

La histología de la inserción tendinosa

Dr. José Peña Amaro

Departamento de Ciencias Morfológicas. Área de Histología

Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. CÓRDOBA

Clásicamente el tendón viene definido como *tejido conjuntivo denso modelado*, caracterizado por tener células y fibras conjuntivas ordenadas en haces paralelos y muy juntas al objeto de proveer la máxima resistencia. A pesar de tratarse de estructuras duras e inextensibles, los tendones son flexibles.

En general se presentan como bandas o cordones conjuntivos que unen el músculo al hueso. Su relación con ambos se establece en dos regiones especializadas—la unión miotendinosa y la unión osteotendinosa – que concentran la mayoría de las lesiones deportivas.

Histología del tendón

Desde el punto de vista histológico el tendón es la forma más densa de tejido colagenoso con abundantes fibras de colágena (colágena tipo I) y muy escasos proteoglicanos y fibras elásticas.

Las **fibras de colágena** están constituidas por fibrillas de colágena de diámetro variable (60 nm-170nm), encontrándose fuertemente empaquetadas longitudinalmente ya que su orientación se corresponde con la dirección de tracción (figs 1 y 2). Aunque en muy baja proporción (1-2%) también se presentan fibras elásticas.

Las **células tendinosas**, tenocitos o tendinocitos son fibroblastos de morfología aplanada con prolongaciones delgadas “a modo de alas”; esta morfología se debe al hecho de encontrarse comprimidas entre las fibras de

colágena. Así, en los preparados histológicos de rutina, no se observan las extensiones citoplasmáticas quedando confundidas en la colágena y distinguiéndose únicamente los núcleos aplanados y basófilos de los tenocitos dispuestos en hileras (fig. 1).

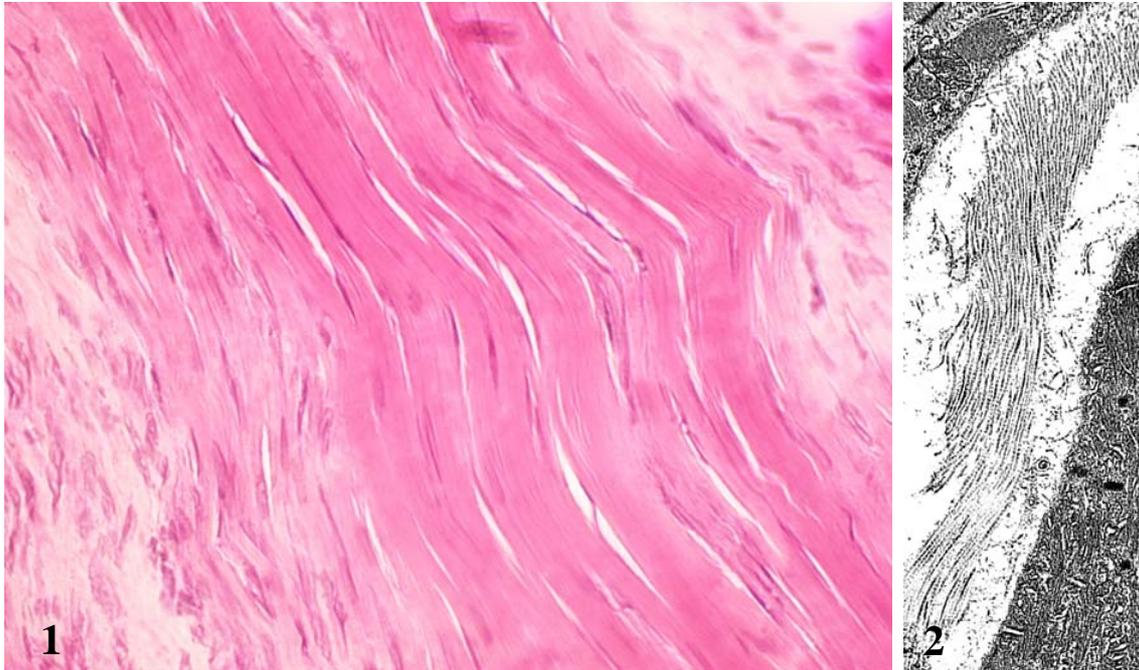


Fig. 1. *Sección longitudinal de un tendón; los núcleos aplanados corresponden a los tenocitos dispuestos entre los haces de fibras de colágena. Hematoxilina-eosina..*

