

# Tendón de Aquiles y su Estudio Ultrasonográfico; Más Allá de sus Alteraciones Inflammatorias

ALEJANDRO ROMERO-BARAJAS,<sup>(1)</sup> LUCIO VENTURA-RÍOS,<sup>(2)</sup> CARLOS PINEDA,<sup>(3)</sup> CRISTINA HERNÁNDEZ-DÍAZ.<sup>(4)</sup>

\*en nombre del Grupo de Estudio de Ecografía PANLAR.

## Achilles Tendon and Ultrasound Study; Beyond their Inflammatory Disorders

### Summary

*The Achilles tendon is formed by the union of the soleus and gastrocnemius tendons, its function is to perform plantar flexion. The prevalence of its injury is unknown, but has a multifactorial etiology and occurs most frequently in male than female by a 3:1 ratio, mostly between the fourth and fifth decades of life. The mechanisms of injury include increased weight bearing with the knee in extension, sudden and violent dorsiflexion, and direct trauma. With ultrasound tendon ruptures, complete or partial, Achilles tendinopathy and postoperative changes unrelated to inflammatory process are detected. Ultrasound is a safe imaging technique, low-cost and can be performed in real time, with good rates of sensitivity and specificity compared to other techniques.*

**Keywords:** Achilles tendon, ultrasonography.

### Resumen

*El tendón de Aquiles está formado por la unión de los tendones de los músculos sóleo y gastrocnemio, cuya función es realizar flexión plantar. La prevalencia de su lesión es desconocida, su etiología es multifactorial, y se presenta con mayor frecuencia en el género masculino que en el femenino en una proporción de 3:1, entre la cuarta y quinta décadas de la vida. Los mecanismos de lesión incluyen incremento en el soporte de peso con la rodilla en extensión, dorsiflexión súbita y violenta y trauma directo. Con la US se detectan rupturas del tendón de Aquiles completas o parciales, tendinopatía y cambios postoperatorios no relacionados a proceso inflamatorio; la US es un método inocuo, de bajo costo y se realiza en tiempo real; tiene buena sensibilidad y especificidad.*

**Palabras clave:** Tendón de Aquiles, ultrasonografía.

## INTRODUCCIÓN

### Reseña histórica

El nombre del tendón se origina en la mitología griega. Aquiles, hijo de Peleo y Tetis, quien deseaba que fuera invulnerable, por lo que lo sumergió en el río Estigia (río del odio), que separa el mundo de los vivos del de los muertos; al sumergir a Aquiles, su talón quedó seco,

ya que de ahí lo mantenía asido y por lo tanto, el calcáneo sin protección. En la guerra contra los troyanos, una flecha lanzada por Paris, un gran guerrero cuyo arco en esta ocasión estaba guiado por Apolo, hirió a Aquiles en el talón. Aquiles murió de la herida. <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Rehabilitador, rotación en Laboratorio de Ultrasonido Musculoesquelético y Articular, Instituto Nacional de Rehabilitación, México,

<sup>(2)</sup> Investigador en Ciencias Médicas "C", Laboratorio de Ultrasonido Musculoesquelético y Articular, Instituto Nacional de Rehabilitación, México, <sup>(3)</sup> Director de Investigación, Instituto Nacional de Rehabilitación, México, <sup>(4)</sup> Jefe de Servicio, Laboratorio de Ultrasonido Musculoesquelético y Articular, Instituto Nacional de Rehabilitación, México

## Epidemiología de las lesiones del tendón de Aquiles

El tendón de Aquiles es uno de los tendones que más se lesionan. La prevalencia de la lesión es desconocida por su etiología multifactorial, aunque cuando se consideran las rupturas (parciales o completas) es de 10 a 37 por cada 100.000 personas como consecuencia del sobreuso, <sup>(1-4)</sup> y se presenta con mayor frecuencia en el género masculino que en el femenino en una proporción de 3:1, <sup>(5-6)</sup> entre la cuarta y quinta décadas de la vida. En un estudio sobre propiedades mecánicas del tendón, Wren y colaboradores describieron una media de edad para lesiones tipo avulsión de 57 años y compromiso intrasustancia de 56,8 años en un estudio sobre propiedades mecánicas del tendón. <sup>(7-8)</sup> La incidencia de las lesiones continúa en ascenso, y actualmente es seis veces más frecuente que en 1994. Las rupturas ocurren frecuentemente en personas sedentarias y obesas o en aquellas que realizan actividad física intensa de forma intermitente; su lesión causa discapacidad y dolor severo y persistente. En cerca del 20% de los casos de ruptura parcial, ésta no se diagnostica, de acuerdo a lo reportado en la literatura. <sup>(7-10)</sup>

