos tendinosos de Golgi sobre la tensión muscular

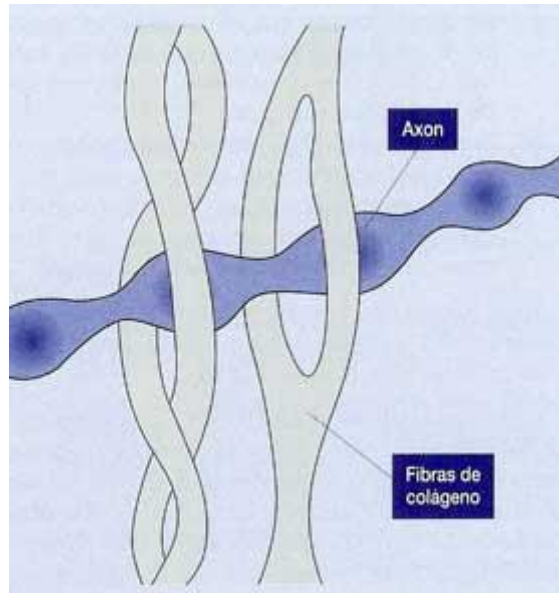


Figura 7. Órgano tendinoso de Golgi.
López Chicharro, J.: Fisiología del Ejercicio. Panamericana S. A. (2001) Madrid.

d) *Interneuronas espinales:*

Las aferencias Ib procedentes de los órganos tendinosos de Golgi sobre las neuronas motoras alfa están mediadas por neuronas espinales. Estas interneuronas espinales reciben aferencias sinápticas de los axones sensoriales primarios y descendentes del cerebro, así como de las colaterales de los axones de las neuronas motoras inferiores. Pueden ser inhibitoras o excitadoras y de ellas depende la ejecución correcta de los reflejos.

e) *Programas motores espinales para la marcha:*

Para iniciar la marcha es necesario que una aferencia constante excite dos interneuronas que conecten con las neuronas motoras que controlan, respectivamente, los flexores y extensores. De este modo la flexión de un lado se acompaña de la extensión del otro.

Se podría explicar el balanceo de los brazos que acompaña a la marcha, añadiendo conexiones interneuronales adicionales entre los segmentos cervical y lumbar.

CONTROL CEREBRAL DEL MOVIMIENTO

A) La corteza cerebral.

Controla a los músculos esqueléticos, fundamentalmente, a través de la médula espinal (motoneuronas alfa). Ese control lo ejerce por medio de vías nerviosas que se inician en ella, la piramidal y extrapiramidal. Estas vías descendentes son por lo tanto las encargadas de transmitir los impulsos procedentes de los centros superiores a los inferiores. Los fascículos piramidales se relacionan con la actividad voluntaria consciente y específica, los extrapiramidales con el control de la postura y la actividad voluntaria habitual (más generales y automáticos).

Las áreas corticales se dividen en:

- Primaria, área 4 de Brodman. Indispensable para la ejecución de los actos motores voluntarios. Interviene en el control de los movimientos voluntarios del lado contralateral a la zona cortical estimulada y en la modificación de los reflejos tendinosos (disminuye la respuesta refleja).
- Suplementarias. Son las encargadas de la programación de los movimientos. Son las siguientes:
 - a) Premotora, área 6 de Brodman.
 - b) Suplementaria, porción media del área 6 de Brodman.
 - c) Oculomotoras, áreas 8, 17, 18, y 19 de Brodman.
 - d) Motoras parietales, áreas 5 y 7 de Brodman.

La vía de la actividad motora voluntaria (piramidal) tiene su origen en el lóbulo frontal, por delante de la cisura de Rolando.

Los axones procedentes de la corteza cerebral, en su trayectoria a la médula espinal, se reúnen formando una protuberancia en forma de pirámide en el bulbo raquídeo.

En la unión del bulbo con la médula, la vía piramidal se decusa. Un 75% de las fibras, aproximadamente, cruzan al lado opuesto, dando lugar al tracto córtico-espinal lateral (vía piramidal cruzada), de forma que la corteza motora derecha ordena el movimiento del lado izquierdo del cuerpo y viceversa. El resto no cruza a ese nivel, sino más abajo (vía piramidal directa).

