



Universidad de Valladolid
Grado en Enfermería
Facultad de Enfermería de
Valladolid



Curso 2021-2022
Trabajo de Fin de Grado

ELABORACIÓN DE UN ATLAS DE
IMÁGENES HISTOLÓGICAS PARA LA
DOCENCIA DE LA BIOLOGÍA EN EL
GRADO DE ENFERMERÍA
TEJIDO MUSCULAR

Alberto Fernández Samaniego

Tutor/a: Francisco Javier Agudo Bernal

Cotutor/a: Patricia Gallego Muñoz

RESUMEN

El tejido muscular es uno de los cuatro tejidos principales de los que está formado el organismo. Su principal función es el movimiento, y es por ello, que tiene una amplia distribución por todo nuestro organismo. Este hecho implica una alta especialización encontrando este tipo de tejido formando músculos que permiten, por ejemplo, el movimiento del esqueleto; en la pared de muchos vasos sanguíneos y en el corazón.

En este trabajo se ha realizado un atlas histológico sobre el tejido muscular haciendo énfasis en su clasificación y conceptos más generales siempre desde el punto de vista histológico. Para llevar a cabo este atlas se han utilizado imágenes de microscopía óptica y electrónica y la finalidad de este es facilitar el estudio a los alumnos que cursan la asignatura de Biología en el grado de Enfermería en la Universidad de Valladolid.

Palabras clave: histología, célula muscular, atlas, tejido muscular.

ABSTRACT

Muscle tissue is one of the four main tissues of which the organism is composed. Its main function is movement, which is why it is widely distributed throughout our body. This fact implies a high specialization, finding this type of tissue forming muscles that allow, for example, the movement of the skeleton; in the wall of many blood vessels and in the heart.

In this work a histological atlas on muscle tissue has been made with emphasis on its classification and more general concepts always from the histological point of view. To carry out this atlas we have used images of optical and electron microscopy and the purpose of this atlas is to facilitate the study to students taking the subject of Biology in the degree of Nursing at the University of Valladolid.

Key words: histology, muscle cell, atlas, muscle tissue.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	3
DESARROLLO DEL TEMA.....	8
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los diferentes procesos que tienen lugar durante el procesamiento histológico de una muestra biológica	5
Figura 2. Micrografías de distintas muestras teñidas con el método de Hematoxilina-Eosina en la que se puede apreciar los núcleos celulares de color azul (eosina) y distintas estructuras como fibras musculares, citoplasma y colágeno de color rojo o morado (hematoxilina).....	6
Figura 3. Imagen de microscopio óptico de una muestra de oreja de rata teñida con la técnica de tricrómico de Gomori.	7
Figura 4. Micrografías de microscopía óptica en las que se muestra una sección de lengua (izquierda) y de piel (derecha) teñidas con el método de tinción de Tricrómico de Masson. En las micrografías se pueden apreciar las fibras musculares de color rojo/morado (flechas) y el colágeno de color azul/verde (1).	8
Figura 5. Micrografías de MO de los distintos tipos de tejido muscular: músculo esquelético (izquierda), músculo liso (central) y músculo cardiaco (derecha)....	10
Figura 6. Esquema de los diferentes procesos que acontecen durante la miogénesis.	11
Figura 7. Micrografía de diagnóstico de rhabdomyosarcoma paratiroide mediante estudio histoquímico con desmina (A) y Ki67 (B).	12
Figura 8. Esquema de una fibra muscular esquelética en la que se muestran los distintos componentes que contiene.	14
Figura 9. Micrografías de ME en la que se observan dos secciones longitudinales de músculo esquelético. En la imagen de la izquierda, se puede observar un sarcómero distinguiendo distintos componentes: retículo sarcoplasmático (1), glucógeno (2 y 4), túbulos T (3), colágeno (5), la banda A (6), la banda I (7), miofilamentos finos (8) y miofilamentos gruesos (9). En la imagen de la derecha se puede observar la distribución de los distintos sarcómeros.....	13
Figura 10. Micrografía de tejido muscular con distrofia de Duchenne teñido con H-E en la que se observa variación en el tamaño de las fibras, necrosis y marcada proliferación de tejido conjuntivo.	14

Figura 11. A- Esquema tridimensional de una fibra muscular en visión longitudinal y transversal de una fibra muscular. B- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte longitudinal donde se aprecian los núcleos en la periferia de la fibra y los sarcómeros (flechas). C- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte transversal en el que se observa la distribución de las miofibrillas. 15

Figura 12. A- Esquema de un sarcómero donde se pueden diferenciar la disposición y localización de las diferentes bandas que componen el sarcómero. B- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte longitudinal en la que se aprecia la disposición de los sarcómeros. C- Esquema de la disposición de los distintos componentes de una fibra muscular. 16

Figura 13. Micrografía de microscopia electrónica de transmisión (MET) de una fibra muscular esquelética donde se visualizan: triadas (1), el retículo sarcoplasmático (2) y los túbulos T (3)..... 17

Figura 14. Micrografías de MO de fibras musculares esqueléticas donde se aprecia la unión músculo tendinosa. La imagen de la izquierda es un corte transversal teñido con H-E donde se puede apreciar el infiltrado de colágeno propio del tendón (flecha). La imagen de la derecha es una sección longitudinal teñida con tricrómico de Masson en la que se puede observar la interdigitación de la fibra muscular con el tejido cartilaginoso del tendón (flecha). 17

Figura 15. Micrografía de MO de fibra muscular esquelética teñida con Tricrómico de Masson (izquierda) donde se visualiza en la zona central el paquete vasculonervioso y las distintas envolturas del músculo. Micrografía de MO de fibra muscular esquelética en sección longitudinal teñida con H-E donde se visualiza un vaso sanguíneo en la zona central 18

Figura 16. La imagen de la izquierda es una micrografía de MET de una fibra muscular (1) donde se aprecia la célula satélite (2). La imagen de la derecha es una micrografía de MO de una fibra muscular (1) tenida con H-E donde se visualizan núcleos (2) en la zona periférica de la fibra y células satélite (3). ... 18

Figura 17. La imagen de la izquierda es una micrografía de ME de una fibra muscular (2) en su unión con el axón terminal (1). La imagen de derecha es una

micrografía de microscopia electrónica de barrido en la que se observa la unión mioneuronal de una fibra muscular esquelética.	19
Figura 18. Micrografía de fibras musculares en sección longitudinal teñidas con H-E en las que se observa un infiltrado de linfocitos y las células plasmáticas característico de la miastenia gravis	19
Figura 19. Micrografía de los distintos tipos de fibra muscular. En la imagen A, teñida con ácido periódico de Schiff (PAS) se observan fibras rojas (1), intermedias (2) y blancas (3). En la imagen B, estudio histoquímico con NADH-TR, se diferencian los distintos tipos de fibra muscular: I (rojas), IIA (intermedias) y IIB (blancas).	21
Figura 20. Micrografía de una biopsia muscular con miotonia nemalínica. En la imagen de la izquierda se observa una variación del tamaño de las fibras musculares (tinción H-E). En la imagen de la derecha, se observan los bastones nemalínicos en algunas fibras (tinción tricrómica de Gomori).	21
Figura 21. Micrografía de MO de tejido muscular liso con tinción H-E en sección longitudinal y transversal. Se pueden apreciar las distintas células con un solo núcleo localizado en la zona central.....	23
Figura 22. Esquema de los distintos componentes que conforman la fibra muscular lisa en la que se puede apreciar: núcleo (1), endoplasma (2), miofibrillas (3), cuerpos densos (4), caveolas (5), retículo endoplasmático liso (6), lámina basal (7), microfibrillas (8), colágeno (9), retículo sarcoplásmico (10), uniones GAP (11 y 12) y porción terminal de axón (13 y 14)	23
Figura 23. Micrografías de ME que muestra los distintos componentes y la ultraestructura de una fibra muscular lisa. La imagen de la izquierda es una sección transversal de una célula muscular lisa en la que se puede diferenciar: miofilamentos (1 y 7), microtúbulos (2), lámina basal (3), mitocondrias (5), caveolas (6). En la imagen de la derecha se puede observar la disposición celular en un corte longitudinal y transversal.	24
Figura 24. Micrografías de MO de arterias pulmonares teñidas con H-E en las que se puede observar la comparación entre el estado fisiológico de una arteria (imágenes de la izquierda) y el estado patológico (imágenes de la derecha). En la imagen 2, se puede apreciar una arteria con una pared hipertrofiada y con un	

aneurisma que contiene lesiones plexiformes (flechas). En la imagen 4, se puede apreciar un engrosamiento de la túnica media de la arteria..... 25

Figura 25. Micrografía de MET de fibra muscular lisa (1) en sección transversal en la que se visualiza cuerpos densos citoplasmáticos (2), caveolas (3) y mitocondrias (4). Micrografía de una fibra muscular lisa con cuerpos densos (1) de la membrana plasmática y sarcomas (2)..... 26

Figura 26. La imagen de la izquierda es una micrografía de MET de una fibra muscular liso (1) en la que se observa cuerpos densos (2), caveolas (3), la lámina basal (4) y el terminal del axón (5). La imagen de la derecha es una micrografía de MO de capas de músculo liso teñida con H-E donde se observa el plexo mientérico de Auerbach (flecha)..... 26

Figura 27. La imagen de la izquierda es una micrografía de músculo cardiaco teñido con H-E donde se aprecia el disco intercalar. La imagen de la derecha es una micrografía de MET de tejido muscular cardiaco de se observan distintos tipos de discos intercalares: uniones adherentes (1) y uniones comunicantes (2). 28

Figura 28. Micrografías de MO de tejido muscular cardiaco teñidos con H-E en sección transversal y longitudinal..... 28

Figura 29. Esquemas de los distintos componentes del tejido muscular cardiaco en los que se puede visualizar: retículo sarcoplasmático (SR), sarcómero (Sm), miofibrillas (Mf), túbulos T (E), diadas (Dy), sarcolema (S), cisternas subsarcolémicas (SC), lámina basal (BL), bandas Z (Z), bandas A (A), banda I (I), banda H (H), discos intercalares (D), endomísio (E), capilares (Cap), núcleos (N), filamentos de actina (TP), gránulos de lipofuscina (Lf), mitocondrias (M) y fibras de colágeno (F). 30

Figura 30. La imagen de izquierda es una micrografía de tejido muscular cardiaco teñida con H-E en la que se observa una fibrosis y desorganización de las miofibrillas de los miocardiocitos. La imagen de la derecha es una microscopia teñida con H-E de tejido muscular cardiaco en estado fisiológico. 31

Figura 31. La imagen de la izquierda es una micrografía de tejido muscular cardiaco teñido con H-E en la que se aprecia una vénula intramiocárdica (1) de

la que salen leucocitos polimorfonucleares al espacio intersticial (2). La imagen de la derecha es una micrografía de fibras musculares cardiacas teñida con H-E en la que se observa una zona central necrótica y los linfocitos destruyendo dicha zona. 31

INTRODUCCIÓN

La histología es la rama de la anatomía que se encarga del estudio microscópico de estructuras de células, tejidos y órganos, lo cual permite observar el comportamiento normal y patológico de estas. Debido a esto, los grandes avances que ha sufrido esta ciencia permiten a la sociedad el entendimiento de la función del organismo y su estructura consolidándose como pilar fundamental en la investigación y evidencia sanitaria.

De la evolución de esta disciplina, la anatomía patológica surge como rama inherente al estudio de células, tejidos y órganos con cambios estructurales y fisiológicos fundamentando las características orgánicas de las enfermedades. Por tanto, el conocimiento de la histología se sustenta como base para el entendimiento de las diversas patologías clínicas y actuando como punto de enlace para otras disciplinas como la anatomía, fisiología, bioquímica y farmacología.¹

El microscopio, herramienta esencial para el estudio de esta ciencia, fue creado por Zacharias Janssen en 1590, aunque diversos historiadores coinciden en que en el siglo XVI Leonardo da Vinci y Francisco Maurolyco trabajaban en la aplicación de lentes para el estudio de pequeños objetos, colocando dos lentes convexas dentro de un tubo opaco. Este primer prototipo de microscopio permitió analizar con mayor detalle objetos pequeños, hasta que René Descartes en 1637 en su libro “Dioptrique” describe un microscopio mucho más complejo constituido por dos lentes, un ocular planoconvexo y un objetivo biconvexo.

Sin embargo, se consideran padres de la histología a Marcello Malpighi, por su estudio de células vivas, y Robert Hooke, por acuñar el término “célula” en su obra “Micrographia” (1665) al visualizar pequeños espacios vacíos en una muestra de corcho.²

La evolución de las técnicas y herramientas para el estudio de la histología derivaron en la creación del microscopio óptico, gracias a la teoría de Ernst Abbe a finales del siglo XIX, el cual se basa en el paso de luz visible a través de la muestra a estudiar y siendo observado mediante un sistema de lentes de vidrio creado por Otto Schott en 1884. Finalmente, en 1931 Ernst Ruska y Max knoll, realizaron el mayor avance en el campo de la microscopía mejorando el límite de la resolución de las imágenes histológicas que presentaban los microscopios

ópticos mediante el desarrollo del microscopio electrónico, basado en la obtención de imágenes de la muestra utilizando un haz de electrones y un sistema de lentes electromagnéticas.³

El desarrollo de esta doctrina surge también gracias a las técnicas histológicas que permiten la preservación de las muestras y a las técnicas de tinción, que permiten mejorar el contraste de las distintas estructuras biológicas de la muestra a analizar.²

Gracias al progreso técnico en la histología, la docencia de esta asignatura se ha impartido en distintos ámbitos académicos mediante atlas histológicos y puntos de información digitales permitiendo así el estudio teórico y práctico de la misma.