Los mecanismos de lesión incluyen incremento en el soporte de peso con la rodilla en extensión, dorsiflexión súbita y violenta y trauma directo. <sup>(10)</sup> Algunas lesiones por sobreuso son atribuidas a cambios en la actividad, tales como cambio abrupto en la duración e intensidad del entrenamiento físico. En ambos casos la lesión parece ser consecuencia de la incapacidad del tendón para soportar la carga mecánica asociada con el incremento en la actividad física o asociada a entesopatía. <sup>(7-9, 11, 12)</sup>

Es difícil determinar la localización inicial del compromiso en el tendón de Aquiles, pero se ha descrito que la porción distal es la más comprometida en forma parcial e intrasustancia, debido a que el tendón tiene su menor grosor en esta región. <sup>(7)</sup> La mayoría de las rupturas del tendón se producen aproximadamente de 3 a 6 cm proximales a su inserción en el calcáneo, un área anatómica que soporta grandes cargas excéntricas y además se encuentra poco vascularizada. El dolor es el síntoma principal, se localiza en el aspecto posterior del talón (talalgia), tiene un origen multifactorial e incluye paratendinitis, tendinitis, tendinosis con ruptura parcial, entesitis y bursitis. Cada una de estas entidades es distinta, pero con frecuencia ocurren en combinación. <sup>(11, 13)</sup>

## Anatomía funcional y propiedades mecánicas

El tendón de Aquiles es un tendón formado por la unión de los tendones de los músculos sóleo y gastrocnemio, cuya función es realizar flexión plantar. Se inserta sobre el tercio distal y medial del aspecto posterior del calcáneo; y algunas fibras se continúan plantarmente para insertarse a nivel de la aponeurosis; algunas de ellas giran a medida que descienden hasta alcanzar una inserción posterolateral, y las fibras del sóleo se rotan a una posición distal anteromedial. <sup>(14)</sup> El tejido tendinoso se mezcla con el músculo en su origen y en su inserción se une al hueso. La unión miotendinosa y la unión osteotendinosa son con frecuencia puntos críticos o vulnerables donde se desarrollan lesiones. <sup>(3)</sup> La unidad miotendinosa ejecuta una función activa que es la contracción, la cual puede ser aprovechada e influenciada para producir un movimiento más suave y fisiológico. De forma característica el tendón de Aquiles tiene un paratenon bien identificable. <sup>(8-15)</sup>

Abdel-Ghany y colaboradores estudiaron las características anatómicas e histológicas del tendón de Aquiles, destacando las propiedades mecánicas e insercionales del tendón. La inserción distal en el 72 % de los casos se realiza en el medio de la cara posterior del calcáneo; en el 12 % de los casos, el tendón se inserta en la parte posterior del calcáneo y se continúa con la aponeurosis plantar. Un hallazgo interesante fue encontrado en el 8% de los casos, donde el tendón era continuo con la aponeurosis plantar, dando origen al músculo abductor pollicis; además, dio una prolongación que se unió a la aponeurosis plantar y se extendió a la tuberosidad del hueso navicular. En todos los casos había una bursa que interviene entre el tendón y la parte superior del aspecto posterior del calcáneo. <sup>(11)</sup>