Fig. 2.. *Haz de fibrillas de colágena. TEM.*

Presenta dos tipos de revestimientos: el **peritendón** interno y el externo. El peritendón externo, también denomina **epitendón**, rodea externamente al tendón, continuándose directamente con el epimisio. El peritendón interno o **endotendón** es un tejido conjuntivo laxo que subdivide en fascículos al tendón como consecuencia de la proyección hacia el interior de extensiones del epitendón.

Vainas tendinosas

En determinados sitios en los que los tendones sufren rozamiento contra el hueso u otras superficies, estos se encuentran envueltos por vainas. Se trata de un revestimiento consistente en una cubierta de dos capas: una externa de

tejido conectivo que se une a la estructuras adyacentes y otra interna íntimamente unida al tendón; se establece así un espacio ocupado por un líquido similar al líquido sinovial, que se encarga de lubricar el movimiento del tendón dentro de la vaina. La cubierta celular de revestimiento interno de las vainas es similar a la de la membrana sinovial articular, por lo que a la vaina tendinosa también se le denomina vaina sinovial.

Vascularización e inervación del tendón

Mientras que en el desarrollo embriológico, los tendones son más celulares, el riego sanguíneo es más abundante para favorecer la síntesis y secreción de colágena. Una vez formados los tendones, la baja densidad celular del tendón, junto a sus bajos requerimientos de oxígeno y nutrientes, determinan su limitada vascularización. Esto ocasiona que tras un traumatismo, los tendones cicatricen con gran lentitud. Los pequeños vasos y nervios del tendón se encuentran contenidos en el endotendón.

Los llamados *órganos, corpúsculos o husos neurotendinosos o tendinosos de Golgi*, son receptores propioceptivos que responden frente a las variaciones de tensión ejercidas por los músculos sobre los tendones.

Son estructuras cilíndrica encapsuladas de un tamaño similar a los husos neuromusculares (1mm de largo y 0.1 mm de diámetro), que se encuentran ubicados en la vecindad de la unión miotendinosa. Se encargan de captar la información relativa a la diferencia de tensión transmitiéndola hacia el sistema nervioso central, donde es procesada para la coordinación de la intensidad de las contracciones musculares. De esta manera proporcionan una retroalimentación inhibitoria a la neurona motora α del músculo, lo que tiene como resultado la relajación del tendón del músculo en contracción.

Están formados por un pequeño fascículo de fibras de colágena onduladas del tendón encerradas en una cápsula de colágena revestida por varias capas de células aplanadas que se continua con las células perineurales que recubren a la fibras nerviosas aferentes; el nervio sensitivo

mielínico al atravesar la cápsula pierde la mielina dando lugar a ramificaciones nerviosas amielínicas dispuestas entre las fibras de colágeno. En el músculo relajado se abren los espacios situados entre las fibras de colágena del tendón, reduciendo la presión sobre los terminales nerviosos; cuando el músculo se contrae los haces de de colágeno se juntan comprimiendo las terminaciones nerviosas.

Histología de la unión miotendinosa (UM)

Las uniones miotendinosas son regiones especializadas donde las fibras musculares se unen a las fibras de colágena del tendón (figs. 3 y 4) , en las que las fuerzas son transmitidas entre las miofibrillas y la matriz extracelular. La zona de transición que abarca la UM cubre una longitud de 100 a 200 μm . Evidentemente se trata de una zona especializada de la fibra muscular que requiere de una estabilidad estructural extrema, lo que determina sus características microscópicas.