Dentro de la histología se diferencian cuatro grandes tipos de tejidos distintos. Estos tejidos son: el tejido epitelial, el tejido conectivo o conjuntivo, el tejido muscular y el tejido nervioso.¹

El estudio del tejido muscular, objeto de estudio en este trabajo, es de gran relevancia ya que constituye el 40% de los tejidos del cuerpo humano. Su principal función se basa en la capacidad contráctil que presentan sus células, denominadas también fibras musculares. Estas células producen el movimiento de órganos y sistemas mediante procesos de contracción debidos a la asociación de proteínas motoras presentes en su citoplasma, actina y miosina y la asociación de estas en miofilamentos.^{4,5}

El desarrollo de este tejido empieza en la gastrulación del periodo embrionario formándose mayoritariamente a partir del mesodermo paraxial y del mesodermo esplácnico, a excepción de los músculos del iris, que son de origen neuroectodermico.⁶

Para finalizar, la histología es una disciplina con gran contenido teórico que en ocasiones puede dificultar su aprendizaje presentándose como uno de los primeros inconvenientes para alcanzar conocimientos más avanzados en otras materias como pueden ser la fisiología o la anatomía patológica⁷. Dada la complejidad de esta materia, impartida en el primer curso del grado en Enfermería dentro de la asignatura Biología, el objetivo principal de este trabajo

es facilitar la comprensión y entendimiento del tejido muscular a los estudiantes de la asignatura previamente citada mediante la elaboración de un atlas de imágenes histológicas, con explicaciones de apuntes clínicos.

JUSTIFICACIÓN

Dada la complejidad observada en los estudiantes por la adquisición de los conocimientos sobre la estructura y fisiología del tejido muscular, este trabajo pretende facilitar el entendimiento de los conocimientos anteriormente citados mediante la realización de un atlas histológico del tejido muscular que apoye el estudio y la comprensión sobre este tema a los estudiantes de la asignatura de Biología del grado en Enfermería de primer curso.

Además, pasará a formar parte una colección de atlas histológicos que se lleva realizando durante varios cursos académicos y estarán a disposición de toda la comunidad universitaria en Uva Doc formando parte de un proyecto de innovación docente que lleva a cabo el departamento de Biología celular, Histología y Farmacología de la Universidad de Enfermería de Valladolid.

OBJETIVOS

Este atlas histológico sobre el tejido muscular tiene como primer objetivo servir de material didáctico u objeto de aprendizaje para los estudiantes de primero del grado en Enfermería en la asignatura de Biología de la Universidad de Valladolid.

El atlas ofrece información detallada sobre el tejido muscular apoyándose de imágenes histológicas.

De esta manera, se aporta información contrastada, concreta y sencilla sobre el del tejido muscular ayudando así al entendimiento y aprendizaje del alumnado, y, además, fomentando el uso del microscopio virtual como herramienta útil de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de brindar los conocimientos necesarios sobre el ámbito del tejido muscular al alumnado que cursa la asignatura de Biología de primer curso del grado en Enfermería, la modalidad en la que se basa este trabajo es la investigación educativa ofreciendo un contenido teórico.

El contenido del atlas está adaptado al nivel educativo de la población a la que va dirigida sin descuidar la información contrastada y veraz de las investigaciones científicas, y muestra un desarrollo progresivo desde los conceptos más generales hasta las diferentes características de especialización que sufre este tejido.

La información recabada en este trabajo ha sido extraída de diversos artículos científicos, así como de libros especializados en histología como el manual de Histología Esencial de Netter.⁵ Las imágenes que se muestran han sido obtenidas principalmente del Microscopio Virtual de la Universidad de Michigan (<https://histology.medicine.umich.edu/full-slide-list>)⁸ y diversas plataformas digitales.

Como se citó previamente en la introducción, para que las muestras puedan ser observadas bajo el microscopio requieren ser procesadas y posteriormente teñidas para aportarles el contraste necesario para poder ser observadas. En la figura 1 se puede ver una breve descripción del procesamiento histológico al que se someten las muestras biológicas para poder ser visualizadas bajo el microscopio.⁴

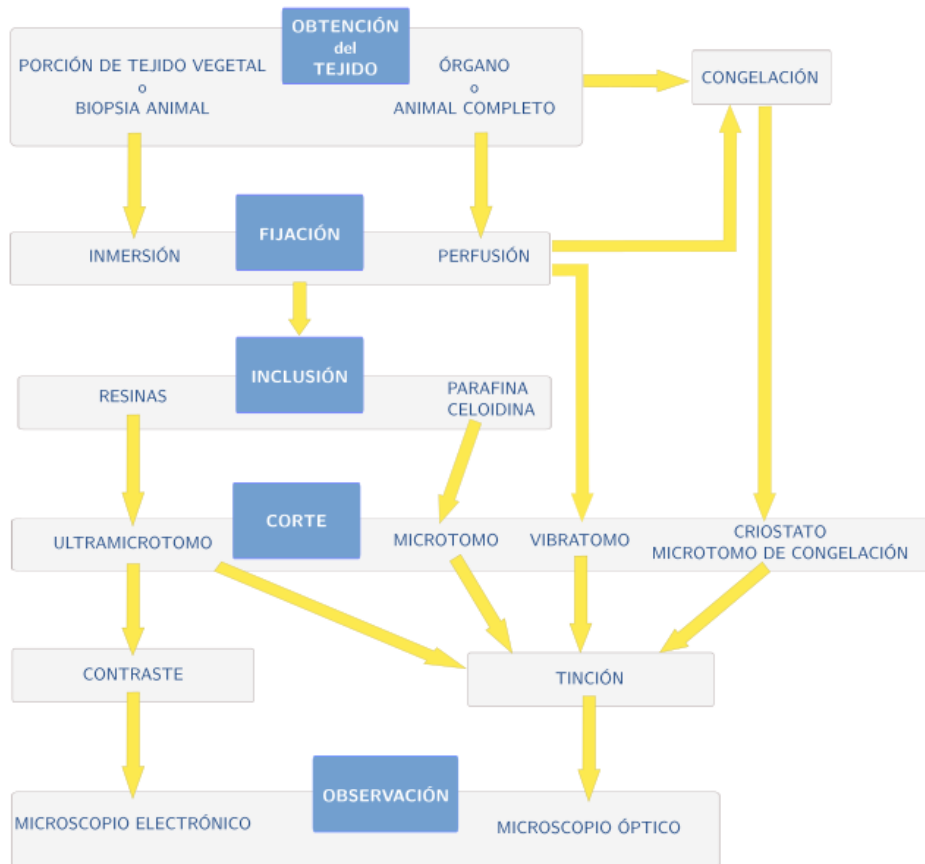


Figura 1. Esquema de los diferentes procesos que tienen lugar durante el procesamiento histológico de una muestra biológica.⁴

El primer paso del procesamiento histológico, tras la obtención de la muestra, es la fijación. Este paso interrumpe las actividades fisiológicas del tejido evitando la autólisis y la contaminación por diferentes microorganismos permitiendo así su preservación en un estado próximo a su estado “in vivo”. Existen fundamentalmente dos tipos de fijación de muestras:

Química

- Inmersión: se trata de sumergir la sección en un líquido fijador.
- Perfusión: inyectar al sistema vascular del portador de la muestra una solución fijadora.

Física

Este método se basa en la congelación de la muestra sometiéndola a bajas temperaturas como por ejemplo introduciéndola en nitrógeno líquido. Esta

técnica se utiliza mayoritariamente para las muestras de biopsias intraoperatorias que requieren un procesamiento más rápido.

Tras ello, el siguiente paso es la inclusión, proceso mediante el cual se aporta una dureza homogénea a la muestra previamente fijada y que a su vez facilitará el corte de esta en secciones de unos 5 o 7 μm . Normalmente este proceso se realiza en parafina u OCT (optical coherence tomography) si la muestra se ha fijado mediante congelación.

Para realizar este proceso con parafina es necesario el aclarado por medio de solventes orgánicos como el xileno o el tolueno con el fin de extraer el alcohol previamente utilizado y realizar la infiltración de la parafina.^{9,10,11}

Una vez que la parafina solidifica, se emplea el micrótopo para obtener secciones finas de tejido que se depositan en portaobjetos.^{10,11}

La mayoría de los tejidos del organismo son incoloros lo que implica la necesidad de teñir las muestras para su posterior análisis bajo el microscopio.⁴ Dentro de las principales tinciones utilizadas en el estudio del tejido muscular se pueden destacar:

- **Hematoxilina-eosina:** técnica de tinción general. Basada en teñir la muestra mediante la aplicación de un colorante básico, hematoxilina (tiñe de color rojo fibras musculares, citoplasma, queratina, colágeno y hematíes), y otro ácido, eosina (tiñe de color azul los núcleos por la cromatina), lo que permite diferenciar estructuras ácidas y básicas dentro de la sección a visualizar. Estos colorantes se unen a las estructuras por atracción eléctrica. Para llevar a cabo esta tinción es necesario el desparafinado y la hidratación debido a que estos colorantes son hidrosolubles. Esta técnica es usada principalmente para la evaluación morfológica de la muestra (Fig. 2).^{4,10}

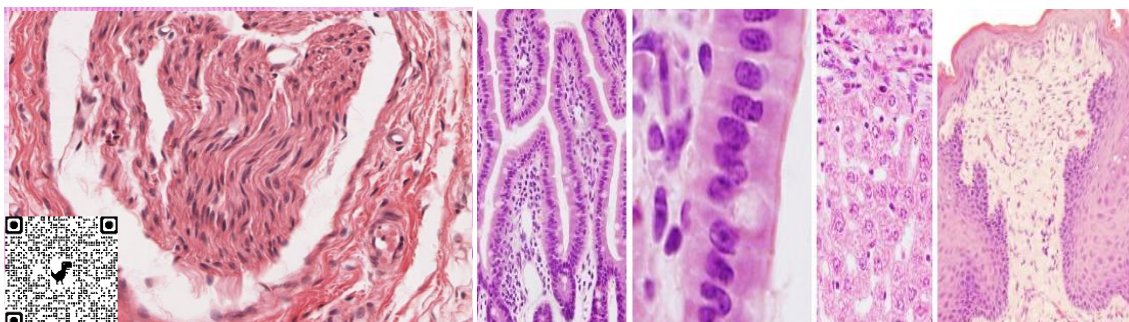


Figura 2. Micrografías de distintas muestras teñidas con el método de Hematoxilina-Eosina en la que se puede apreciar los núcleos celulares de color azul (eosina) y distintas estructuras como fibras musculares, citoplasma y colágeno de color rojo o morado (hematoxilina).^{4,8}

- **Tinción tricrómica de Gomori:** esta tinción se utiliza para destacar la estructura y morfología del tejido muscular. Para su preparación es necesaria la inmersión de la muestra en solución de Boluin lo que permite intensificar el contraste de las estructuras. Este método combina el colorante cromótopo 2R y un colorante, azul de anilina, en ácido fosfotúngstico y ácido acético. Al aplicar esta tinción, las fibras musculares se tiñen de color rojo, el citoplasma aparece de color rosado, el colágeno de color verde y los núcleos en negro (Fig. 3).

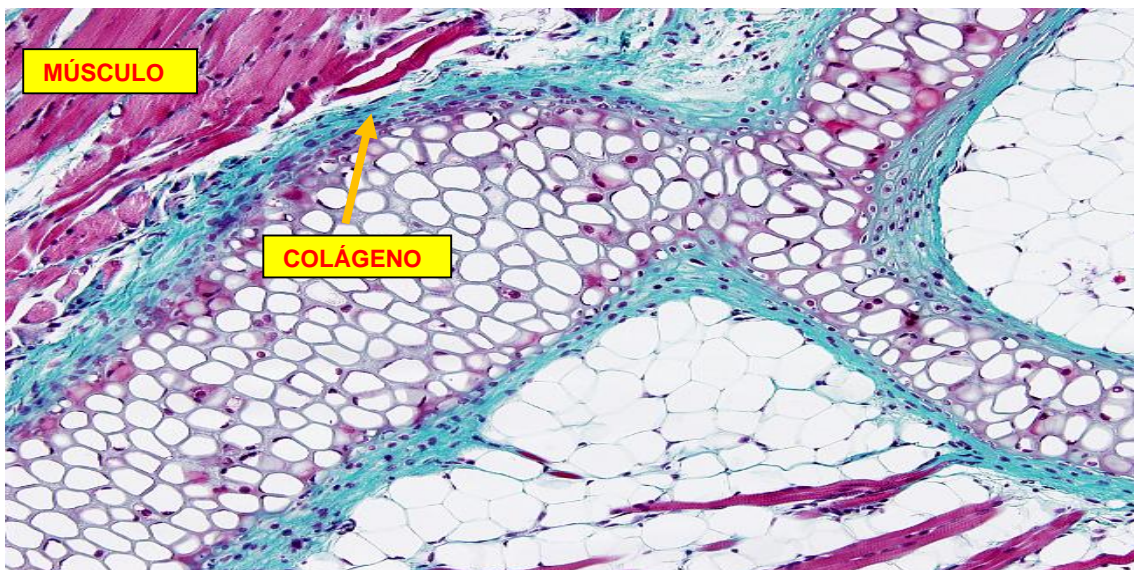


Figura 3. Imagen de microscopio óptico de una muestra de oreja de rata teñida con la técnica de tricrómico de Gomori.⁴

- **Tricrómico de Masson:** este método se utiliza para la visualización de fibras musculares, colágeno, fibrillas de queratina y la visualización en negativo del aparato de Golgi. Al teñir con este método las muestras de tejido muscular se pueden visualizar las fibras musculares de color rojo y el colágeno y los núcleos de color azul. La principal función de este método de tinción es la diferenciación del tejido muscular y el colágeno (Fig. 4).^{4,11}

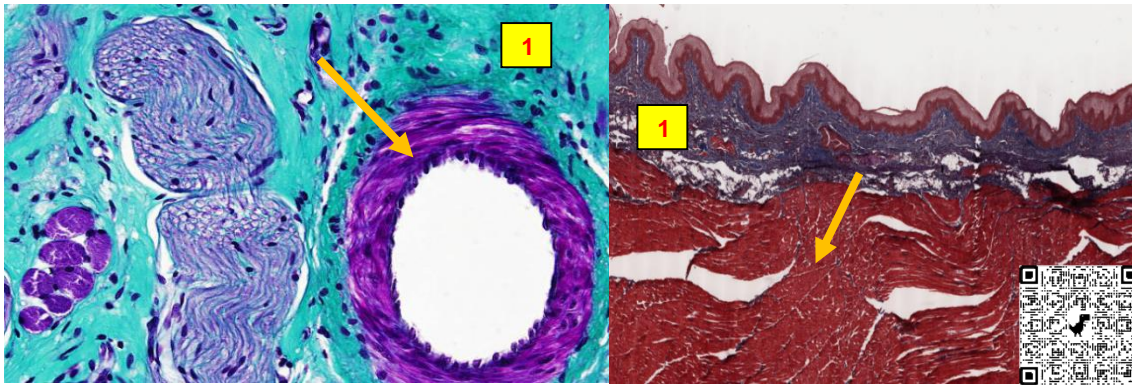


Figura 4. Micrografías de microscopía óptica en las que se muestra una sección de lengua (izquierda) y de piel (derecha) teñidas con el método de tinción de Tricrómico de Masson. En las micrografías se pueden apreciar las fibras musculares de color rojo/morado (flechas) y el colágeno de color azul/verde (1).^{4,8}

- **Histoquímica:** este método provoca una reacción química entre los reactivos de la tinción y las moléculas del propio tejido. En el estudio de las fibras musculares dentro del tejido muscular esquelético se utiliza la ATPasa miofibrilar y en el estudio de las enzimas oxidativas se suele utilizar el succinato deshidrogenasa y el NADH-tetrazolio reductasa.⁴
- **Inmunohistoquímica:** es un proceso que emplea anticuerpos, que debido a la alta especificidad y afinidad de unirse a moléculas diana, permite localizar moléculas de interés. Este es usado en estudios de anatomía patológica para las patologías que afectan al tejido muscular como las miopatías.^{4,5,11}

DESARROLLO DEL TEMA

El tejido muscular es uno de los cuatro tejidos que componen el organismo.^{1,5} Ranvier, en su libro “Leçons d'anatomie générale sur le système musculaire” (1880), fue quien describió por primera vez la estructura histológica del tejido muscular basada en un conjunto de haces e investigó la contracción muscular.¹²

Gracias al descubrimiento de la contracción muscular, las investigaciones posteriores pudieron concluir que las funciones que cumple este tejido son debidas a la especialización que sufrió para llevar a cabo esta acción. Las diferentes funciones que cumple el tejido muscular son las siguientes:

- Producción de movimiento

- Producción de calor
- Mantener la postura corporal
- Almacenamiento de proteínas y glucógeno.

