

Descripción histológica del huso neuromuscular

Histological description of muscle spindle

Freddy Moreno^{1,a}

1. Odontólogo, Magíster en Ciencias Biomédicas, Profesor Departamento de Ciencias Básicas de la Salud.

a. Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).

CORRESPONDENCIA

Freddy Moreno

ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-0394-9417>

Departamento de Ciencias Básicas de la Salud

Facultad de Ciencias de la Salud

Pontificia Universidad Javeriana Cali

E-mail: fmorenog@javerianacali.edu.co

CONFLICTO DE INTERESES

El autor del artículo hace constar que no existe, de manera directa o indirecta, ningún tipo de conflicto de intereses que pueda poner en peligro la validez de lo comunicado.

RECIBIDO: 11 de marzo del 2015.

ACEPTADO: 28 de abril de 2015.

RESUMEN

Esta nota de clase tiene como propósito realizar la descripción morfológica del huso neuromuscular en una preparación histológica de músculo estriado esquelético dentro del contexto de la asignatura Sistema Locomotor, la cual forma parte del núcleo fundamental del programa académico de medicina de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Palabras clave: Músculo, músculo estriado esquelético, huso neuromuscular, descripción morfológica, histoquímica.

ABSTRACT

This class note aims to make the morpho-functional description of the muscle spindle in a histological preparation of striated skeletal muscle within the context of the Locomotor System, which is part of the fundamental core of the academic program of medicine at the Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Key words: Muscle, skeletal striated muscle, muscular spindle, morphological description, histological preparation, histochemistry.

INTRODUCCIÓN

El tejido fundamental muscular consiste en la asociación morfo-funcional de células especializadas –célula muscular, fibra muscular o miocito– cuya función principal es el movimiento del cuerpo y el cambio de tamaño y forma de los órganos internos a través de la contracción; esta última llevada a cabo por la interacción de mio-filamentos en el citoplasma de los miocitos¹.

El tejido muscular puede ser clasificado de acuerdo al aspecto histológico de los miocitos al ser observados al microscopio óptico de luz, de tal forma que el tejido muscular será estriado cuando sus células presenten estriaciones transversales –las cuales corresponden a los mio-filamentos organizados en una estructura funcional denominada sarcómero–, y liso cuando no hay estriaciones transversales. Asimismo, el tejido muscular estriado puede ser esquelético cuando se relaciona con el tejido óseo, o visceral cuando no se relaciona con dicho tejido; y cardíaco cuando constituye el miocardio de la pared del corazón²⁻⁴.

En este sentido, el músculo estriado esquelético tiene como función permitir el desarrollo del movimiento del sistema locomotor a partir del esqueleto axial y apendicular, y mantener la postura del cuerpo a partir del esquema corporal. Para cumplir con estas funciones, morfo-funcionalmente, los miocitos estriados esqueléticos se asocian longitudinalmente entre sí –rodeados por el endomisio– para constituir un sincitio reconocido como fibra muscular, la cual a su vez se asocia con otras fibras musculares –rodeadas por el perimisio– para constituir los fascículos, cuya asociación final –rodeados por el epimisio– constituye un músculo propiamente dicho⁵⁻⁹.

CONTRACCIÓN

El acortamiento de las fibras musculares corresponde al mecanismo de contracción establecido por un ciclo de cinco de eta-