El término “entesis como órgano” ha sido acuñado para describir el lugar de inserción del tendón, junto con la bursa y sus paredes. Benjamin y McGonagle <sup>(16)</sup> describieron que la “entesis” abarca colectivamente un tendón, ligamento o cápsula articular y su fijación al hueso. Un “entesis verdadera” es, entonces, una colección de tejidos afines que actúan en conjunto para proteger del desgaste tanto al tendón como al hueso. <sup>(16-18)</sup> Estos tejidos incluyen un fibrocartilago en la unión osteotendinosa, un fibrocartilago sesamoideo en la superficie profunda del tendón, y un fibrocartilago perióstico que cubre la tuberosidad del calcáneo. <sup>(11)</sup> Este fibrocartilago

desarrolla un papel protector del tendón, con respecto a la compresión en diferentes focos. <sup>(17)</sup> Shaw y Benjamin demostraron que las entesis son regiones de alta concentración de fuerzas, y que las entesis fibrocartilaginosas garantizan que la tensión se disipe fuera de la interfaz osteotendinosa. <sup>(18)</sup> Existe una estrecha relación entre la forma y la posición de los fibrocartílagos sesamoideos y el periostio, probablemente debido a su interdependencia funcional. El primero protege el tendón de la compresión durante la dorsiflexión y el último protege la tuberosidad superior del calcáneo. Cuando la zona de fibrocartilago, entesis calcificada y el hueso subcondral se analizan en 3D, las reconstrucciones muestran que hay un patrón complejo de enclavamiento entre las piezas de fibrocartilago calcificado y hueso en el sitio de inserción. Se atribuye una importancia fundamental a este anclaje del tendón al hueso, pues evita que muchas fibras de colágeno pasen a través del límite de tejido de tendón al hueso. Por otro lado, la patología de base inflamatoria que compromete la inserción del tendón de Aquiles (porción fibrocartilaginosa) puede alterar la adecuada distribución de cargas. <sup>(11, 17, 18)</sup> El estudio del tendón de Aquiles y sus variaciones insercionales con sus fibrocartílagos puede ser de ayuda para aclarar el patrón de cargas y tensiones al cual es sometido, especialmente las concentradas en las entesis, y explicar la patología de la tendinopatía insercional y su asociación con la talalgia, que es altamente incapacitante. <sup>(11)</sup>

### Fisiología y fisiopatología del tendón

La función fisiológica del tendón fue descrita extensamente por Leo Mayer en 1916 y desde entonces existe poca información adicional sobre el funcionamiento básico de esta estructura. <sup>(8,15)</sup> Los tendones están compuestos por tejido conectivo especializado, poco elástico, con una fuerza tensil similar a la del acero inoxidable, <sup>(3, 14, 15)</sup> dada por la presencia de colágena (principalmente colágena tipo I) y elastina incrustada en una matriz de proteoglicanos que interactúan con agua, formando una sustancia gelatinosa con función de cementación entre las fibrillas y la colágena. <sup>(4)</sup> Estos elementos son producidos por los tenoblastos y los tenocitos, y están organizados en un esquema jerárquico complejo para formar una adecuada estructura tendinosa. <sup>(4, 8)</sup> Además las moléculas de tropocolágeno solubles forman enlaces cruzados para crear moléculas de colágeno insolubles, que luego se agregan progresivamente en microfibrillas para después convertirse en uni-

dades visibles, denominadas fibrillas de colágena. <sup>(4, 8)</sup> La elastina es una sustancia elástica que forma un pequeño componente de los tendones rodeados por una vaina (paratenon) de tejido conectivo areolar laxo, lo que facilita el deslizamiento sobre las estructuras contiguas, en lugares que implica fuerzas de alta fricción. Los tendones están rodeados por una vaina adicional denominada epitenon, y es una capa de tejido sinovial que produce líquido de lubricación, tiene una porción celular compuesta por fibroblastos que sintetizan y mantienen las fibras y la matriz extracelular. <sup>(3, 14)</sup> La matriz extracelular facilita el metabolismo de los tejidos y proporciona apoyo, amortiguación y flexibilidad; también disminuye la fricción, atrae y retiene el agua. El porcentaje variable de unión de la proteína al agua contenida en la matriz extracelular afecta el nivel de hidratación del tejido tendinoso. <sup>(3, 14)</sup>

### Biomecánica

Su función principal es la de transmitir las fuerzas de los músculos a los huesos y la fascia. Debido a su disposición fibrilar paralela, los tendones están estructuralmente adaptados para resistir las cargas de tracción. <sup>(3)</sup> Los tendones pueden recuperar su forma original después de la deformación o después de la eliminación de la carga de deformación. <sup>(19)</sup> Cuando los tendones están sometidos a fuerzas repentinas, prolongadas o excesivas, los límites elásticos del tejido pueden ser excedidos y el tejido entra en el rango de “plástico”. En la gama plástica este tejido se deforma permanentemente y ya no es capaz de volver a su estado original después de la eliminación de la fuerza de deformación.