Además, este tejido presenta cuatro características por las que la contracción muscular puede llevarse a cabo:

- Excitabilidad, capacidad para responder estímulos
- Contractibilidad, capacidad de contracción
- Extensibilidad, capacidad de un músculo para estirarse sin llegar a romperse.
- Elasticidad, capacidad para volver a su estado original.¹³

La unidad básica estructural y funcional del músculo es la fibra muscular, célula alargada y altamente especializada cuyo interior presenta una gran abundancia de filamentos citoplasmáticos formados básicamente por la asociación de proteínas motoras, actina y miosina, cuya interacción tras la llegada del impulso nervioso genera el movimiento de contracción muscular.^{5,14}

CLASIFICACIÓN

Debido al alto grado de especialización de las células que conforman este tejido y a la amplia distribución de este, el tejido muscular puede clasificarse en tres categorías atendiendo a su estructura, función y localización (Fig. 5):

- **Músculo esquelético:** se encarga de realizar movimientos de tipo voluntario (está inervado por el sistema somático). En el interior de sus células se puede observar un patrón de estriación repetitivo que se produce por la organización de los miofilamentos de actina y miosina en el citoplasma.
- **Músculo liso o visceral:** se encarga de realizar movimientos de tipo involuntario y se localiza en la pared de casi todos los órganos (vísceras) y paredes de los vasos (está inervado por el sistema nervioso autónomo). Gracias a su contracción se favorece el transporte de sustancias en los diferentes órganos como por ejemplo la peristalsis del tubo digestivo, el vaciamiento de la vejiga o las contracciones del útero en el parto.
- **Músculo cardíaco:** proporciona el latido cardíaco, bombeando así la sangre. Se encuentra formando la pared media del corazón o miocardio. Las células que forman este tejido muscular también presentan un patrón

de estriación característico debido a la organización de los miofilamentos de actina y miosina en el citoplasma y por lo tanto, al igual que en el músculo esquelético, ambos se pueden clasificar como tejido muscular estriado. Este tejido está inervado por el sistema nervioso autónomo y por lo tanto sus movimientos son de tipo involuntario.^{5,13,14,}

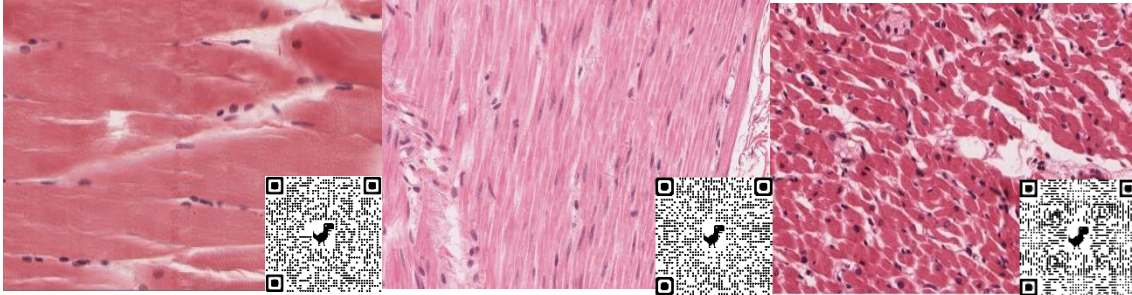


Figura 5. Micrografías de MO de los distintos tipos de tejido muscular: músculo esquelético (izquierda), músculo liso (central) y músculo cardíaco (derecha).⁸

MÚSCULO ESQUELÉTICO

Este es considerado el motor del movimiento del cuerpo, confiriendo movilidad y fuerza a las acciones dinámicas del organismo. Estas acciones son voluntarias, por lo tanto, la inervación que este tejido presenta es dada por el sistema nervioso central.¹⁴

Embriológicamente, la formación del tejido muscular esquelético proviene del mesodermo paraxial el cual se organiza en miotomas de somitas, las cuales son inervadas por un nervio raquídeo cada una, o partir de áreas locales del mesénquima condensado.

Cuando el embrión alcanza las 4 semanas de vida, las células del mesénquima proliferan y adoptan una forma alargada denominándose mioblastos. Estos mioblastos, con capacidad mitótica, proliferan gracias a la activación de varios reguladores del músculo, entre ellos cabe destacar:¹⁵

- Factor de determinación de la miogénesis (Myo D)
- Factor miogénico 5 (Myf 5)
- Factor regulador miogénico 4 (Myf 4)
- Miogénina

La agrupación y fusión de los mioblastos resulta en la formación de miotubos. Parte de las células que derivan del mesénquima son células satélite con capacidad mitótica y no participan en la formación de miotubos sino que se localizan en la superficie de estos proporcionando la capacidad regenerativa a

las fibras musculares esqueléticas. Durante el desarrollo de la célula muscular esquelética el miotubo y las células satélite se rodean de membrana basal, los núcleos de los mioblastos se van hacia la periferia celular y el citoplasma se rellena fundamentalmente de miofilamentos de actina y miosina completándose así la formación de la célula o fibra muscular (Fig. 6).^{5,15}

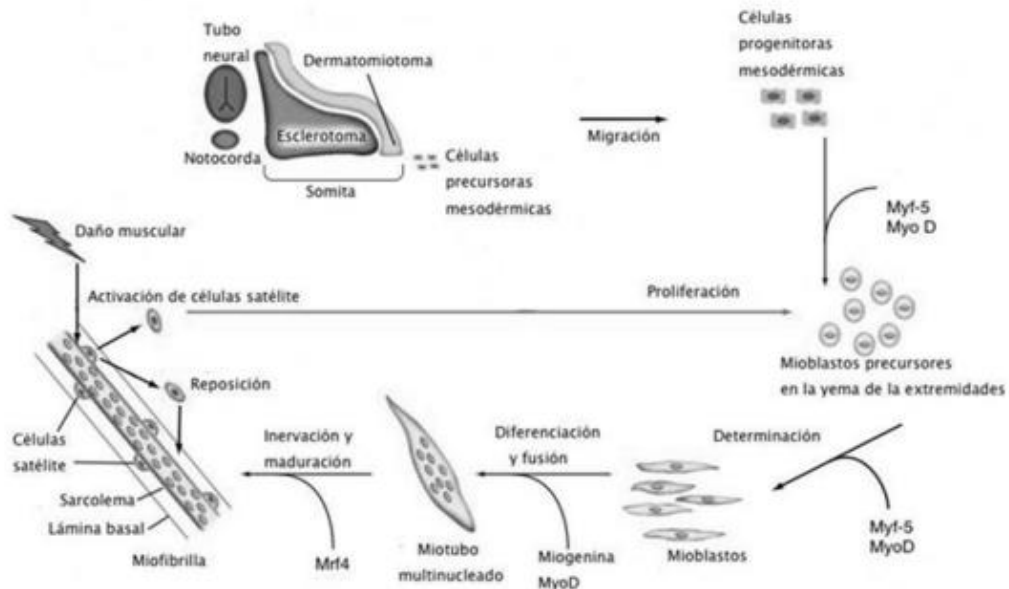


Figura 6. Esquema de los diferentes procesos que acontecen durante la miogénesis.¹⁵

Como apunte clínico, el rhabdomioma es una patología asociada a la formación de células tumorales en las células satélite de las fibras musculares en desarrollo del embrión. Los estudios histoquímicos revelan que estas neoplasias codifican anticuerpos dirigidos contra factores de transcripción (PAX3 y PAX7) y de regulación (MyoD1), cambiando así la estructura de formación de este tejido observándose células con miofilamentos, sarcómeros y fibrillas en su interior (Fig. 7).⁵

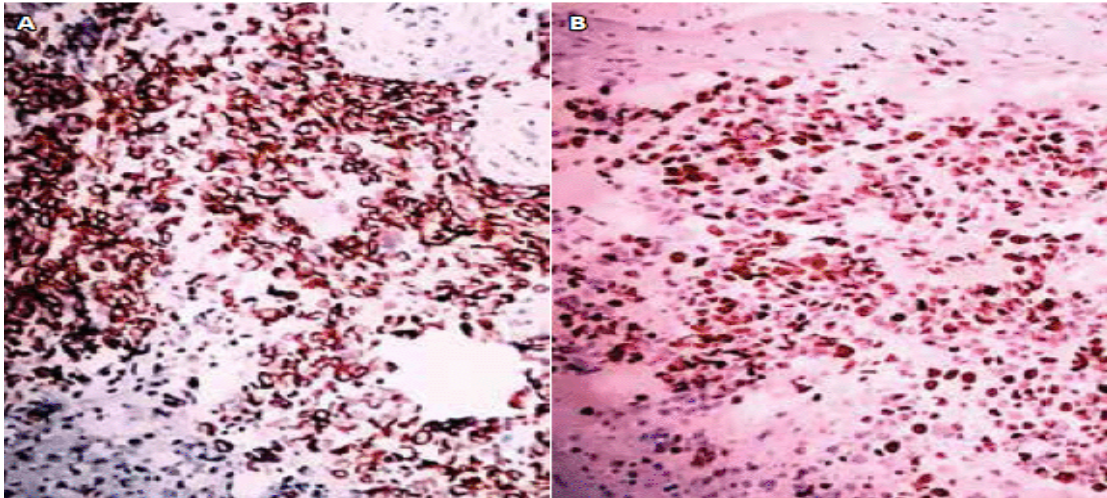


Figura 7. Micrografía de diagnóstico de rhabdomyosarcoma paratiroide mediante estudio histoquímico con desmina (A) y Ki67 (B).¹⁶

Los componentes que forman las fibras musculares características de este tejido son (Fig. 8):

- **Sarcolema:** membrana plasmática de la fibra muscular. Externamente presenta fundamentalmente glicoproteínas y fibras reticulares de formando la lámina basal. Esta membrana presenta especializaciones denominadas túbulos transversales o túbulos T que son invaginaciones de la propia membrana hacia el interior de la célula.
- **Miofibrilla:** agrupación de miofilamentos de miosina y actina (aproximadamente 1500 y 3000 filamentos respectivamente) en sentido longitudinal obteniendo así un patrón de estriación característico de bandas claras y oscuras. Las bandas claras están formadas por filamentos de actina, llamadas Banda I (isótropas), y bandas oscuras formadas por filamentos de actina y miosina, llamadas Banda A (anisótropas). Estas ocupan el 80% del volumen celular.^{5,17}
- **Sarcómero:** unidad anatómica y funcional de la fibra muscular. Contiene filamentos delgados y gruesos y proteínas estabilizadoras de la posición de estos filamentos y reguladoras de las interacciones entre los filamentos delgados y gruesos. Consta de una banda A y la mitad de dos bandas I contiguas, situadas a cada lado de la banda Z. Cuando el sarcómero está relajado mide aproximadamente 1,6 μm (Fig. 9).⁵

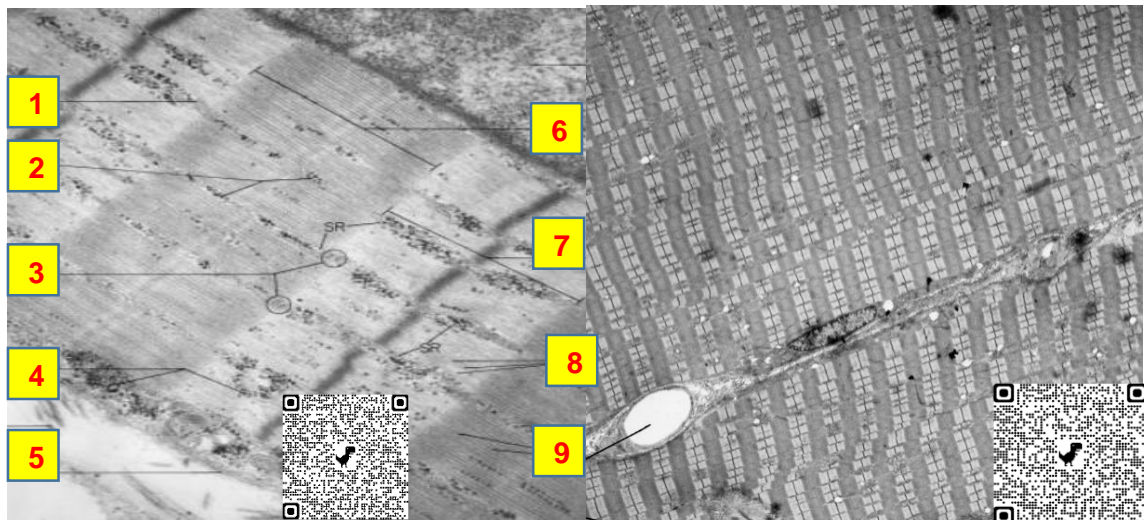


Figura 9. Micrografías de ME en la que se observan dos secciones longitudinales de músculo esquelético. En la imagen de la izquierda, se puede observar un sarcómero distinguiendo distintos componentes: retículo sarcoplasmático (1), glucógeno (2 y 4), túbulos T (3), colágeno (5), la banda A (6), la banda I (7), miofilamentos finos (8) y miofilamentos gruesos (9). En la imagen de la derecha se puede observar la distribución de los distintos sarcómeros.⁸