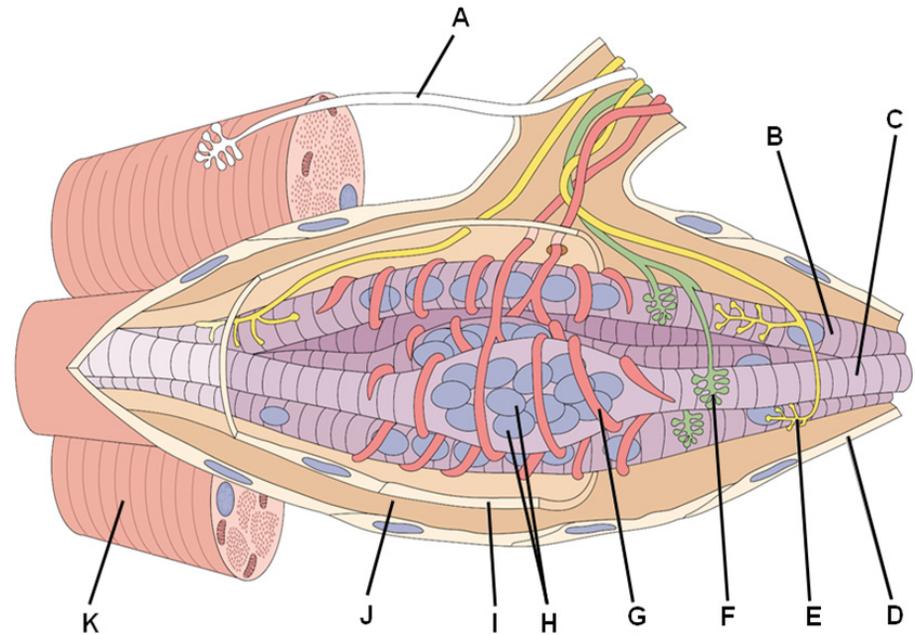


Figura 1. Representación gráfica del huso neuromuscular –corte longitudinal–. A. Neurona motora alfa; B. Fibra de cadena nuclear; C. Fibra de bolsa nuclear; D. Cápsula externa; E. Fibra sensitiva del grupo II; F. Neurona motora gamma estática; G. Fibra sensorial aferente del grupo Ia; H. Núcleos de la fibra de bolsa nuclear; I. Cápsula interna; J. Espacio intrafusal; K. Fibra extrafusal. Adaptado de Gartner y Hiatt (4).

pas en el que los filamentos de miosina se adhieren, separan, flexionan, generan fuerza y se rehieren con relación a los filamentos de actina^{3,4}. Este ciclo de la contracción –dependiente de calcio– es regulado por la relación que hay entre el músculo estriado esquelético y el sistema nervioso a través de la placa motora o unión neuromuscular, en donde una neurona se une a varias fibras musculares para constituir una unidad motora, de tal forma que un impulso nervioso inicial ocasiona la liberación de calcio en los sarcómeros, lo que da como resultado la contracción morfo-funcional del músculo^{6,8,9}.

HUSO NEUROMUSCULAR

Si bien la función de las fibras musculares es acortarse mediante la contracción y una vez finalizado el estímulo volver a su posición inicial, el sistema locomotor puede someter a estiramiento las fibras musculares hasta un límite morfo-funcional. Es por

ello que el músculo estriado esquelético cuenta con receptores de estiramiento especializados reconocidos como husos neuromusculares, los cuales le permiten al sistema nervioso central monitorear continuamente la posición del sistema locomotor y el estado de contracción y estiramiento de los fascículos musculares que constituyen los músculos²⁻⁴.

Estructura

Los husos neuromusculares corresponden a receptores encapsulados, fusiformes (estrechos en sentido transversal, alargados en sentido longitudinal y dispuestos en sentido del eje de contracción de los fascículos musculares), que miden entre 5 y 10 milímetros de longitud y que transmiten información sobre el grado de estiramiento –longitud– de un músculo debido a su capacidad de sensar la tensión²⁻⁶.

Cada huso neuromuscular asociado a un

Determinantes tempranos para enfermedades cardiovasculares

fascículo de fibras musculares estriadas esqueléticas (fibras extrafusales) se encuentra constituido por (Figura 1)^{3,4}:

- Una cápsula externa de tejido conectivo denso irregular rodeada por el endomisio o por el perimisio de acuerdo a la ubicación dentro del fascículo muscular.
- Una cavidad o espacio intrafusar que contiene líquido intersticial, la cual a su vez puede subdividirse en el espacio periaxial interno entre la cápsula externa y la cápsula interna y el espacio periaxial interno entre la cápsula interna y las fibras intrafusales.
- Una cápsula interna que rodea un grupo de células musculares modificadas llamadas fibras intrafusales, un grupo de fibras nerviosas y capilares continuos.

Estas células o fibras intrafusales corresponden a^{3,4}:

- Dos a cuatro fibras de bolsa –sacónuclear con núcleos redondeados aglomerados en el centro de la fibra en una bolsa no contráctil. Estas fibras pueden ser dinámicas o estáticas.
- Seis a ocho fibras de cadena nuclear con los núcleos centrales organizados en hilera o forma de cadena en el centro de la fibra.