El término “carga” se refiere a una fuerza externa aplicada a una estructura, en este caso el tendón. Dos factores principales determinan la respuesta a la carga de un tendón, su tamaño y forma, y la velocidad de carga. Cuanto mayor es el número de fibras que están orientadas en la dirección de la carga, y más gruesas son esas fibras, más fuerte es el tendón. Estas estructuras presentan un aumento de la fuerza y la rigidez (resistencia al movimiento). <sup>(3)</sup>

Los tendones tienen una combinación muy equilibrada de fragilidad (resistencia a la fuerza sin tener una gama de “plástico”) y ductilidad (capacidad de deformación sin fallo). Diferentes valores para un punto de fallo se dan en muchas referencias, pero en términos generales se afirma que los haces de fibras de colágeno alcanzan un punto de falla después de exceder un alargamiento entre

6% al 15%.<sup>(3, 14)</sup> Los tendones tienen un alto grado de resiliencia, es decir, la capacidad para absorber y almacenar energía de deformación dentro de la gama elástica, y luego volver fácilmente a la dimensión original y liberar la energía.

Cuando los tendones son sometidos a inmovilización prolongada, se desorganiza la disposición paralela de sus fibras y disminuye el contenido de agua y proteoglicanos.<sup>(3, 14)</sup>

Los programas de ejercicio para promover la recuperación de una lesión tendinosa ponen énfasis en que la degeneración y su reversión son importantes. El ejercicio puede ser beneficioso para promover la síntesis de colágeno, remodelación y la resistencia a la tracción. El ejercicio excéntrico genera tensión del tejido, alargando la unión miotendinosa. La contracción excéntrica es más eficiente que la concéntrica al producir alargamiento y no acortamiento de la fibra; adicionalmente el músculo utiliza menos energía y se recupera más rápidamente.<sup>(3, 20)</sup>

### Ultrasonido (US) del tendón de Aquiles

La ruptura aguda del tendón de Aquiles es clínicamente fácil de identificar; sin embargo, las lesiones crónicas o complejas no; el US es una herramienta útil y sensible al momento de diagnosticar estas lesiones y complementar el examen clínico inicial. Con el US se detectan lesiones crónicas, como rupturas completas o parciales del tendón de Aquiles, tendinosis y cambios postoperatorios, así como anomalías de estructuras adyacentes al tendón; el retraso o no de realizar un adecuado diagnóstico de ruptura del tendón puede dar un resultado catastrófico con morbilidad significativa para el paciente. La sensibilidad y especificidad del US para la ruptura del tendón de Aquiles son de 96% a 100%, y de 83% a 100%, respectivamente.<sup>(10, 21, 22)</sup>

### Anatomía sonográfica del tendón de Aquiles normal

En el eje largo o corte longitudinal el tendón de Aquiles normal se observa como una fina y compacta red de fibras paralelas de ecogenicidad homogénea, cuyo espesor es ligeramente más grueso en el extremo distal, pero con disminución progresiva del espesor al extremo proximal, donde se convierte en una aponeurosis delgada entre el músculo sóleo y los vientres del gastrocnemio. El espesor máximo del tendón se ha estimado en 6,3 mm