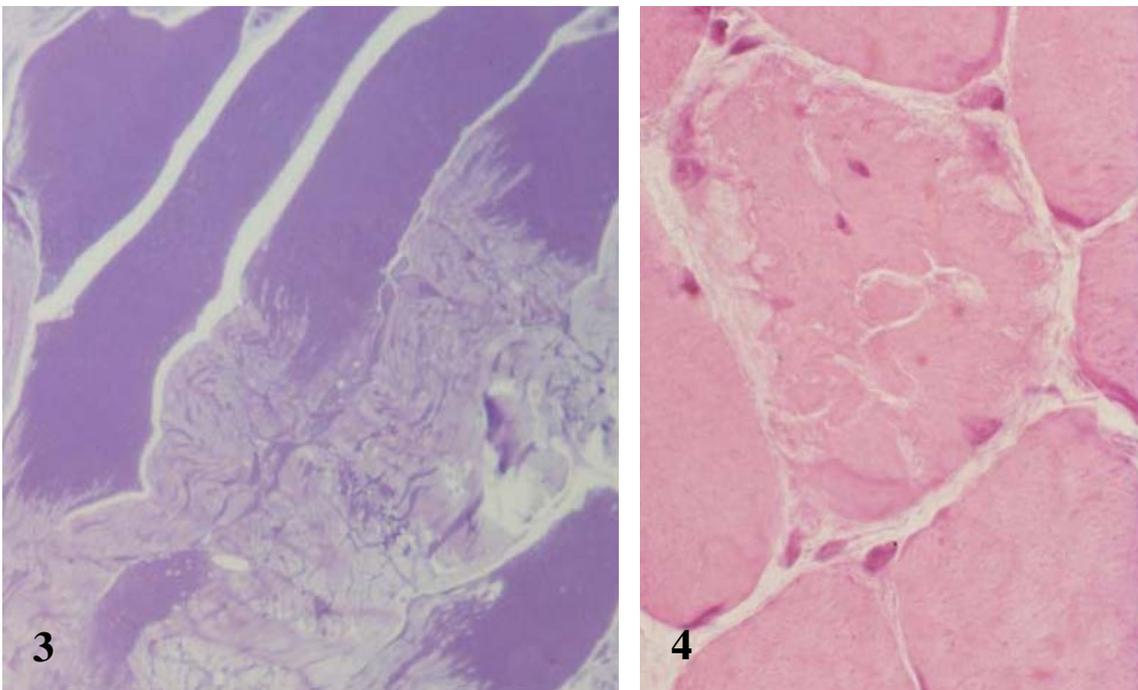


Fig 3. Corte semifino de una región miotendinosa en la que se aprecian varias fibras musculares en sección longitudinal, teñidas de azul, mientras que el tendón muestra tinción pálida; las zonas de contacto muestran un patrón de interdigitación. Azul de toluidina.

Fig. 4. *En el centro, una fibra muscular cortada transversalmente a nivel de la zona de unión miotendinosa. Es normal que la fibra muscular presente hendiduras y núcleos internalizados. Hematoxilina-eosina.*

En microscopía óptica resulta prácticamente imposible apreciar los rasgos estructurales de la UM; si es posible, en cambio hacerlo en microscopía electrónica en secciones longitudinales. Ultraestructuralmente el extremo de la fibra muscular muestra evaginaciones e invaginaciones digitiformes de la membrana plasmática a las que se adapta la lámina basal configurando un aspecto irregular en “dientes de sierra” (fig. 5). En la cara interna de la membrana plasmática de la fibra muscular se observan las placas de adhesión (material de línea Z) es las que se insertan los filamentos de actina de la primera sarcómera de las miofibrillas; en esta conexión entre citoesqueleto y matriz extracelular las integrinas desempeñan un papel fundamental junto con otras proteínas como vinculina, talina, tenascina C. El sarcoplasma de las fibras musculares en esta región contiene numerosos ribosomas y polisomas.