Ambas fibras intrafusales se relacionan con fibras nerviosas sensitivas que envían información desde el huso (aférentes) hacia la médula espinal y fibras nerviosas motoras que reciben información hacia el huso (eferentes) desde la médula espinal. De esta forma, cuando el fascículo muscular se estira, las terminaciones de los nervios sensitivos se activan y envían impulsos a la médula espinal para que el huso module la actividad de las unidades motoras a través de neuronas motoras alfa con el propósito de evitar un estiramiento excesivo que afecte la integridad de las fibras musculares extrafusales (fibras musculares estriadas esqueléticas constituyentes de los fascículos)^{2,6-9}.

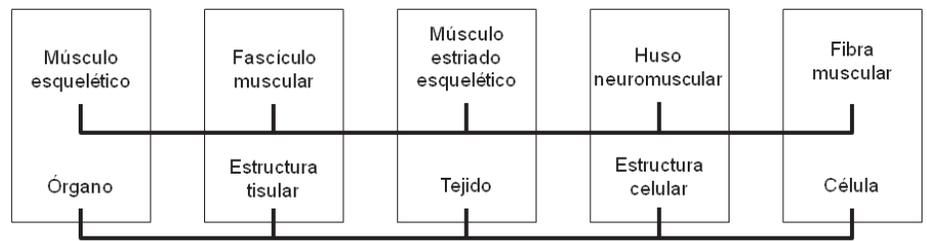


Figura 2. Abordaje histológico del huso neuromuscular en los diferentes niveles de organización morfo-funcional del sistema locomotor.

Dentro del huso neuromuscular, una única fibra nerviosa sensorial mielinizada aferente (grupo Ia) rodea a manera de un espiral las fibras intrafusales a nivel de la región central no contráctil en donde se encuentran los núcleos, conformando las terminaciones sensoriales primarias, dinámicas o Ia. Asimismo, fibras nerviosas motoras eferentes (grupo II) rodean las fibras intrafusales y conforman las terminaciones nerviosas secundarias, estáticas o II. Por otro lado, las regiones proximales contráctiles de las fibras intrafusales reciben dos tipos de neuronas motoras, así las fibras de la bolsa nuclear dinámicas están inervadas por una neurona motora gamma dinámica, y las fibras de la cadena nuclear estáticas por una neurona motora gamma estática²⁻⁶.

Fisiología

En la medida que el músculo estriado esquelético se estira y tras la liberación de acetilcolina, la neurona motora gamma activa los extremos proximales de las fibras intrafusales de tal forma que las regiones centrales se estiran, lo que ocasiona que se abran canales iónicos y se genere un potencial de acción por la entrada de sodio en los extremos sensitivos; por lo tanto, en la medida que aumenta el potencial de acción aumenta la sensibilidad al estiramiento de las fibras intrafusales¹⁰⁻¹³.

De esta forma, cuando un músculo resulta estirado, las fibras nerviosas sensoriales primarias (dinámicas del grupo Ia) responden y transmiten los cambios de longitud

y de velocidad del músculo a la médula espinal en forma de cambios en el ritmo de los potenciales de acción; mientras las fibras nerviosas sensoriales secundarias (estáticas del grupo II) responden solo a los cambios de longitud del músculo. Este proceso es modulado por las neuronas motoras gamma –las cuales se insertan en los extremos proximales contráctiles de las fibras intrafusales– de tal manera que estiran en ambas direcciones la región central no contráctil, activan las terminaciones nerviosas sensoriales primarias y secundarias, y ajustan la sensibilidad del huso neuromuscular a partir del estímulo de las terminaciones dinámicas sin causar la contracción de las fibras de la bolsa nuclear estáticas^{2,6,10-13}. Por lo tanto, las señales aferentes de la fibra nerviosa del grupo Ia se transmiten a muchas neuronas motoras alfa para propagarse a través de las fibras musculares extrafusales del fascículo asociado y desde allí a todo el músculo correspondiente; esto con el propósito de generar fuerza y resistir el estiramiento. Así, las señales aferentes de la fibra nerviosa del grupo Ia se transmiten a través de interneuronas que inhiben neuronas motoras alfa de los músculos antagonistas, causando su relajación¹⁰⁻¹³.

Abordaje histológico

El abordaje histológico de acuerdo a los niveles morfo-funcionales dentro del sistema locomotor (Figura 2) se hará a partir del músculo como órgano, en el que se puede observar el huso neuromuscular ubicado en el perimisio y asociado a un

fascículo muscular (Figura 3); del fascículo como estructura tisular producto de la asociación de fibras musculares estriadas esqueléticas rodeadas por tejido conectivo denso irregular –perimisio– (Figura 4); del músculo estriado esquelético como tejido fundamental muscular (Figuras 4 y 5); del huso neuromuscular como estructura celular constituida por fibras musculares y nerviosas rodeadas por una cápsula de tejido conectivo, ubicada en el perimisio y asociada a un fascículo muscular (Figura 5); y de la fibra muscular estriada esquelética como célula constituyente del fascículo muscular (Figura 3).