± 0,5 mm en los adultos de 18 a 30 años, y de 6,9 ± 1,0 mm en los adultos mayores de 30 años. En el eje corto o corte transversal el tendón de Aquiles es ovoide o redondeado, con un patrón interno fibrilar paralelo hiperecico; es un tejido altamente anisótropo,<sup>(1, 23)</sup> por lo que a nivel insercional su apariencia puede cambiar normalmente. El paratenon, que rodea el tendón de Aquiles, se demuestra como una línea de reflexión alrededor del tendón. La bursa retrocalcánea normal puede ser vista como una capa delgada de fluido. Las paredes normales de las bursas son demasiado delgadas para ser identificadas por US. En el aspecto ventral del tendón está la almohadilla de grasa de Kager, identificada como una estructura moderadamente ecogénica e irregular.<sup>(5, 23)</sup> En el tendón normal, la señal Doppler de color no muestra los vasos sanguíneos; por lo general, unos pocos y pequeños pueden ser vistos en el tejido de la almohadilla de grasa de Kager.<sup>(1)</sup> (Figura 1)

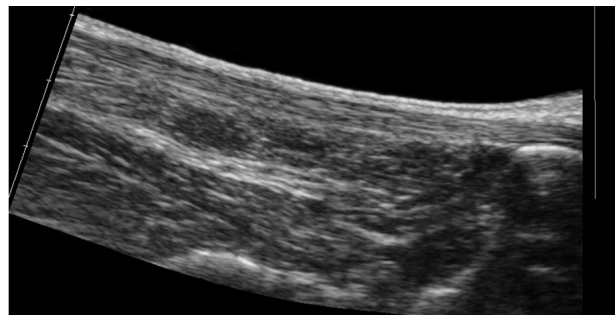


Figura 1. Imagen panorámica de un tendón de Aquiles normal.

### US en el tendón patológico

El ultrasonido puede detectar los cambios agudos y crónicos de la estructura tendinosa, así como del paratenon y las estructuras vecinas; las lesiones más importantes son la tendinopatía, tenonitis y rupturas. En los casos crónicos el US puede detectar el proceso cicatrizal, nuevos procesos inflamatorios y los cambios relacionados con el tratamiento. En general, estos cambios se observan en las zonas insercionales o no insercionales, y están asociados al mecanismo de lesión. En la tendinopatía crónica la porción media del tendón se observa engrosada; en la vista longitudinal, éste tiene forma de carrete o el tendón se ve engrosado en toda su longitud. En la vista transversal, es redondeado y exhibe regiones hipoecogénicas focales difusamente delimitadas, y es difícil realizar una medición exacta del tamaño de

éstas. <sup>(21, 23)</sup> Las regiones hipocóicas en el interior del tendón están probablemente correlacionadas con un aumento en la cantidad de glucosaminoglicanos, lo cual ha sido evidenciado en biopsias del músculo. <sup>(24)</sup> En un caso de tendinopatía distal, el tendón aumenta su grosor, y la ecoestructura es irregular. Las fibras del tendón tienen una estructura irregular, desorganizada, y están separadas por zonas hipocóicas.

Se puede encontrar distensión o aumento de volumen del tejido subcutáneo o de la bursa retrocalcánea asociado al engrosamiento de sus paredes e incremento del contenido líquido. Con frecuencia es más difícil de visualizar el tejido anterior al tendón distal después de un procedimiento quirúrgico; por lo tanto, la frecuencia del transductor debe ser reducida para mejorar la visualización. Es común encontrar calcificaciones (zonas hiper-ecogénicas) dentro del tendón de Aquiles, distales a la inserción en el calcáneo. <sup>(21, 23)</sup>

La escala de grises puede ser usada para estudiar prospectivamente el espesor del tendón y su ecoestructura, también el tratamiento de rehabilitación con entrenamiento excéntrico, el cual puede inducir una disminución localizada del espesor en la porción media del tendón de Aquiles, signo de una estructura “normalizada” y que algunos autores asocian con alivio del dolor. <sup>(23)</sup> La ausencia de señal Doppler de poder (DP) en estos procesos parece estar relacionada con un adecuado desenlace clínico. En la ruptura completa el examen ecográfico revela una interrupción completa (grosor total) de la apariencia fibrilar del tendón con retracción de los extremos. <sup>(5, 21)</sup> El espacio entre los extremos del tendón puede ser ocupado por hematoma y otros tejidos blandos; con pruebas dinámicas en la evaluación ultrasonográfica se hace evidente la separación del borde distal del tendón. <sup>(10)</sup> Las rupturas de espesor completo por lo general ocurren en los tendones enfermos, pero frecuentemente hay un desencadenante agudo en la historia. La tendinopatía insercional es poco común, pero puede ser vista en el contexto de artropatías inflamatorias o ser consecuencia de un calzado mal ajustado <sup>(5, 25)</sup> (Figura 2).