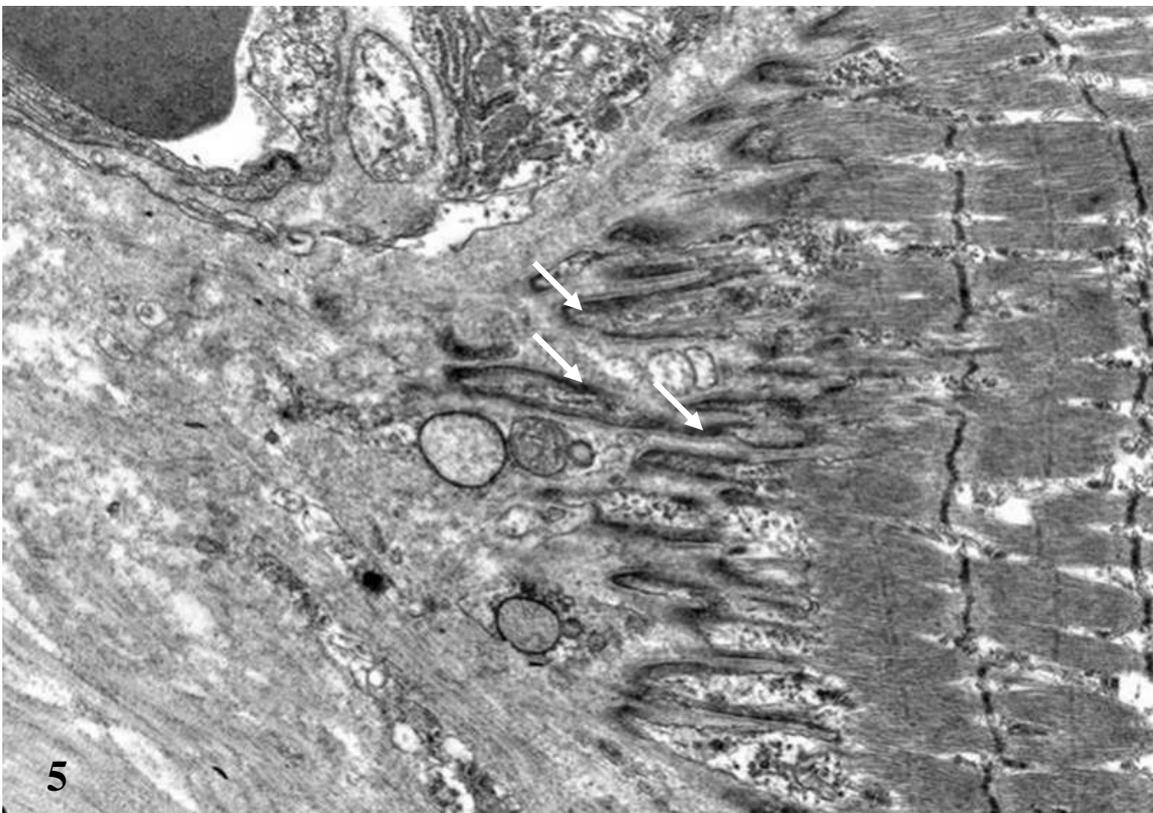


Fig. 5. *Invaginaciones profundas a nivel del extremo final de la fibra muscular, entre las cuales se introducen las fibrillas de colágena. En las proyecciones digitiformes de la superficie de fibras se pueden ver la mayor electrodensidad de las placas de adhesión (flechas). MET.*

En la región de UM es normal encontrar variabilidad en el tamaño de las fibras musculares además de fibras musculares con núcleos internalizados y fisuras internas consecuencia de las proyecciones digitiformes de la fibra hacia el tendón (fig.4); también se han descrito en las fibras musculares de esta región duplicación de líneas Z, formación de leptómeras, cuerpos nemalínicos y granos de lipofucsina . Estos rasgos histológicos, que en esta región son normales, pueden ser malinterpretados como cambios patológicos. Por esta razón, entre otras, las biopsias musculares deben ser siempre obtenidas del vientre muscular, evitando biopsiar las regiones miotendinosas; esto explica, además, que no existan datos publicados sobre reacciones patológicas a nivel de la UM.

En las UMs las miofibrillas de las fibras musculares se añaden o suprimen en respuesta a cambios en la longitud durante el crecimiento muscular o de variaciones o modificaciones en su utilización. Por otro lado, la tenotomía, un fenómeno común que puede resultar de traumatismos, procesos degenerativos o manipulación quirúrgica, ocasiona cambios importantes en el músculo esquelético como atrofia y lesiones *core-targetoides*, cambios estos que parecen ser expresión de un proceso de remodelación del tejido muscular esquelético.