REFERENCIAS

1. Brusco HA, López LL, Loidl CF. Histología médico-práctica. Barcelona: Elsevier; 2014.
2. Geneser F. Histología. Tercera edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2000.
3. Ross MH, Pawlina W. Histología: Texto y atlas color con biología celular y molecular. Quinta edición. Buenos Aires: Editorial Panamericana; 2007.
4. Gartner LP, Hiatt JL. Texto atlas de histología. Tercera edición. México: McGraw-Hill; 2008.
5. Welsch U, Deller T. Sobotta histología. Tercera edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.
6. Cui D. Histología con correlaciones funcionales y clínicas. Barcelona: Wolters Kluwer; 2011.
7. Fortoul T. Histología y biología celular. Segunda edición. México: McGraw-Hill; 2013.
8. Sepúlveda J. Texto atlas de histología, biología celular y tisular. Segunda edición. México: McGraw-Hill; 2014.
9. Lowe JS, Anderson PG. Stevens y Lowe histología humana. Cuarta edición. México: Elsevier Mosby; 2015.
10. Hüllieger M. The mammalian muscle spindle and its central control. Rev Physiol Biochem Pharmacol. 1984; 101:1-110. DOI: 10.1007/BFb0027694.
11. Sodi A, Corsi M, Faussone-Pellegrini MS, Salvi G. Fine structure of the

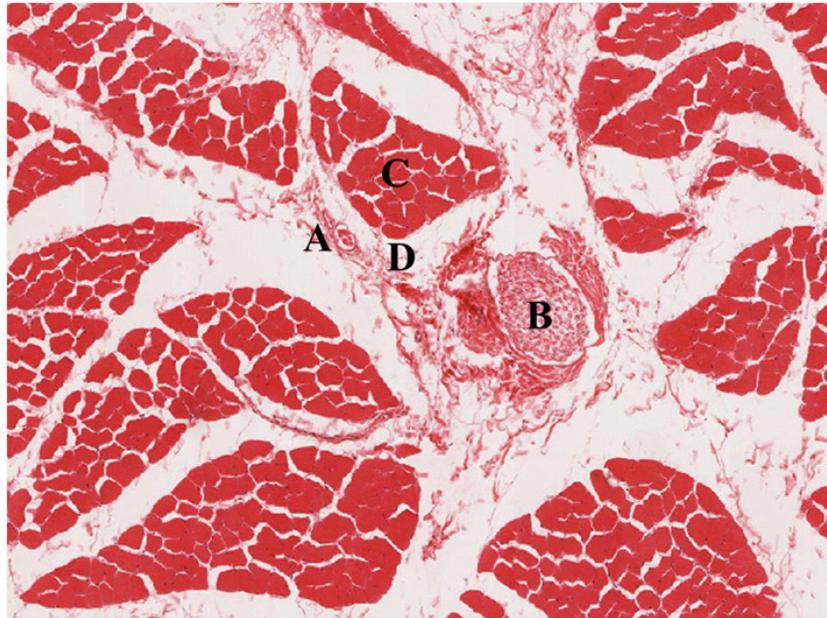


Figura 3. Fotografía de una preparación histológica de músculo estriado esquelético en hematoxilina-eosina a 4X. A. Huso neuromuscular –corte transversal–; B. Fibra nerviosa extrafusal; C. Fascículo muscular; D. Perimisio. Adaptado de <http://virtuallslides.med.umich.edu/Histology>