- **Sarcoplasma o citoplasma:** está fundamentalmente ocupado por miofilamentos y los orgánulos celulares presentes en él quedan restringidos al área perinuclear, como por ejemplo las mitocondrias o sarcosomas.
- **Retículo endoplasmático liso o retículo sarcoplasmático:** tiene un gran desarrollo en este tipo celular. Se encarga del almacenamiento del calcio, fundamentalmente para que se produzca la contracción. En las inmediaciones de los túbulos T en vez de ser tubular forma cisternas. Concretamente, hay dos cisternas asociadas al túbulo T y a esta disposición se la denomina triada, característica de estas células. En cuanto su fisiología, los túbulos T (situados en la unión de la banda A e I) propagan el impulso nervioso al sarcolema intercelular. El impulso nervioso provoca la transmisión del potencial de acción desde los túbulos T hasta el retículo sarcoplasmático y, por consiguiente, se produce la liberación de iones de calcio.^{5,11,17}

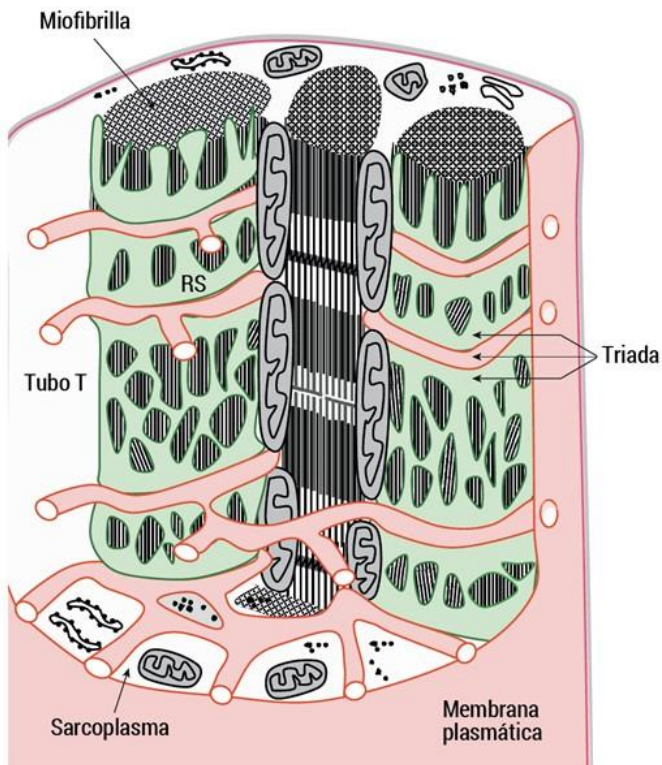


Figura 8. Esquema de una fibra muscular esquelética en la que se muestran los distintos componentes que contiene.¹⁸

Como apunte clínico, la distrofia muscular de Duchenne es una patología genética por déficit de distrofina la cual tiene una evolución degenerativa rápida y progresiva debido a un gen del brazo corto del cromosoma X. La distrofina mantiene la estructura de la fibra durante su contracción mediante el anclaje de los elementos de la fibra al citoesqueleto, es por ello, que estos pacientes sufren de debilidad y atrofia muscular (Fig. 10).⁵

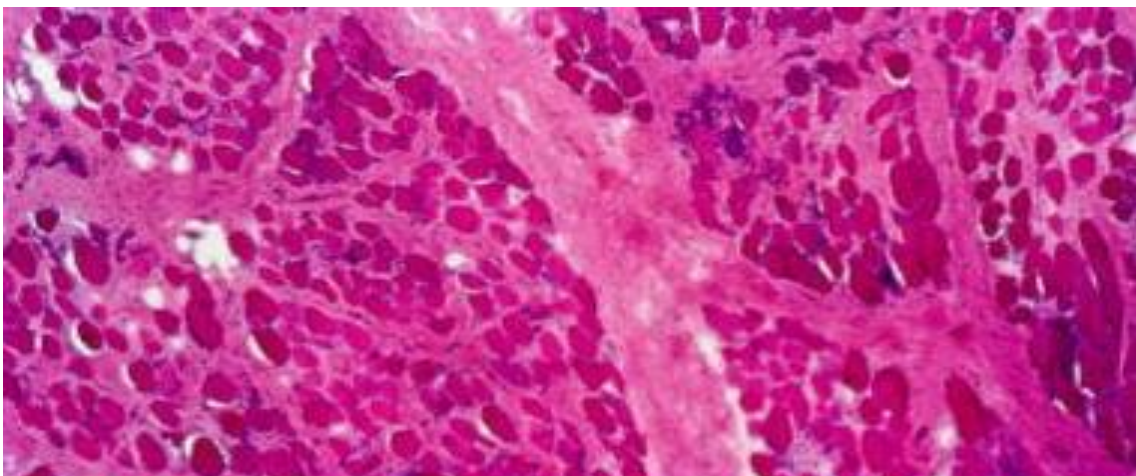


Figura 10. Micrografía de tejido muscular con distrofia de Duchenne teñido con H-E en la que se observa variación en el tamaño de las fibras, necrosis y marcada proliferación de tejido conjuntivo.¹⁹

ULTRAESTRUCTURA

En cuanto a la ultraestructura de las fibras musculares, en una sección longitudinal podemos observar células alargadas y cilíndricas. Son multinucleadas, disponiéndose sus núcleos en las zonas periféricas de la célula (Fig. 11).

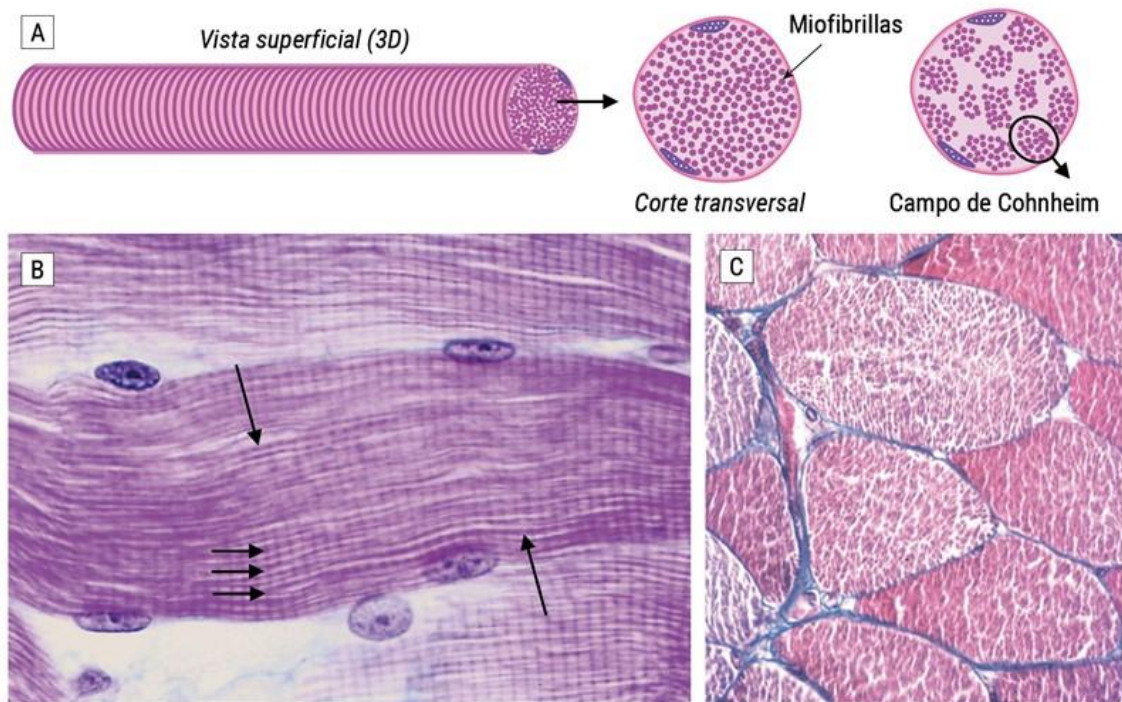


Figura 11. A- Esquema tridimensional de una fibra muscular en visión longitudinal y transversal de una fibra muscular. B- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte longitudinal donde se aprecian los núcleos en la periferia de la fibra y los sarcómeros (flechas). C- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte transversal en el que se observa la distribución de las miofibrillas.¹⁸

El sarcoplasma de estas fibras está lleno de miofibrillas componiendo así los distintos sarcómeros, donde se pueden apreciar las distintas densidades de las bandas A e I. En centro de cada banda de miosina se puede apreciar una banda H atravesada por una banda M (Fig. 12).^{5,11,20}

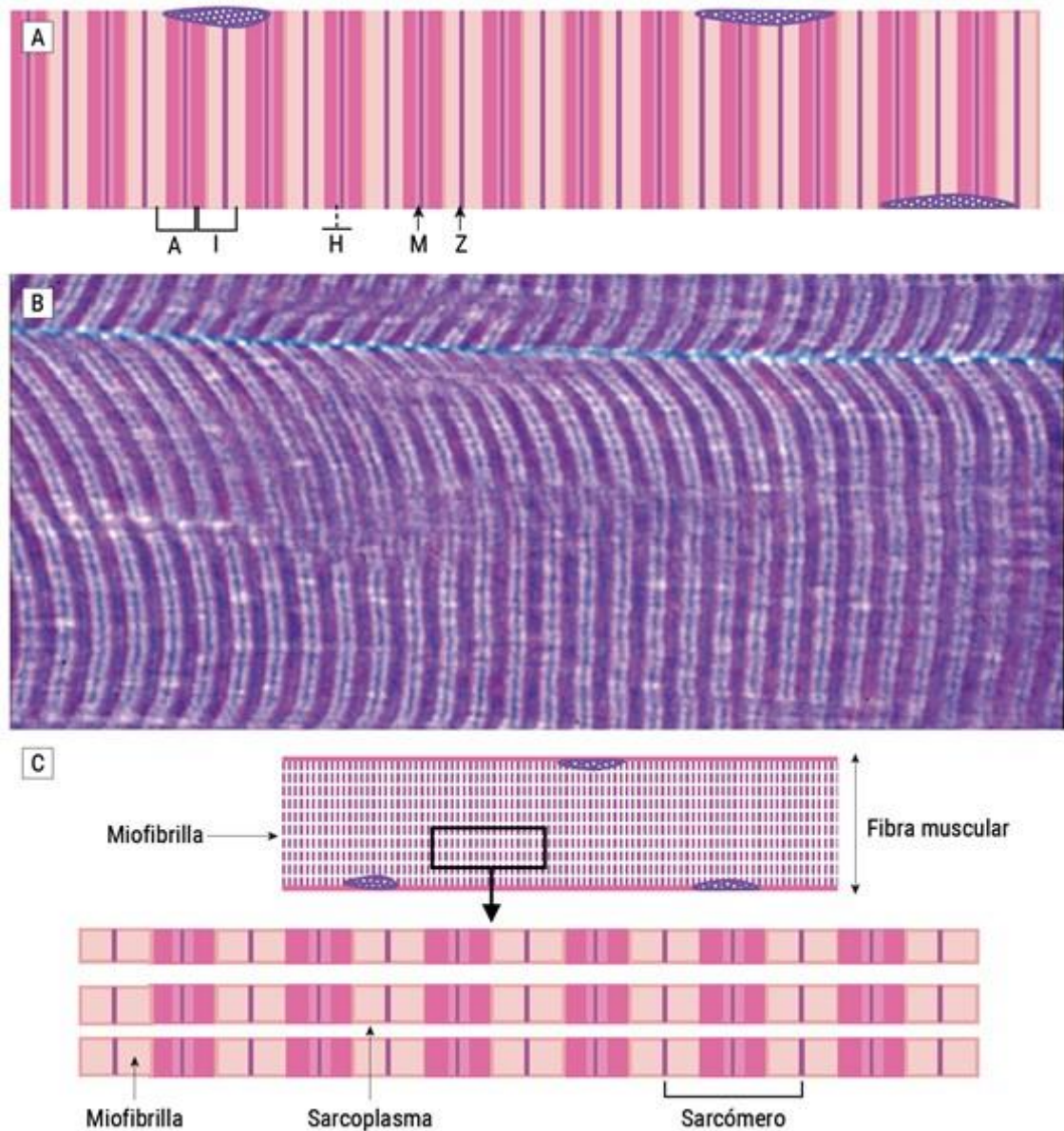


Figura 12. A- Esquema de un sarcómero donde se pueden diferenciar la disposición y localización de las diferentes bandas que componen el sarcómero. B- Micrografía de tejido muscular esquelético teñido con H-E en corte longitudinal en la que se aprecia la disposición de los sarcómeros. C- Esquema de la disposición de los distintos componentes de una fibra muscular.¹⁸

Yuxtapuestas a estas bandas, se encuentra el retículo sarcoplasmático y los túbulos T presentando una orientación concreta respecto el sarcómero. En la unión de las Bandas A e I se encuentran las cisternas terminales que se agrupan con el túbulo T central para formar la triada muscular (Fig. 13).