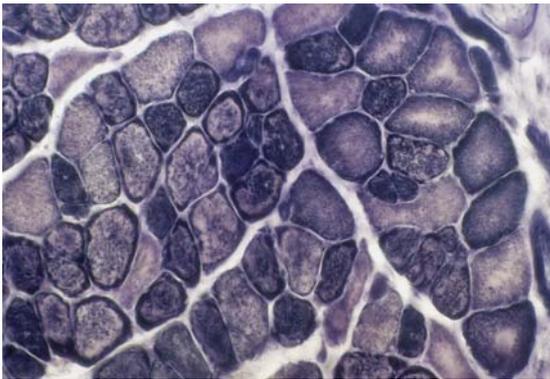
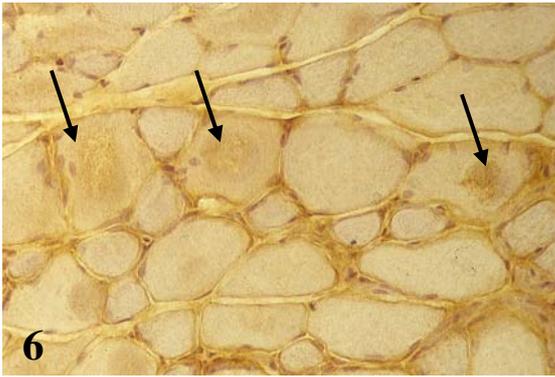


Fig. 6. *Músculo tenotomizado en el que se observan fibras atróficas que alterna con otras en la son evidentes lesiones tipo core (flechas). Antidesmina.*

Fig. 7. *Músculo tenotomizado mostrando variabilidad en el tamaño de las fibras musculares junto con alteraciones tintoriales indicativas de cambios citoarquitecturales. NADH-tr.*

Histología de la unión osteotendinosa

Los lugares de inserción de los tendones y ligamentos al hueso, uniones osteotendinosas y osteoligamentosas respectivamente, son conocidas como **entesis**. Desde un punto de vista histológico Benjamín et al (2006) distinguen dos categorías: entesis fibrosa y entesis fibrocartilaginosa en función al tipo de tejido que se presenta en la zona de unión.

Las fibras de colágena del tendón se irradian hacia el interior de hueso (fig. 8), fusionándose por un lado con las fibras de colágena del periostio y, de otro, mediante fibras de colágena más gruesas y robustas, denominadas fibras de Sharpey, que se introducen en ángulo más profundamente en la corteza

ósea (fig. 9). En este territorio se observa cartílago fibroso que se mineraliza en su proximidad al hueso; este hecho pone de manifiesto la potencialidad de las células del periostio para transformarse en células condroprogenitoras y osteoprogenitoras. La superficie ósea es rugosa en la zona de inserción del tendón.