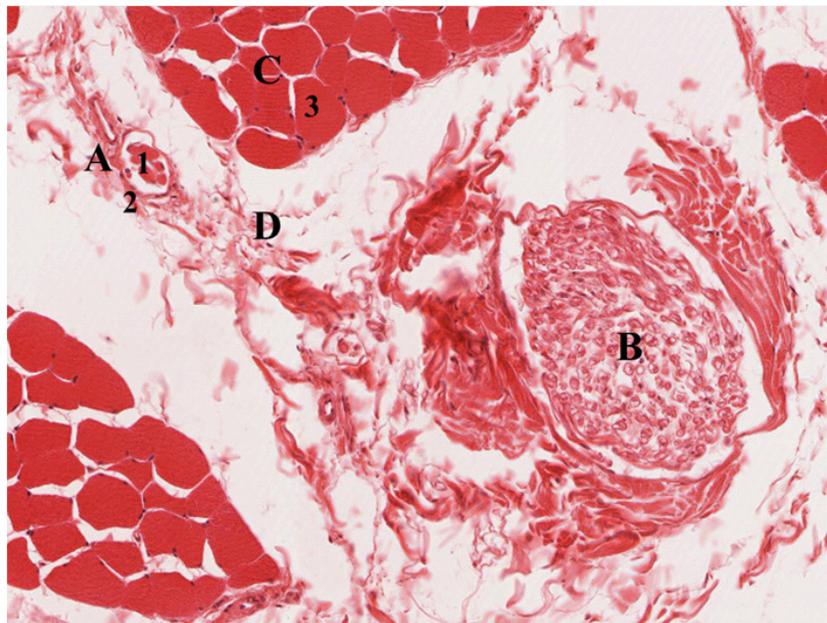


Figura 4. Fotografía de una preparación histológica de músculo estriado esquelético en hematoxilina-eosina a 10X. A. Huso neuromuscular –corte transversal–; B. Fibra nerviosa extrafusal; C. Fascículo muscular; 1. Fibras intrafusales; 2. Cápsula del huso neuromuscular; 3. Fibra muscular estriada esquelética extrafusal; D. Perimisio. Adaptado de <http://virtuallslides.med.umich.edu/Histology>

receptors at the myotendinous junction of human extraocular muscles. *Histol Histopath.* 1988; 3:103-13.

12. Kierszenbaum AL. *Histología y biología celular: Introducción a la anatomía patológica.* Segunda edición. Barcelona: Elsevier Mosby; 2008.
13. Desaki J, Ezaki T, Nishida N. Fine structural study of the innervation of muscle spindles in the internal oblique muscle of the abdominal wall in the adult mouse. *J Electron Microsc.* 2010; 59(3):243-50. DOI: 10.1093/jmicro/dfp058.

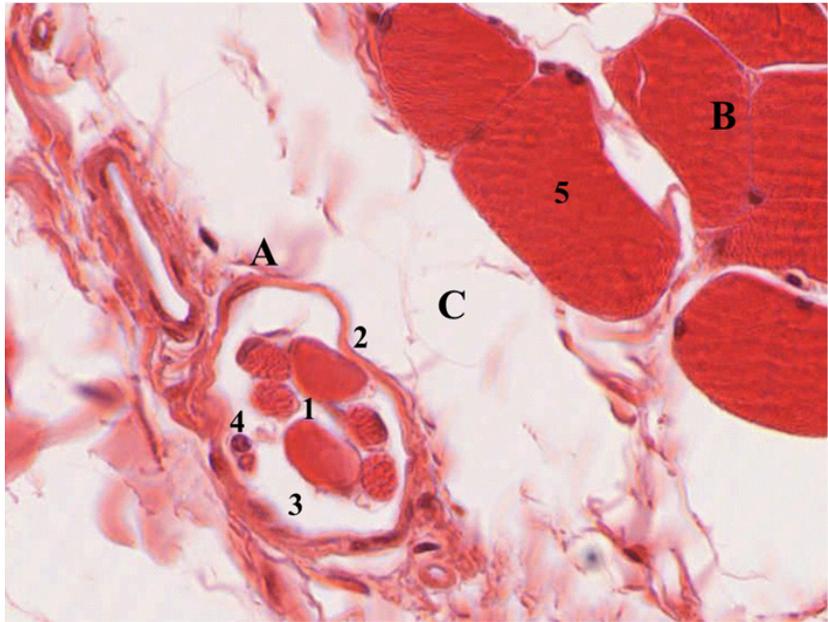


Figura 5. Fotografía de una preparación histológica de músculo estriado esquelético en hematoxilina-eosina a 40X. A. Huso neuromuscular –corte transversal–; B. Fascículo muscular; C. Perimisio; 1. Fibras intrafusales; 2. Cápsula del huso neuromuscular; 3. Espacio intrafusal; 4. Célula de Schwann de un axón mielinizado aferente; 5. Fibra muscular estriada esquelética extrafusal. Adaptado de <http://virtualslides.med.umich.edu/Histology>