## CONCLUSIONES

El tendón de Aquiles es uno de los tendones que más se lesionan como consecuencia del sobreuso. Cerca del 20% de los casos de ruptura no se diagnostican y su lesión no siempre es evidente clínicamente. Las anomalías del tendón pueden ser difíciles de diagnosticar



**Figura 2. Imagen A:** panorámica del tendón de Aquiles que muestra ruptura parcial en la región preinsercional (flecha blanca) asociada a desgarramiento del músculo sóleo. **Imagen B:** panorámica del tendón calcáneo con áreas hipocóicas más definidas y ruptura posterior a tratamiento quirúrgico (cabeza de flecha).

clínicamente y determinar la localización, pero se ha descrito que la porción distal es la más comprometida.

Con el US se detectan rupturas del tendón de Aquiles completas o parciales, tendinopatía y cambios postoperatorios, debido a que el US es el mejor método de imagen para evaluar tendones. Adicionalmente es un método inocuo, de bajo costo y se realiza en tiempo real; tiene buena sensibilidad y especificidad. La escala de grises y el Doppler color son herramientas ultrasonográficas que proporcionan información importante en la patología del tendón de Aquiles; el grosor, ecoestructura, ecogenidad y la positividad Doppler son parámetros ultrasonográficos que deben ser tomados en cuenta en el contexto de una lesión.