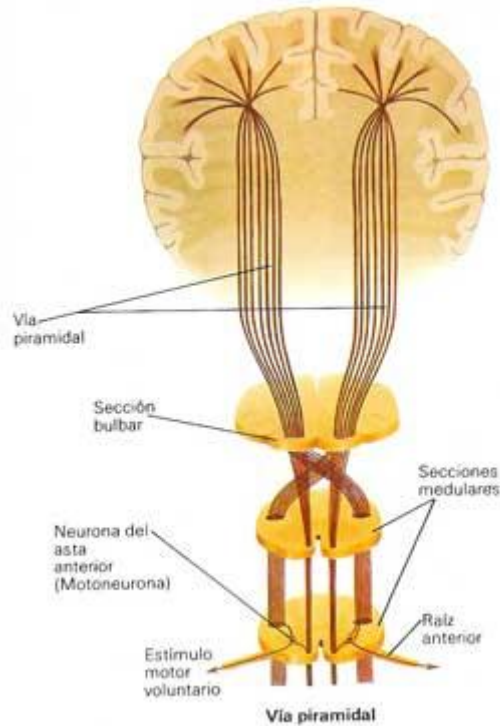


Figura 8. Vía piramidal.

Bernabé Ortega, Enric G.: Atlas de Anatomía. Multilibros S. A. Barcelona.

La vía extrapiramidal está constituida por axones que descienden del encéfalo a la médula emitiendo colaterales que inervan a neuronas de núcleos y órganos como el cerebelo, los ganglios basales, la formación reticular, el núcleo rojo y el tálamo. Es, por lo tanto, una ruta indirecta.

En el control del movimiento voluntario participa casi toda la neocorteza. Un movimiento dirigido a un objetivo depende del lugar que ocupa el cuerpo en el espacio, de donde pretende dirigirse, de la selección de un plan, de su memorización y de su ejecución o puesta en funcionamiento.

La corteza motora es una región circunscrita al lóbulo frontal.

Los lóbulos parietales están interconectados, de forma amplia, con regiones de los lóbulos frontales anteriores. En estas áreas y la corteza parietal posterior es donde se toman las decisiones sobre las acciones a realizar y su resultado.

El movimiento voluntario mejora con la experiencia y el aprendizaje.

Aunque la orden para movernos o no, depende de la corteza cerebral, si los movimientos dependieran solamente de ella serían muy torpes. Se precisa de la participación de los ganglios basales y del cerebelo.

B) Los ganglios basales.

Se encuentran en la base del cerebro, debajo de los hemisferios cerebrales. Sus efectos sobre la médula espinal son indirectos. Al no tener conexión directa con ella precisan de la mediación de la corteza cerebral (pasando por el tálamo): corteza-ganglios basales-tálamo-corteza.

Se denominan: estriado (caudado y putamen), pálido, sustancia negra (se encuentra en el mesencéfalo) y subtálamo.

El estriado (neostriado) de los seres humanos se divide anatómica y funcionalmente en el caudado y putamen.

Tienen funciones concretas sobre el movimiento (circuito esquetomotor), iniciación, velocidad, amplitud y selección (refuerzan un patrón y rechazan los no compatibles).

C) Tronco encefálico.

Formado por el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo.

Está ubicado en la base del cerebro, sirve de vínculo entre la corteza cerebral, la materia blanca y la médula espinal.

Además de controlar la actividad respiratoria, cardíaca y vasomotora realiza funciones motoras.

En la parte más alta del tallo cerebral, por encima de la protuberancia, se encuentra el mesencéfalo o cerebro medio.

La protuberancia es un centro de paso de fibras nerviosas.

El bulbo raquídeo continúa con la medula espinal, contiene centros de control de funciones vitales.

En el tronco del encéfalo existen componentes comunes: los núcleos de los nervios craneales y la formación reticular (estructura responsable de los estados de vigilia y sueño) y específicos de cada lugar: los núcleos del bulbo raquídeo (núcleos de las columnas dorsales y oliva inferior), del puente (núcleos pontinos y locus coeruleus) y del mesencéfalo (colículos superior e inferior, sustancia gris periacueductal, núcleo rojo y sustancia negra).

La formación reticular (desde el punto de vista morfológico está constituida por una red neuronal que se encuentra presente en gran parte del sistema nervioso central) ejerce

dos efectos contrarios sobre la actividad motora, por un lado facilita o estimula tal actividad y por el otro la deprime.

Los centros nerviosos del tallo encefálico analizan la información procedente de diversos receptores: a) cutáneos, articulares y musculares, b) articulares de las primeras vértebras cervicales, c) vestibulares y d) visuales (órgano de la visión). Esto hace que los reflejos del tallo encefálico sean bastante más complejos que los medulares.

No sólo procesa la información ascendente, también analiza la procedente de los centros nerviosos superiores.

D) Cerebelo.