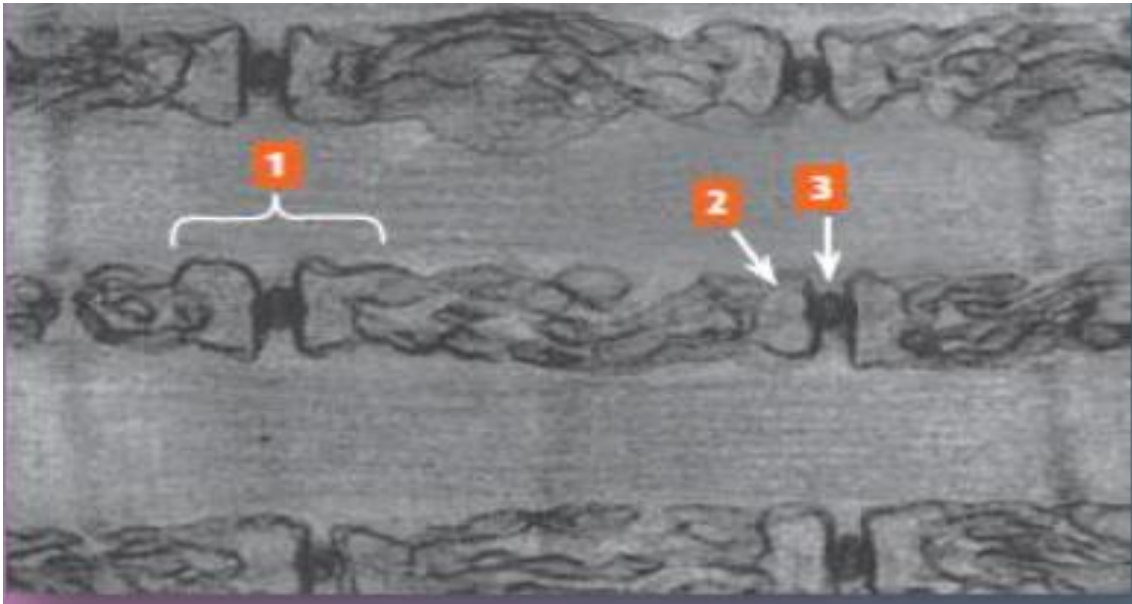


Figura 13. Micrografía de microscopía electrónica de transmisión (MET) de una fibra muscular esquelética donde se visualizan: triadas (1), el retículo sarcoplasmático (2) y los túbulos T (3).²¹

En la sección longitudinal, además se puede apreciar la unión músculo tendinosa que delimita el final de la fibra muscular mediante su inserción en el tejido conjuntivo del tendón. Se observan interdigitaciones de las miofibrillas y proyecciones de tejido cartilaginoso íntimamente relacionados a través del sarcolema estableciendo la estabilidad mecánica en el punto de transmisión de fuerza (Fig. 14).⁵

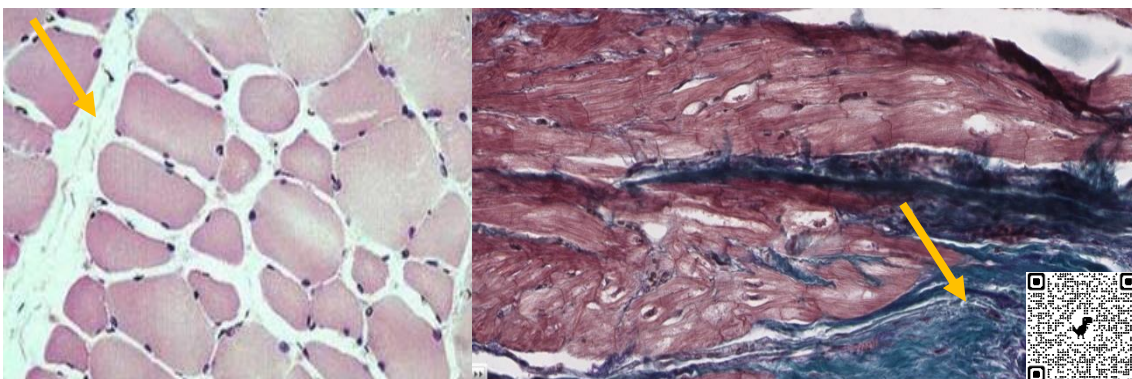


Figura 14. Micrografías de MO de fibras musculares esqueléticas donde se aprecia la unión músculo tendinosa. La imagen de la izquierda es un corte transversal teñido con H-E donde se puede apreciar el infiltrado de colágeno propio del tendón (flecha). La imagen de la derecha es una sección longitudinal teñida con tricrómico de Masson en la que se puede observar la interdigitación de la fibra muscular con el tejido cartilaginoso del tendón (flecha).^{4,8}

En un corte transversal de estas fibras, se puede apreciar el endomisio (lámina de tejido conjuntivo que rodea las fibras musculares cardíacas) en el que se encuentran capilares y fascículos nerviosos adyacentes a la fibra muscular. Este paquete vasculonervioso recorre la fibra longitudinalmente atravesando el epimisio, y siendo englobadas por el perimisio al igual que los vasos linfáticos (Fig. 15).^{5,10}

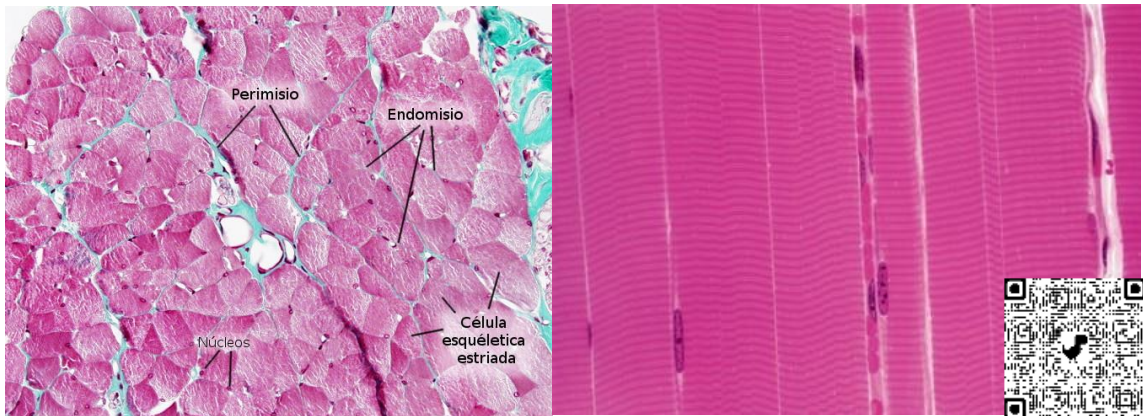


Figura 15. Micrografía de MO de fibra muscular esquelética teñida con Tricrómico de Masson (izquierda) donde se visualiza en la zona central el paquete vasculonervioso y las distintas envolturas del músculo. Micrografía de MO de fibra muscular esquelética en sección longitudinal teñida con H-E donde se visualiza un vaso sanguíneo en la zona central.^{4,8}

Siguiendo en el corte transversal, las células satélite se encuentran localizadas entre el sarcolema y la lámina basal de una fibra muscular. Estas células tienen un único núcleo con escasos orgánulos en su citoplasma como mitocondrias, retículo endoplasmático rugoso y el aparato de Golgi (Fig. 16).

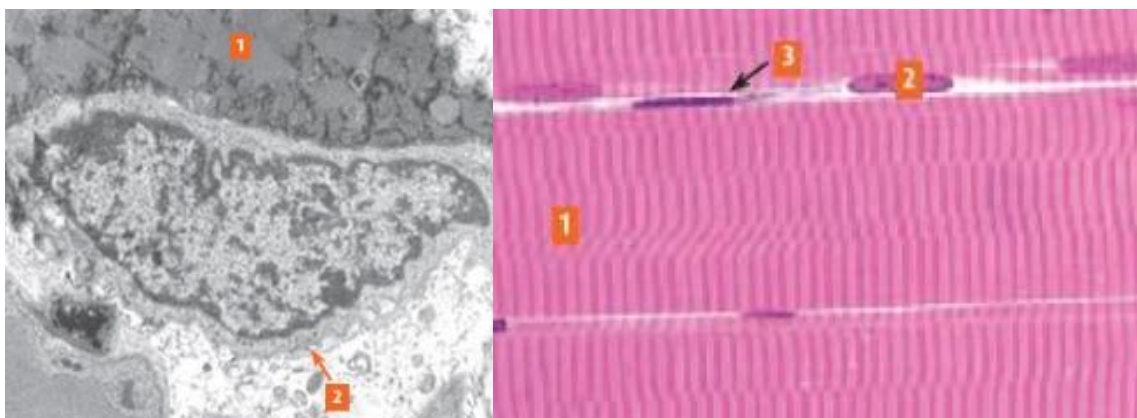


Figura 16. La imagen de la izquierda es una micrografía de MET de una fibra muscular (1) donde se aprecia la célula satélite (2). La imagen de la derecha es una micrografía de MO de una fibra muscular (1) teñida con H-E donde se visualizan núcleos (2) en la zona periférica de la fibra y células satélite (3).²¹

El estudio de la unión neuromuscular o placa motora se puede observar mediante microscopía electrónica. El axón pierde la vaina de mielina según se acerca a la fibra, sin embargo, mantiene en su porción distal el recubrimiento de la célula de Schwann. Las ramas terminales del axón de la neurona motora se insertan en la depresión sináptica de la fibra muscular que contiene receptores de acetilcolina. La membrana plasmática del propio axón está separada del sarcolema por la hendidura sináptica. En esta zona de la fibra muscular se puede apreciar un sarcoplasma rico en mitocondrias, ribosomas libres, retículo endoplasmático rugoso, núcleos y un extenso aparato de Golgi (Fig. 17).⁵

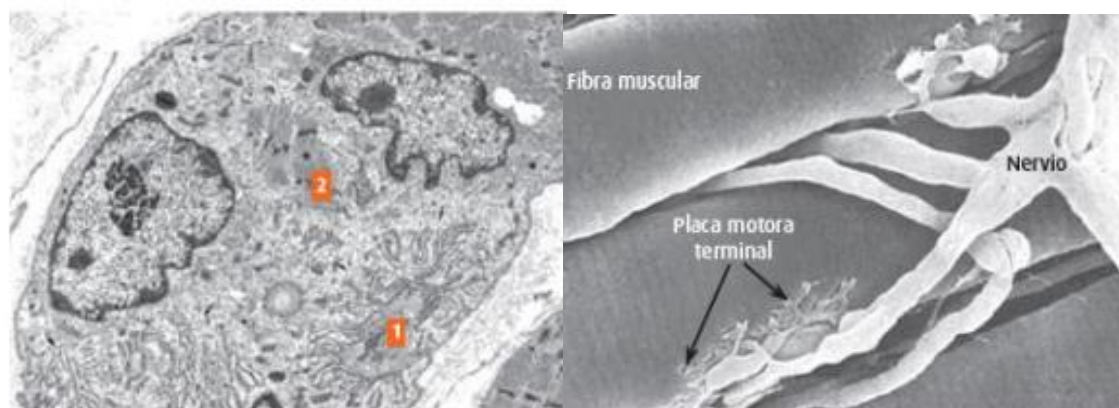


Figura 17. La imagen de la izquierda es una micrografía de ME de una fibra muscular (2) en su unión con el axón terminal (1). La imagen de derecha es una micrografía de microscopia electrónica de barrido en la que se observa la unión mioneuronal de una fibra muscular esquelética.²¹

Como apunte clínico, la miastenia gravis es una enfermedad hereditaria autoinmune en la que se produce una deformación de la membrana sarcolemica postsináptica con agrupación de anticuerpos lo que impide la correcta recepción de la acetilcolina (Fig. 18).⁵

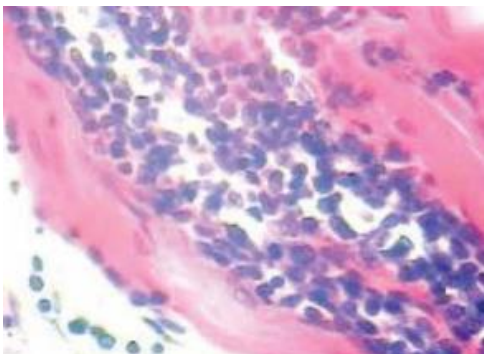


Figura 18. Micrografía de fibras musculares en sección longitudinal teñidas con H-E en las que se observa un infiltrado de linfocitos y las células plasmáticas característico de la miastenia gravis.²²

TIPOS DE FIBRAS DEL MÚSCULO ESQUELETICO

Atendiendo al tipo de actividad que realizan los músculos, se pueden diferenciar distintos tipos de fibras musculares. Estas fibras están especializadas en funciones específicas y se encuentran en todos los músculos, sin embargo, predomina un tipo en específico.

En histología clínica la importancia de estas fibras reside en los estudios histoquímicos e inmunohistoquímicos para detectar posibles enfermedades mediante biopsias en las que se estudian el patrón de las fibras para determinar la distribución y el porcentaje de estas.⁵

En el músculo esquelético se pueden diferenciar tres tipos de fibras musculares (Fig. 19):

- **Fibra muscular tipo I o fibras rojas:** son fibras de pequeño diámetro y son aeróbicas, de contracción, presentan gran cantidad de vasos sanguíneos y tienen una baja sensibilidad a la fatiga por lo que pueden realizar actividades durante un tiempo prolongado. Estas fibras contienen en su sarcoplasma un gran número de mitocondrias, de gran tamaño situadas bajo el sarcolema, y mioglobina, escaso glucógeno y baja actividad de la ATPasa miofibrilar. Además, al microscopio electrónico las bandas Z son más anchas que en el tipo II. Este tipo de fibra predomina en aquellos músculos que intervienen en actividades posturales y de caminar, ya que son actividades aeróbicas y que requieren producir poca fuerza.
- **Fibras musculares tipo II A o intermedias:** estas fibras son de contracción rápida y tienen una sensibilidad moderada a la fatiga. En su sarcoplasma existe una densidad intermedia de mitocondrias y enzimas glucolíticas con alta actividad. Predomina en músculos que realizan actividades anaeróbicas de larga duración con la necesidad de realizar una fuerza moderada como una carrera de 400 metros.
- **Fibras musculares tipo II B o fibras blancas:** son fibras de gran diámetro, anaeróbicas, de contracción rápida, menos vascularizadas que las fibras musculares tipo II B y con alta sensibilidad a la fatiga. Su sarcoplasma contiene escasas mitocondrias y sus enzimas oxidativas tienen una baja actividad, sin embargo, la ATPasa miofibrilar y la fosforilasa tienen una alta actividad. Esta fibra predomina en músculos

que realizan actividades anaeróbicas breves, con producción de mucha fuerza como saltar y esprintar.^{5,11,23}