## GRUPO DE ESTUDIO DE ECOGRAFÍA PANLAR

\*Aliste Marta (Chile), Alva Magaly (Perú), Areny Roser (Chile), Audisio Marcelo (Argentina), Bertoli Ana (Argentina), Bouffard José Antonio (EE.UU.), Cerón Carmen (Colombia), Chávez-López Mario (México), Díaz-Coto José Francisco (Costa Rica), Duarte Margarita (Paraguay), Filippucci Emilio (Italia), Flores Víctor (EE.UU.), González-Sevillano E (Ecuador), Gutierrez Marwin (Italia), Hernández-Díaz Cristina (México), Herrera Maynor (Guatemala), Hoffman Fritz (México), Kourilovitch María (Ecuador), Mendonça José Alexander (Brasil), Moller Ingrid (España), Moya Carlos (México), Mora Claudia (Perú), Muñoz-Louis Roberto (República Dominicana), Naredo Esperanza (España), Neubarth Fernando (Brasil), Otaiza Franz (Venezuela), Py Guillermo Enrique (Argentina), Pineda Carlos (México), Quintero Maritza (Venezuela), Reginato Anthony (EE.UU.), Ruta Santiago (Argentina), Rodríguez Henríquez Pedro (El Salvador), Rosenffet Marcos (Argentina), Santiago Lida (Argentina), Sedano Óscar (Perú), Sevillano Edgardo (Panamá), Solano Carla (El Salvador), Urioste Lorena (Bolivia), Ventura Ríos Lucio (México), Villota Orlando (Colombia).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lars Ö. The chronic painful Achilles tendon. Sonographic findings and new methods for treatment [dissertation]. Umeå Solfjäders Offset AB. Sweden 2003, pp 5-58.
2. Poposka A, Georgieva D, Dzoleva-Tolevska R. Significance of ultrasound in the diagnosis and treatment of Achilles tendon rupture. *Prilozi* 2012; 33(1):209-216.
3. Weintraub W. Nature of tendons and ligaments. In: *Tendon and Ligament Healing*. Weintraub W. Paradigm Publications, USA, 2003, pp 15-41.
4. Tan SC, Chan O. Achilles and patellar tendinopathy: Current understanding of pathophysiology and management. *Disabil Rehabil* 2008; 30(20-22):1608-1615.
5. Robinson P. Sonography of Common Tendon Injuries. *AJR* 2009; 193:607-618.
6. Metzl JA, Ahmad SC, Levine WN. The ruptured Achilles tendon: operative and non-operative treatments options. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2008; 1(2):161-164.
7. Wren TA, Yerby SA, Beaupré GS, Carter DR. Mechanical properties of the human Achilles tendon. *Clin Biomech* 2001; 16(3):245-251.
8. Kannus P. Structure of the tendon connective tissue. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10(6):312-320.
9. Stone DA. Treatment of tendinitis: From basic science to clinical application. *Sportmedizin und Sporttraumatologie* 2004; 52(1):36-41.
10. Adhikari S, Marx J, Crum T. Point-of-care ultrasound diagnosis of acute Achilles tendon rupture in the ED. *Am J Emerg Med* 2012; 30(4):634-635.
11. Abdel-Ghany HAG, Abo Olló H. Anatomical and histological study of the Achilles tendon. *Bull Alex Fac Med* 2008; 44(3):833-839.
12. Mathieson JR, Connell DG, Cooperberg PL, Lloyd-Smith DR. Sonography of the Achilles tendon and adjacent bursae. *AJR* 1988; 151:127-131.
13. Rio E, Moseley L, Purdam C, Samiric T, Kidgell D, Pearce AJ, et al. The pain of tendinopathy: physiological or pathophysiological?. *Sports Med* 2013; DOI 10.1007/s40279-013-0096-z.
14. Biewener AA. Tendons and ligaments: structure, mechanical behavior and biological function. In: *Collagen structure and mechanics*. Fratzl P. Springer. Potsdam, Germany, 2008, pp 269-284.
15. Castellano BD, Banks AS. *Tendon: anatomy, physiology and healing*. 2nd Ed. Podiatryinstitute, Germany, 1988.
16. Benjamin M, McGonagle D. The anatomical basis for disease localisation in seronegative spondyloarthropathy at entheses and related sites. *J Anat* 2001; 199(Pt 5):503-526.
17. Milz S, Rufai A, Buettner A, Putz R, Ralphs JR, Benjamin M. Three-dimensional reconstructions of the Achilles tendon insertion in man. *J Anat* 2002; 200(Pt 2):145-152.
18. Shaw HM, Benjamin M. Structure-function relationships of entheses in relation to mechanical load and exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2007; 17(4):303-315.
19. Peltonen J, Cronin NJ, Stenroth L, Finni T, Avela J. Viscoelastic properties of the Achilles tendon in vivo. *SpringerPlus* 2013; 2(1):212.
20. Jonsson P, Alfredson H, Sunding K, Fahlström M, Cook J. New regimen for eccentric calf-muscle training in patients with chronic insertional Achilles tendinopathy: results of a pilot study. *Br J Sports Med* 2008; 42(9):746-749.
21. Kainberger FM, Engel A, Barton P, Huebsch P, Neuhold A, Salomonowitz E. Injury of the Achilles tendon: diagnosis with sonography. *AJR* 1990; 155(5):1031-1036.
22. Pang BS, Ying M. Sonographic measurement of Achilles tendon in asymptomatic subjects variation with age, body height, and dominance of ankle. *J Ultrasound Med* 2006; 25(19):1291-1296.
23. Fessell DP, David P. *Ecografía de tobillo y pie*. In *Van Holsbeeck. Ecografía musculoesquelética*. Van Holsbeeck Med. Mosby USA, 2001.
24. Movin T, Gad A, Reinholt FP, Rolf C. Tendon pathology in long-standing achillodynia. Biopsy findings in 40 patients. *Acta Orthop Scand* 1997; 68(2):170-175.
25. Wearing, SC, Grigg NL, Hooper SL, Smeathers JE. Conditioning of the Achilles tendon via ankle exercise improves correlations between sonographic measures of tendon thickness and body anthropometry. *J Appl Physiol* (1985) 2011; 110(5):1384-1389.

---

Correspondencia:

Cristina Hernández Díaz,  
Av. México, Xochimilco No. 289,  
Col. Arenal de Guadalupe,  
Delegación Tlalpan, México DF, CP 14389  
Email: cristy\_hernandez@prodigy.net.mx