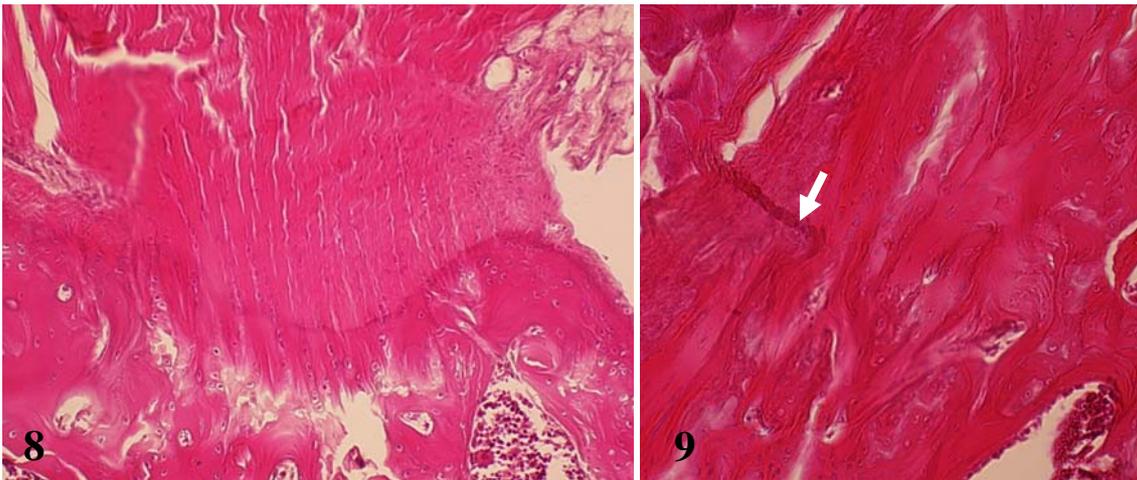


Fig. 8. *Unión osteotendinosa (entesis) con evidencia de fibrocartílago. Hematoxilina-eosina.*

Fig. 9. *Unión osteotendinosa sin evidencia de fibrocartílago; la flecha indica una fibra de Sharpey introduciéndose profundamente en la inserción ósea. Hematoxilina-eosina..*

Regeneración e ingeniería tisular en tendón y sus inserciones

Larkin et al (2006) han desarrollado constructos 3D músculo-tendón que muestran una interrelación estructural capaces de soportar fuerzas de tensión. Con microscopía electrónica se ha podido comprobar que estas zonas de interacción entre músculo y tendón obtenidas por ingeniería tisular se asemejan ultraestructuralmente con las uniones miotendinosas durante el desarrollo fetal (Kostrominova et al, 2009).

Por otro lado, es interesante señalar que en un estudio en el que se empleó una población pura de mioblastos (C₂C₁₂) para la construcción de un músculo bioartificial, se observaron uniones miotendinosas que fueron puestas de manifiesto por microscopía electrónica e inmunohistouímica (detección de paxilina, una proteína de adhesión focal en la región miotendinosa) (Rhim et al, 2007); para estos autores los mioblastos o los miotubos multinucleados sintetizaron, presumiblemente, las fibrillas de colágeno I en esas incipientes regiones de unión miotendinosa sin ayuda de fibroblastos.

Bibliografía

Benjamín M., Toumi H, Ralphs J.R., Vides G, Best T.M., Milz S. *Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites (“entheses”) in relation to exercise and/or mechanical load.* **Journal of Anatomy**, 208: 471-490. 2006

Lieber R.L., Friden J. *Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture.* **Muscle & Nerve**, 23: 1647-1666. 2000

Luque E., Jimena I., Noguera F., Jiménez-Reina L. and Peña J. *Effects of tenotomy on regenerating anterior tibial muscles in rats.* **Basic & Applied Myology**, 12: 203-208 2002

Peña J., Luque E., Noguera F., Jimena I. and Vaamonde R. *Experimental induction of ring fibers in regenerating skeletal muscle.* **Pathology Research & Practice**, 197: 21-27. 2001

Peña J., Luque E., Jimena I., Noguera F. and Vaamonde R. *Abnormalities in tenectomized muscle fiber repair.* **European Journal of Anatomy**, 11: 37-45. 2007

Richardson L.E., Dudhia J, Clegg P.D., Smith R. *Stem cells in veterinary medicine attempts at regenerating equine tendon after injury.* **Trends in Biotechnology**, 25: 409-416. 2007

Kostrominova TY, Calve S, Arruda EM, Larkin LM. *Ultrastructure of myotendinous junctions in tendon-skeletal muscle constructs engineered in vitro.* **Histology & Histopathology**, 24: 541-550. 2009

Larkin LM, Calve S, Kostrominova TY, Arruda EM. *Structure and functional evaluation of tendon-skeletal muscle constructs engineered in vitro.* **Tissue Engineering** , 12: 3149-3158. 2006

Okahashi K, Sugimoto K, Iwai M, Oshima M, Samma M., Fujisawa Y, Takakura Y. *Regeneration of the hamstring tendons after haverting for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a histological study in 11 patients.* **Knee Surg Sports Traumatol Artrosc**, 14: 542-545. 2006

Rhim C, Lowell DA, Reddy MC, Slentz DH, Zhang SJ, Kraus WE, Truskey GA. *Morphology and ultrastructure of differentiating three-dimensional mammalian skeletal muscle in a collagen gel.* **Muscle & Nerve**, 36: 71-80. 2007