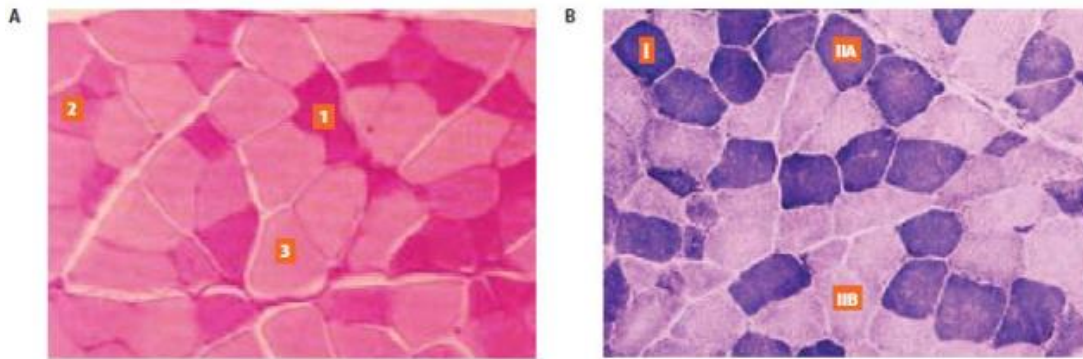


Figura 19. Micrografía de los distintos tipos de fibra muscular. En la imagen A, teñida con ácido periódico de Schiff (PAS) se observan fibras rojas (1), intermedias (2) y blancas (3). En la imagen B, estudio histoquímico con NADH-TR, se diferencian los distintos tipos de fibra muscular: I (rojas), IIA (intermedias) e IIB (blancas).²¹

Apunte clínico: la miopatía nemalínica son un conjunto de patologías congénitas debido a una serie de mutaciones en genes que codifican los componentes proteicos de los miofilamentos de actina. Esta patología cursa con un patrón anormal de los tipos de fibras musculares predominando la fibra tipo I. El principal estudio histológico se realiza con tinción tricrómica de Gomori o bajo microscopia electrónica (Fig. 20).⁵

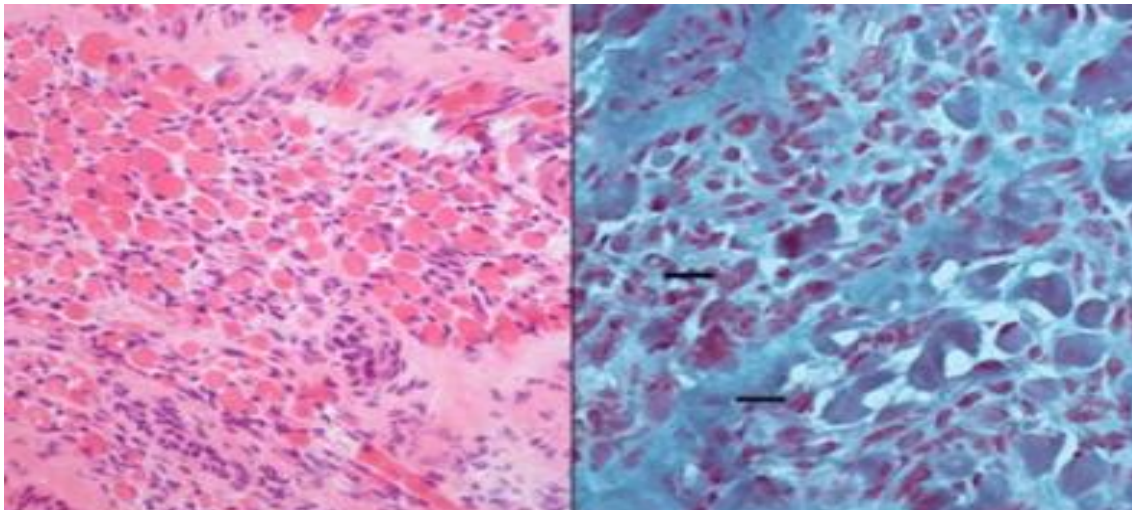


Figura 20. Micrografía de una biopsia muscular con miotonía nemalínica. En la imagen de la izquierda se observa una variación del tamaño de las fibras musculares (tinción H-E). En la imagen de la derecha, se observan los bastones nemalínicos en algunas fibras (tinción tricrómica de Gomori).²⁴

MÚSCULO LISO

El musculo liso no presenta estriaciones en su estructura histológica. Sin embargo, la fuerza de contracción es comparable a la del tejido muscular esquelético diferenciándose tanto en la velocidad, en el músculo liso es más lenta, y en el tiempo que puede mantenerse el tejido en contracción, mayor en el tejido muscular liso. Así, el gasto energético y la sensibilidad a la fatiga es mucho menor en este tipo de tejido que en el muscular esquelético.

Este tipo de tejido se encuentra en el tubo digestivo, la gran mayoría de vasos sanguíneos, aparato genitourinario, vías respiratorias y otros órganos tubulares y huecos, representando de esta manera el 2% del peso corporal de un adulto.

Mediante la contracción el tejido muscular liso es capaz de regular las funciones fisiológicas de los distintos órganos provocando el movimiento de fluidos y materiales hacia el interior y exterior del cuerpo y distribuirlos dentro del mismo. De esta manera, el musculo liso interviene en procesos fisiológicos como la digestión, la respiración, la reproducción y la circulación sanguínea.^{5,25,26}

El origen embriológico de este tejido resulta muy diverso ya que el músculo liso que forma parte de la pared del intestino y sus anejos surge a partir del mesodermo esplácnico, mientras que el que se encuentra en los vasos sanguíneos pertenece al mesodermo adyacente al endotelio vascular. Además, este tipo de tejido también tiene su origen en el ectodermo formando los músculos esfínter y dilatador de la pupila, el tejido muscular de las glándulas mamarias y de las glándulas sudoríparas.^{5,27}

Está formado por células con un único núcleo y con una estructura citoplasmática simple. Estas células se visualizan como haces alargados, entre 20 y 500 µm, cuyo núcleo se encuentra localizado en la zona más ancha (Fig. 21). Los principales componentes del citoplasma son el aparato de Golgi, retículo endoplasmático liso y rugoso y mitocondrias. Estas células se orientan en forma de láminas agrupándose paralelamente o en haces agregados dispuestos en diferentes posiciones unidas por tejido conjuntivo laxo y uniones nexa (GAP). (Fig. 22).⁵

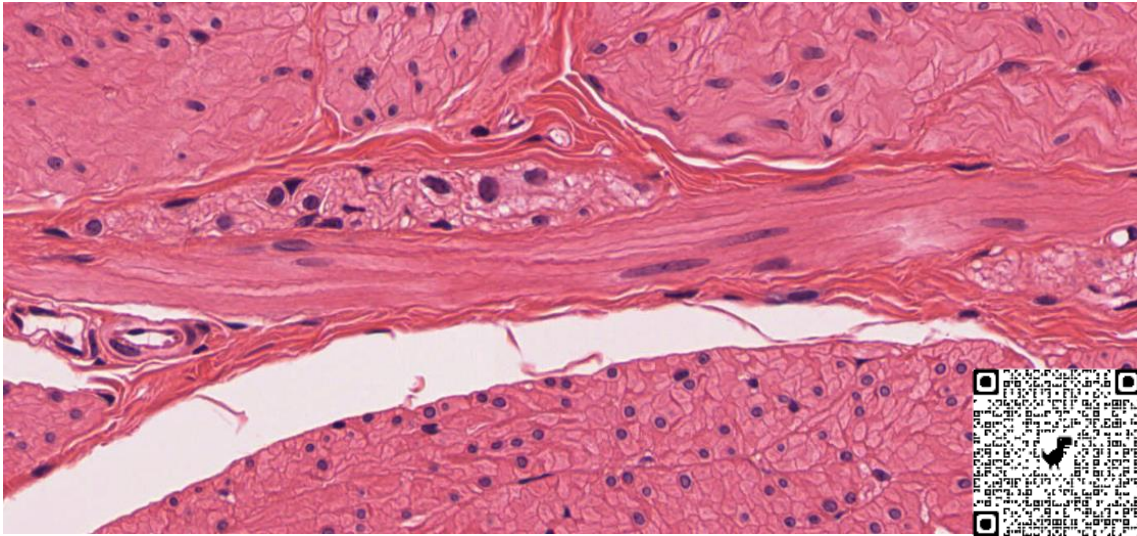


Figura 21. Micrografía de MO de tejido muscular liso con tinción H-E en sección longitudinal y transversal. Se pueden apreciar las distintas células con un solo núcleo localizado en la zona central.⁸

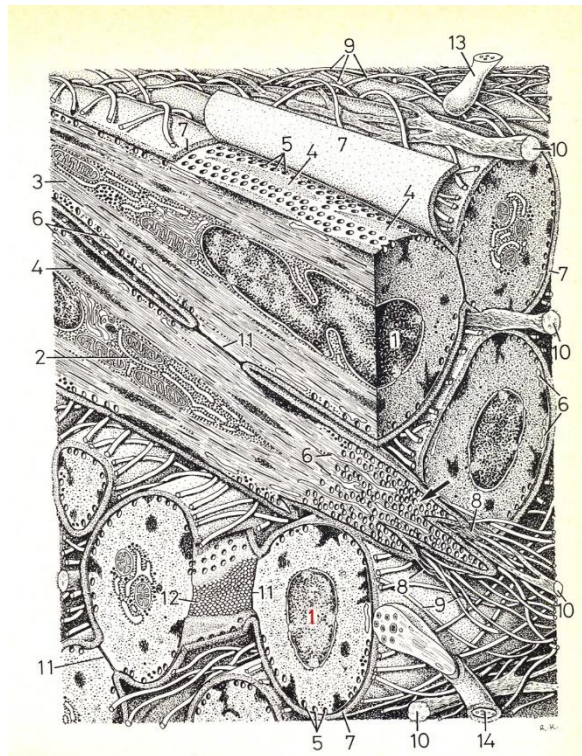


Figura 22. Esquema de los distintos componentes que conforman la fibra muscular lisa en la que se puede apreciar: núcleo (1), endoplasma (2), miofibrillas (3), cuerpos densos (4), caveolas (5), retículo endoplasmático liso (6), lámina basal (7), microfibrillas (8), colágeno (9), retículo sarcoplásmico (10), uniones GAP (11 y 12) y porción terminal de axón (13 y 14).²⁸

ULTRAESTRUCTURA

Mediante microscopía electrónica, se pueden distinguir tres clases de filamentos, orientados en sentido oblicuo y longitudinal, en el sarcoplasma:

- **Filamentos gruesos:** compuestos por miosina.
- **Filamentos delgados:** compuestos por actina.
- **Filamentos intermedios:** contienen desmina y se entrecruzan formando una red. Sirven como punto de resistencia para la fuerza ejercida en la contracción del tejido.

Por otro lado, se distinguen cuerpos densos, ricos en alfa-actina, situados dispersos en el citoplasma o en la cara interna del sarcolema y que sirven como punto de anclaje para los filamentos delgados e intermedios para unirse a la membrana celular (Fig. 23).

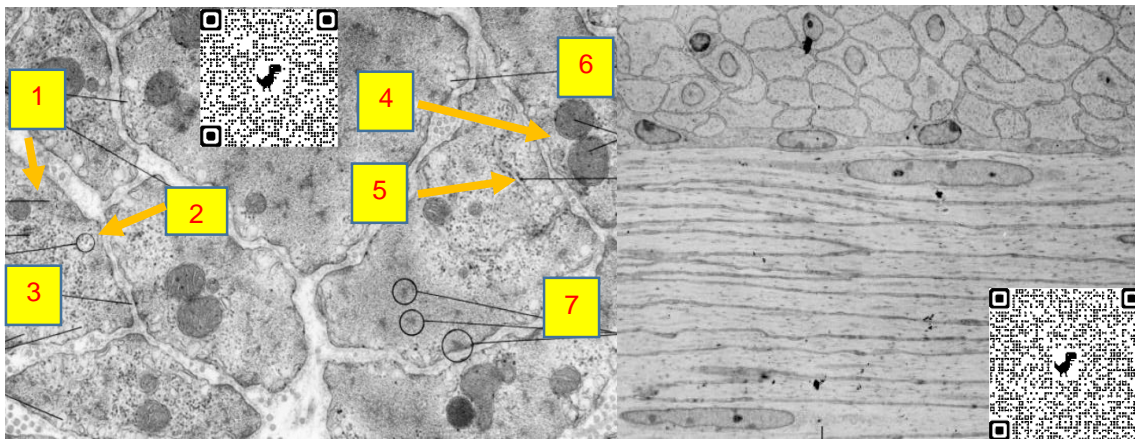


Figura 23. Micrografías de ME que muestra los distintos componentes y la ultraestructura de una fibra muscular lisa. La imagen de la izquierda es una sección transversal de una célula muscular lisa en la que se puede diferenciar: miofilamentos (1 y 7), microtúbulos (2), lámina basal (3), mitocondrias (5), caveolas (6). En la imagen de la derecha se puede observar la disposición celular en un corte longitudinal y transversal.⁸

Apunte clínico, la hipertensión arterial pulmonar es una patología en la que se produce un aumento de presión en las arterias pulmonares. Se produce un aumento del grosor de la túnica media produciéndose la hiperplasia e hipertrofia de las células de musculo liso que constituye esta túnica y la inhibición de la apoptosis celular (Fig. 24).⁵

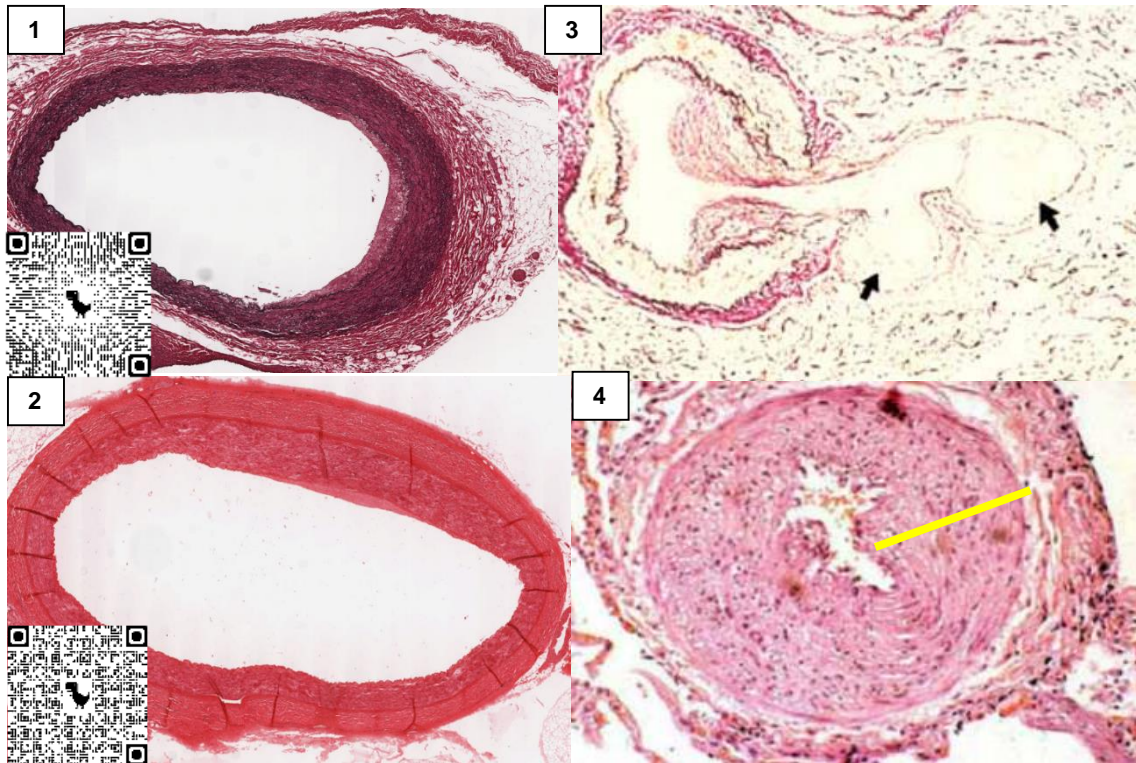


Figura 24. Micrografías de MO de arterias pulmonares teñidas con H-E en las que se puede observar la comparación entre el estado fisiológico de una arteria (imágenes de la izquierda) y el estado patológico (imágenes de la derecha. En la imagen 2, se puede apreciar una arteria con una pared hipertrofiada y con un aneurisma que contiene lesiones plexiformes (flechas). En la imagen 4, se puede apreciar un engrosamiento de la túnica media de la arteria.^{8,29}