Controla el tono muscular y, por lo tanto, la postura dinámica y la coordinación sensitivo-motora. Entre sus funciones se encuentran la coordinación del movimiento, el equilibrio, el tono muscular, el aprendizaje motor y la regulación de las características del movimiento, de los diferentes grupos musculares que intervienen en la ejecución de un programa motor, relativas a velocidad, dirección y magnitud.

El cerebelo recibe información constante para coordinar de forma adecuada la actividad muscular. Le llega de la corteza cerebral, los músculos, las articulaciones y el oído interno (posición y movimientos de la cabeza).

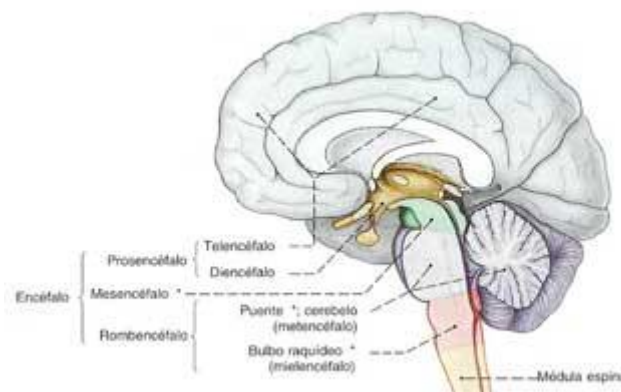


Figura 9. Porciones del sistema nervioso central.
Sobotta, J.: Atlas de Anatomía Humana. Panamericana S. A. (1994) Madrid.

RESUMEN

La musculatura esquelética es la responsable del movimiento. Está formada por paquetes ordenados de células musculares estriadas, las extrahusales (fibras musculares propiamente dichas) y las intrahusales (forman parte de los husos neuromusculares).

El control del movimiento muscular lo realiza el sistema nervioso.

En el movimiento involuntario interviene exclusivamente la médula espinal.

La musculatura somática está inervada por neuronas motoras del asta ventral de la médula espinal (alfa y gamma).

Las motoneuronas alfa, responsables directas de que el músculo genere fuerza, inervan a las fibras musculares extrahusales. Las gamma inervan a las intrahusales y, como consecuencia, aumentan la actividad del reflejo miotático y del tono muscular.

La contracción muscular se inicia con la liberación de acetilcolina en los terminales de los axones de las neuronas motoras alfa. La secuencia es: excitación-contracción-relajación.

El control espinal de las unidades motoras se realiza a partir del huso neuromuscular, las neuronas gamma, el órgano tendinoso de Golgi, las interneuronas espinales y los programas motores espinales para la marcha.

En el movimiento voluntario participan estructuras superiores del sistema nervioso (encéfalo): corteza cerebral, ganglios basales, tronco encefálico y cerebelo.

La corteza cerebral controla a los músculos esqueléticos, fundamentalmente, a través de la médula espinal (motoneuronas alfa). Ese control lo ejerce por medio de vías nerviosas que se originan en ella, la piramidal y extrapiramidal.

Los ganglios basales no tienen conexión directa con la médula, necesitan la mediación de la corteza cerebral.

El tronco encefálico sirve de vínculo entre la corteza cerebral, la materia blanca y la médula espinal. En él se procesa información ascendente: receptores cutáneos, articulares, musculares, vestibulares, visuales y se analiza la procedente de centros nerviosos superiores.

Al cerebelo le llega información constante de la corteza cerebral, los músculos, las articulaciones y el oído interno para coordinar de forma adecuada la actividad muscular. Controla la postura dinámica y la coordinación sensitivo-motora.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bear, Mark F., Connors, Barry W., Paradiso, Michael A.: Explorando el Cerebro. Masson, S. A. (2002) Barcelona.
2. Bernabé Ortega, Enric G.: Atlas de Anatomía. Mundilibros, S. A. Barcelona.
3. Geneser, F.: Histología. Panamericana S. A. (2002) Madrid.
4. Lamb, David R.: Fisiología del Ejercicio. Augusto E. Pila Teleña (1978) Madrid.
5. López Chicharro, J.: Fisiología del Ejercicio. Panamericana S. A. (2001) Madrid.
6. Poirier, J.: Cuadernos de Histología. Marbán (1985) Madrid.
7. Reith, Edward J., Breidenbach, B., Lorenc, M.: Texto Básico de Anatomía y Fisiología para Enfermería. Ediciones Doyma S. A. (1982) Barcelona.
8. Sobotta, J.: Atlas de Anatomía Humana. Panamericana S. A. (1994) Madrid.
9. Stevens, A., Lowe, James S.: Histología Humana. Harcourt Brace (1999) Madrid.