En una sección transversal del músculo liso, se visualizan las caveolas que son invaginaciones con forma de pirámide del sarcolema que aumentan la superficie de la célula. Su presencia se debe a que la célula muscular tiene un escaso desarrollo del retículo endoplasmático liso. Aunque su función no ha sido demostrada, diversos autores concluyen en que su función es facilitar el transporte y la introducción de calcio en el citoplasma celular para el inicio de la contracción muscular. Este calcio es transportado por la calmodulina facilitándose la interacción de la miosina con la actina de los filamentos y, así, formar los puentes cruzados y generar la contracción tras la hidrólisis de ATP (Fig. 25).^{5,11}

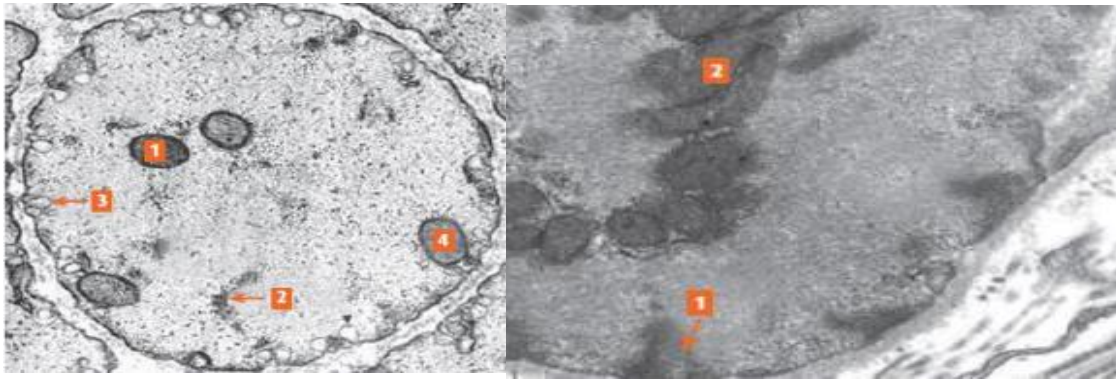


Figura 25. Micrografía de MET de fibra muscular lisa (1) en sección transversal en la que se visualiza cuerpos densos citoplasmáticos (2), caveolas (3) y mitocondrias (4). Micrografía de una fibra muscular lisa con cuerpos densos (1) de la membrana plasmática y sarcomas (2).²¹

Por otra parte, el músculo liso contiene un tipo de unión intercelular, las uniones comunicantes, que facilitan el acoplamiento eléctrico y la comunicación celular. Por último, destacar la importancia de las conexiones neuromusculares de la célula. Estas conexiones se producen mediante varicosidades axonales del sistema nervioso autónomo. Estas varicosidades contienen focos de vesículas sinápticas que liberan distintos neurotransmisores (Adrenalina, Noradrenalina y otros neurotransmisores) activando a las células del músculo liso. Gracias a las uniones comunicantes, se produce la excitación de las células adyacentes produciéndose las contracciones sincrónicas. Existen hormonas, como la oxitocina y la serotonina, y factores externos, como el estiramiento, que modulan esta actividad muscular (Fig. 26).⁵

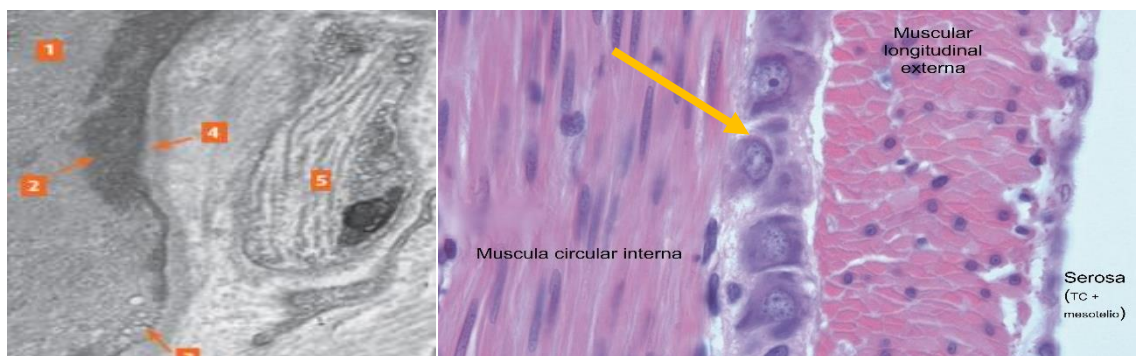


Figura 26. La imagen de la izquierda es una micrografía de MET de una fibra muscular liso (1) en la que se observa cuerpos densos (2), caveolas (3), la lámina basal (4) y el terminal del axón (5). La imagen de la derecha es una micrografía de MO de capas de músculo liso teñida con H-E donde se observa el plexo mientérico de Auerbach (flecha).^{18,21}

MÚSCULO CARDIACO

El tejido muscular cardiaco se localiza en la pared media del corazón o miocardio y sus fibras son estriadas e involuntarias originando la función contráctil del latido cardiaco. Los cardiomiocitos, células que componen las fibras musculares cardiacas, tienen una estructura similar a las fibras del músculo esquelético en cuanto a la disposición de las miofibrillas, miofilamentos y las estriaciones superpuestas.^{5,11}

En 1888, Ramón y Cajal demostró la existencia del sarcolema en el miocito, publicándolo en “Textura de la fibra muscular del corazón”, el cual rodea al núcleo que ocupa una posición central en dicha célula.³⁰

El cardiomiocito es mononucleado, aunque en ocasiones se pueden encontrar células con dos núcleos. Sus fibras son estriadas e interconectadas entre sí por los discos intercalares (Fig. 27), ubicados en las inmediaciones de las líneas Z y en el que se distinguen dos partes: una zona transversal a las miofibrillas que asegura la cohesión de las fibras musculares cardiacas y otra zona longitudinal a las fibras musculares que permite la propagación del impulso nervioso. Además, guardan una disposición en espiral lo que permite la expulsión de sangre de manera sincrónica hacia la circulación sistémica, pulmonar y coronaria desde el corazón. Atendiendo a la comunicación existe entre las distintas células musculares cardiacas se pueden distinguir tres tipos:

- **Desmosomas:** actúa uniendo los miofilamentos intermedios y las terminaciones terminales cuya función es la estabilidad mecánica impidiendo la separación entre los cardiomiocitos sometidos a contracción continua. Se encuentran en una posición perpendicular al eje longitudinal de la célula.
- **Uniones adherentes:** son los puntos de anclaje de los filamentos delgados de las miofibrillas con el citoesqueleto mediante la N-caderina. Se encuentran en una posición perpendicular al eje longitudinal de la célula. Este tipo de unión solamente se puede encontrar en el músculo cardiaco.

- **Uniones comunicantes:** se encuentran orientadas en paralelo al eje longitudinal de la célula. Las uniones comunicantes se localizan en las uniones longitudinales de los discos intercalares estableciendo un contacto electro-químico entre los cardiomiocitos yuxtapuestos facilitando la propagación del impulso nervioso.

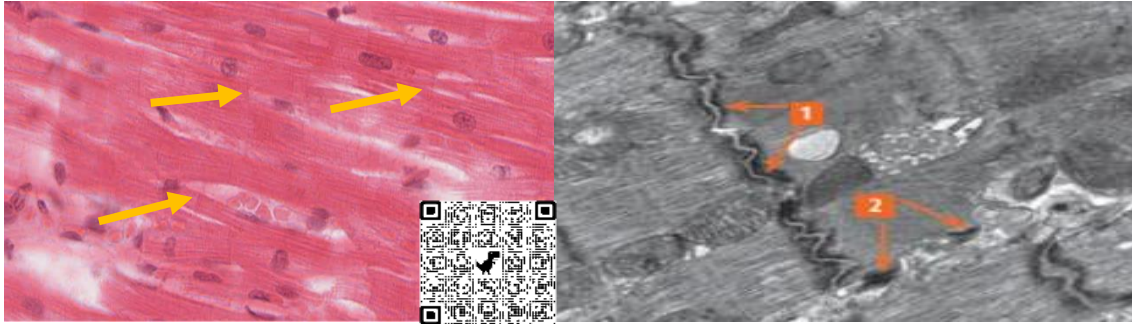


Figura 27. La imagen de la izquierda es una micrografía de músculo cardíaco teñido con H-E donde se aprecia el disco intercalar.¹¹ La imagen de la derecha es una micrografía de MET de tejido muscular cardíaco de se observan distintos tipos de discos intercalares: uniones adherentes (1) y uniones comunicantes (2).^{8,21}

El tejido muscular cardíaco es el más vascularizado de los tipos de tejido muscular estudiados, sin embargo, la regeneración de las fibras musculares cardíacas es escasa porque no tienen células satélites asociadas (Fig. 28).^{5,10}

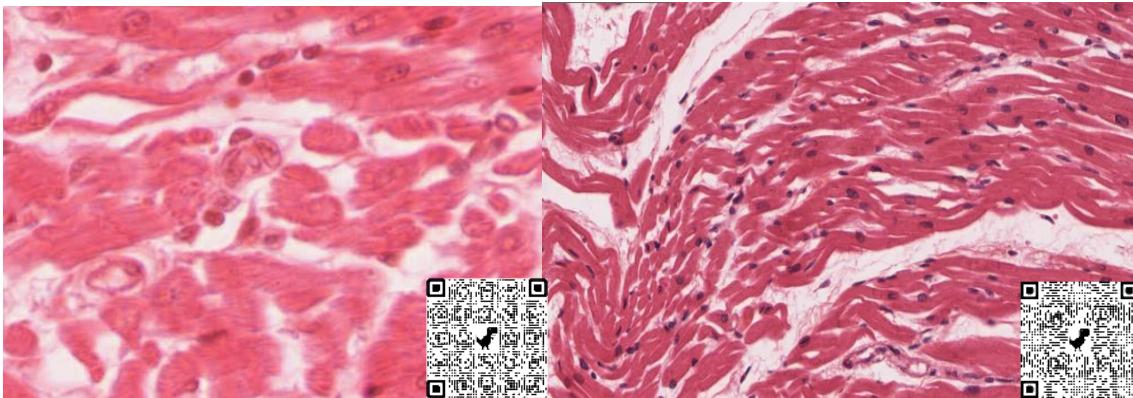


Figura 28. Micrografías de MO de tejido muscular cardíaco teñidos con H-E en sección transversal y longitudinal.⁸

En cuanto a su origen embriológico, surge en el día 18 de gestación a partir del mesodermo esplacnopleural conformando el denominado tubo cardíaco.³¹

COMPONENTES DEL MÚSCULO CARDIACO

Los principales componentes del tejido muscular cardiaco son los siguientes:

- **Sarcolema:** es la membrana plasmática de los cardiomiocitos y a su vez está envuelta por una lámina basal.
- **Mitocondrias (sarcosomas) y miofilamentos:** se encuentran formando haces y están estrechamente interrelacionadas. Los miofilamentos son el componente contráctil de los cardiomiocitos y se encuentran en una disposición paralela entre sí y conformando un patrón de bandas. Las mitocondrias son muy abundantes y están relacionadas con gotas lipídicas y glucógeno.
- **Sarcómero:** como se ha mencionado anteriormente, el sarcómero es unidad anatómica y funcional de la fibra muscular y su estructura es similar a la del tejido esquelético, sin embargo, en el tejido muscular cardiaco produce ramificaciones.
- **El sistema sarcotubular:** formado por los túbulos T, invaginaciones del sarcolema que envuelven a las miofibrillas cerca de los costámeros, y el retículo sarcoplasmático que sirve como red de anastomosis de los túbulos T. Los túbulos T son de gran tamaño y se encuentran dispuestos entre las fibras de manera regular. En el corazón, el túbulo T entra en contacto con un único retículo sarcoplasmático formando una diada, las cuales se encuentran localizadas en las inmediaciones de las bandas z cercanas a los sarcómeros (Fig. 29).^{5,11}

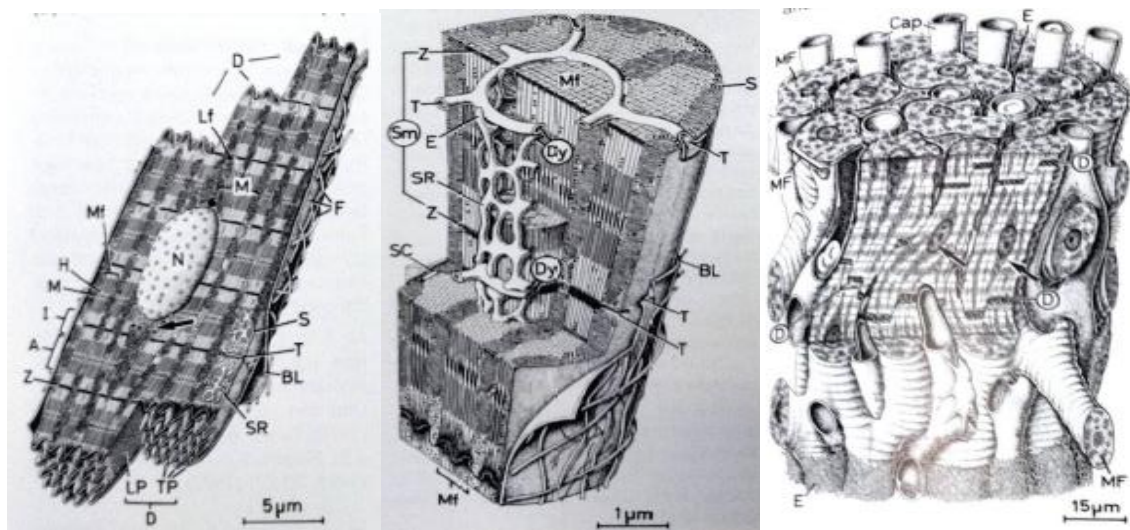


Figura 29. Esquemas de los distintos componentes del tejido muscular cardiaco en los que se puede visualizar: retículo sarcoplasmático (SR), sarcómero (Sm), miofibrillas (Mf), túbulos T (E), diadas (Dy), sarcolema (S), cisternas subsarcolémicas (SC), lámina basal (BL), bandas Z (Z), bandas A (A), banda I (I), banda H (H), discos intercalares (D), endomísio (E), capilares (Cap), núcleos (N), filamentos de actina (TP), gránulos de lipofuscina (Lf), mitocondrias (M) y fibras de colágeno (F).²⁸

ULTRAESTRUCTURA DEL TEJIDO MUSCULAR CARDIACO

A microscopia electrónica, en un corte longitudinal, se visualiza un patrón de bandas similar al del músculo esquelético formado por las miofibrillas. La célula mantiene su forma debido a filamentos intermedios y microtúbulos. Además, se pueden observar una gran densidad de mitocondrias entre las miofibrillas, gotas lipídicas y glucógeno dispersas en el sarcoplasma y junto el aparato de Golgi y en los polos de núcleos celulares y los discos intercalares estableciéndose como punto de conexión entre las distintas células.

Los filamentos de actina se encuentran unidos a las bandas Z delimitando cada sarcómero provocando la capacidad contráctil del mismo. Al igual que en el tejido muscular esquelético, el sistema sarcotubular sirve de apoyo a la contractilidad del músculo por intervenir en el acoplamiento de excitación-contracción de las miofibrillas.

Como apunte clínico, la miocardiopatía hipertrófica es una alteración del miocardio debido a mutaciones en los genes que codifican las proteínas del sarcómero como, por ejemplo, las troponinas cardiacas produciendo una contracción cardiaca deficiente. Estas contracciones anómalas provocan un engrosamiento de las paredes ventriculares, una desestructuración de las fibras

musculares cardiacas y una fibrosis variable en el intersticio lo que provoca mala conducción eléctrica (Fig. 30).⁵

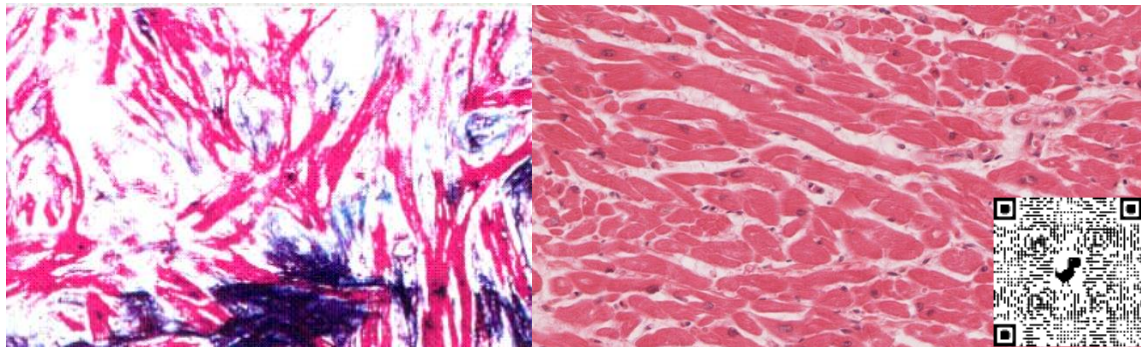


Figura 30. La imagen de izquierda es una micrografía de tejido muscular cardiaco teñida con H-E en la que se observa una fibrosis y desorganización de las miofibrillas de los miocardiocitos. La imagen de la derecha es una microscopia teñida con H-E de tejido muscular cardiaco en estado fisiológico.^{8,32}

Por otro lado, el infarto de miocardio es una patología cardiovascular debido a una falta de vascularización del músculo cardiaco que provoca una mala contractilidad y muerte de los cardiomiocitos. Los cambios en la estructura consisten en la ruptura del sarcolema, vaciado del glucógeno y muerte de las mitocondrias. Durante los primeros cinco días de evolución, en un corte histológico se puede observar un infiltrado inflamatorio de leucocito polimorfonucleares (neutrófilos). En la muerte celular de los cardiomiocitos se observan pérdida de forma de la célula, ausencia de estriaciones, bandas de contracción, condensación de la cromatina nuclear (picnosis) y fragmentación de los núcleos (cariolisis). Estos cambios estructurales provocan edema intersticial, hemorragia e infiltración por macrófagos, presencia de tejido de granulación en los vasos sanguíneos y fibrosis miocárdica (Fig. 31).⁵

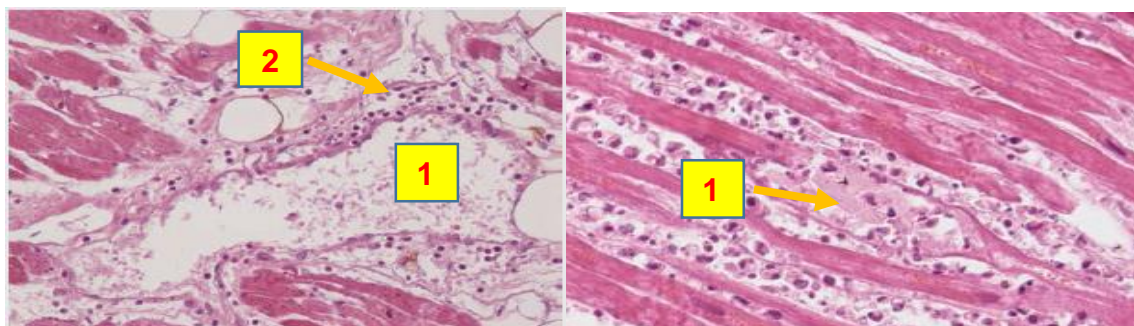


Figura 31. La imagen de la izquierda es una micrografía de tejido muscular cardiaco teñido con H-E en la que se aprecia una vénula intramiocárdica (1) de la que salen leucocitos polimorfonucleares al espacio intersticial (2). La imagen de la derecha es una micrografía de fibras musculares cardiacas teñida con H-E en la que se observa una zona central necrótica y los linfocitos destruyendo dicha zona.³³

CONCLUSIONES

El objetivo que persigue este trabajo es brindar a los alumnos de primer curso del Grado en Enfermería que cursen la asignatura de Biología un material de apoyo para el estudio de la histología, en referencia al tejido muscular, facilitando así la adquisición de conocimientos de manera adaptada a su nivel de estudios y con un texto contrastado científicamente.

Se ha generado un objeto de aprendizaje para apoyar al alumnado para que sea capaz de desarrollar las competencias propuestas en dicha asignatura mediante el estudio y comprensión de las imágenes incluidas en este atlas histológico. Además, gracias al uso del Microscopio Virtual de Michigan y otras plataformas digitales, puede ampliar sus conocimientos y destrezas adquiridas en las prácticas de laboratorio de la asignatura de Biología.

Dicho atlas pasará a formar parte del proyecto de innovación docente del departamento de Biología celular, Histología y Farmacológica de la Universidad de Valladolid estando a disposición de alumnos y profesores en la plataforma digital UVa Doc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Duarte, A. J. Historia de la Histología. Rev. med hondur, [internet]. 2015 [consultado el 28 de marzo de 2022]; 83(1-2): 77-80. Disponible en: <http://www.bvs.hn/RMH/pdf/2015/pdf/Vol83-1-2-2015-18.pdf>
2. Mejía D., Paredes F., Licona T. y Salinas L. Histología: desde su origen hasta la actualidad. [internet]. rceucs. 2019 [consultado el 28 de marzo de 2022].; 3(1):47- . Disponible en: <https://www.lamjol.info/index.php/RCEUCS/article/view/7025>
3. Historia del microscopio [Internet]. Mundo Microscopio. 2017 [consultado el 29 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.mundomicroscopio.com/historia-del-microscopio/>
4. Megías M, Molist P, Pombal MÁ. Atlas de Histología Vegetal y Animal [Internet]. Uvigo.es. [citado el 25 de abril de 2022]. Disponible en: https://mmegias.webs.uvigo.es/guiada_a_muscular.php
5. Ovalle WK, Nahirney PC. Netter. Histología Esencial: Con Correlación Histopatológica. 3a ed. Elsevier; 2021
6. López Serna N. Desarrollo de los músculos [Internet]. 2012. McGraw Hill. [citado el 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1476§ionid=95224165>
7. Roig-Vila R. Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Universidad de Alicante; 2018.
8. Christensen, K., Velkey, M., Stoolman, L., Hessler, L. y Mosley-Brower, D. Lista de diapositivas virtuales [Internet]. University of Michigan Medical School. 2021. Disponible en: <https://histology.medicine.umich.edu/full-slide-list>
9. Hilario E. Prácticas de Histología Humana [Internet]. 2007.[consultado el 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://web-argitalpena.adm.ehu.es/pdf/UWLGME7122.pdf>
10. Amaro JP. Laboratory methodology for the histological study of skeletal muscle [Internet]. Archivosdemedicinadeldeporte.com. [citado el 25 de abril de 2022]. Disponible en: http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/rev02_leiva.pdf
11. Carneiro J. Histología Básica. Masson; 2007

12. Fresquet JL. Louis-Antoine Ranvier (1835-1922) [Historiadelamedicina.org](https://www.historiadelamedicina.org) [Internet]. octubre de 2005 [consultado el 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.historiadelamedicina.org/ranvier.htm#:~:text=Ranvier%20tambi%C3%A9n%20estudi%C3%B3%20los%20tejidos,las%20c%C3%A9lulas%20del%20tejido%20conectivo>.
13. Navarro, C. El Musculo esquelético. ASEM. Junio del 2003;1–7
14. Serrano C. Tejido muscular [Internet]. Kenhub; 29 de mayo de 2021 [consultado el 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/musculos-y-tejido-muscular>
15. Vicente J. Ciencias básicas en ortopedia: forma y función del músculo esquelético. Bogotá: Universidad El Bosque; 2012.
16. Huamán Muñante J, Aliaga Chávez R, Grados Doroteo J, Huamán Junco G. Rbdomiosarcoma embrionario parameningeo en adulto. *An Fac Med* [Internet]. 2019 [citado el 27 de abril de 2022];80(3):358–361. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832019000300016
17. Organización del músculo esquelético: las fibras [Internet]. Elsevier Connect. 2019 [citado el 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/es-es/connect/medicina/edu-organizacion-del-musculo-esqueletico-las-fibras>
18. Villaro, A. Histología para estudiantes 1ª Edición. Editorial Panamericana S.A; 2021
19. Erazo-Torricelli R. Miopatías estructurales congénitas. *Rev Neurol* 2013;57(1): 53-64. DOI: 10.33588/rn.57S01.2013250
20. Castell, A. Tejido Muscular [Internet]. Unam.mx. [citado el 27 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/Doc/Tutorial/tejidos_archivos/Page825.html
21. Saavedra JS. Atlas de histología: biología celular y tisular 2º Edición. McGraw-Hill Interamericana de España S.L; 2015.
22. Mundo S, Montoro A, Vitale V, Kim A, Duchene A, Suranti A. Miastenia gravis adquirida generalizada en caninos y su presentación con miositis de músculos masticatorios. *Rev Med Vet.* 2019;(38):41-46. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.4>
23. Guyton AC, Hall J.E. Tratado de Fisiología Médica. 12 ed. Elsevier: 2011

24. Sahin S, Oncel MY, Bidev D, Okur N. Miopatía nemalínica tratada con L-tirosina para aliviar los síntomas en un recién nacido. Arch Argent Pediatr 2019;117(4):382-386.
25. Corsino E. Sistema muscular: Reposo. [Internet]. Saludmed. 2003 [citado el 27 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.saludmed.com/FisiolEj/MuscN.html>
26. Pérez Urías D., Lugo-Lugo O., Hernández-Almaraz P., Zenteno-Savín T. El músculo y su estructura. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (1): 1-15. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.01.0001>
27. Sadler TW. Lagman. Embriología médica. 8ª Edición. Bogota DC, Colombia: Panamericana Editorial Ltda; 2001.
28. Krstic R.V. Enciclopedia ilustrada de histología humana. Springer-Verlag. (1984)
29. Souki Chmeit R. Hipertensión porto-pulmonar. Avances Cardiol. 2009;29(2):179–186. Disponible en: https://svcardiologia.org/es/images/documents/Avance_Cardiologico/art_vol_29_2009/Vol_29_2_2009/14.SoukiR179186.pdf
30. de Fuentes Sagaz M. Santiago Ramón y Cajal y la cardiología. Rev Esp Cardiol. 2001; 54 (8): 933-937. Disponible en: <file:///C:/Users/albat/Downloads/13017001.pdf>
31. Gomez MG. Desarrollo embriológico y evolución anatomofisiológica del corazón. Rev. Mex. pediatría. 2012 .79 (2): 92-101.
32. Burgos Fleitas A, Cicono Garcia M, González G, Vega López C. Miocardiopatía hipertrófica: Revisión. Revista de Posgrado de la Cátedra VIa Medicina. 2001; 106:13–8. Disponible en: https://med.unne.edu.ar/revistas/revista106/miocardiopatia_hipertrofica_revisio_n.html
33. Cabrerizo Medina E., Villanueva de la Torre H., Salguero Villadiego M. Estudio histopatológico de la evolución temporal de las lesiones [Internet]. Cuad. med. Forense. 2015 [citado el 13 de mayo de 2022]; 21 (3-4): 127-134. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062015000200005&lng=es.](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062015000200005&lng=es)