

RADIOLOGÍA HOY

Elastografía en musculoesquelético. ¿Herramienta o juguete?

P. García González^{a,*}, S. Escoda Menéndez^a y A.R. Meana Morís^b^a Clínica Molinón, Gijón, Asturias, España^b Hospital Universitario de Cabueñes, Gijón, Asturias, España

Recibido el 23 de marzo de 2021; aceptado el 30 de agosto de 2021

Disponible en Internet el 11 de octubre de 2021

PALABRAS CLAVE

Elastografía;
Ecografía;
Musculoesquelético

Resumen La elastografía es una novedosa técnica de imagen basada en los ultrasonidos que valora la deformabilidad de los tejidos para ayudar a caracterizar las lesiones. Su uso está muy extendido y ha sido validada en muchos tejidos (hígado, mama, tiroides, etc.). También se aplica en el estudio de la patología musculoesquelética, aunque con limitaciones debido a la variabilidad y heterogeneidad de los tejidos; no obstante, es una técnica muy prometedora. En este artículo trataremos de revisar su utilidad, posibles indicaciones, limitaciones y perspectivas de futuro.

© 2021 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Elastography;
Ultrasonography;
Musculoskeletal

Elastography in musculoskeletal imaging: a tool or a toy?

Abstract Elastography is a novel imaging technique based on ultrasound that evaluates the deformability of tissues to help characterize lesions. It is widely used and has been validated in many tissues (e.g., liver, breast, thyroid). It is also used in the study of musculoskeletal disease. Although the use of elastography in musculoskeletal radiology is limited by the variability and heterogeneity of tissues, it is a very promising technique. In this article, we aim to review the usefulness, possible indications, limitations, and future perspectives of this technique in musculoskeletal radiology.

© 2021 SERAM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Los primeros estudios sobre elastografía los realizó Hill¹ en la década de los años 70, basándose en el movimiento fisiológico de los tejidos, e introdujo el acertado concepto de

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: pgarcia@clinicaelmolinon.com (P. García González).

“palpación remota”. No obstante, el mayor desarrollo se produjo en los años 80^{2,3}, y ya en los 90 las empresas comenzaron a desarrollar distintos dispositivos técnicos para su realización.

Se basa en el principio de la deformidad del tejido al aplicarle una fuerza; dependiendo de su rigidez se deformará más o menos. Esto determinará el grado de dureza de los tejidos y servirá para detectar cambios tisulares como la fibrosis hepática. Los tejidos que se deformen menos los consideraremos duros o rígidos y los que se deformen más fácilmente los consideraremos blandos.

En musculoesquelético serviría de complemento a la ecografía para tratar de detectar la pérdida de las características elásticas normales de un tejido que nos permita teóricamente detectar la existencia de enfermedad antes de que sea visible por la imagen (ecografía o resonancia magnética).

La elasticidad se determina por el módulo elástico del tejido o módulo de Young (E), medida en kilopascales (kPa), que es el cociente entre la fuerza aplicada y la deformidad obtenida. La información se obtiene antes y después de la administración de la fuerza y, dependiendo de la técnica, obtendremos una información cualitativa (mapa de color) o cuantitativa con valores numéricos (kPa)^{4,5}.

Dependiendo de la forma de aplicar la fuerza, la primera introducida fue la elastografía de compresión (*strain elastography*), en la que comparamos el tejido antes y después de la compresión; es cualitativa, se expresa en una escala de color. También podemos ocasionar la deformación mediante la aplicación de un pulso acústico emitido por un dispositivo y obtendríamos tanto información cualitativa (mapa de color) como cuantitativa. De estas, la más utilizada es la *Shear Wave Elastography* (SWE)⁶, en la que se mide la velocidad de las ondas transversales que genera el pulso inicial, en metros por segundo (m/s), y, en función de la densidad (ρ), obtendremos la elasticidad ($E = 3\rho v^2$) en kilopascales (kPa)^{7,8}.

Aplicaciones clínicas

Aunque la elastografía está muy establecida y estandarizada en otras áreas, fundamentalmente en el hígado, en el aparato locomotor aún está en fase inicial. No obstante, ya se está trabajando en ello y existen muchas publicaciones sobre su aplicación en los distintos tejidos que lo conforman^{6,9–13}.

Tendón

La elastografía del tendón no es sencilla, pues dependemos por un lado de su localización anatómica (profundidad, dirección, tamaño, relación con otras estructuras, etc.) y por otro, al ser el tendón sano un tejido muy “duro”, en ocasiones excederá el límite medible de la rigidez en condiciones normales.

Elastográficamente es un tejido rígido y homogéneo. Al enfermar se producirán alteraciones tendinosas que condicionarán cambios biomecánicos que podremos determinar con la elastografía y que podría resultarnos útil para detectar precozmente las alteraciones tendinosas. En los procesos degenerativos se producirá pérdida de la rigidez normal¹⁴, que podrá recuperarse con la fibrosis reparativa^{13,15}.

El caballo de batalla fundamental en el tendón será la *tendinopatía*¹⁶, que comprende un conjunto de entidades etiopatogénicas (factores mecánicos, degenerativos, sobreuso, etc.) causantes de dolor. Lo que podremos observar histológicamente es la desestructuración del colágeno con aumento de la celularidad, aparición de neovasos e infiltración grasa.

Cuando estos fenómenos están muy avanzados y la degeneración tendinosa es patente, hablaremos de *tendinosis*. Finalmente, estos cambios pueden conducir a roturas tendinosas.

En el tendón degenerado se observará pérdida de su rigidez normal, que se recuperará una vez que se produzca su reparación (fig. 1). La elastografía también permite el seguimiento posquirúrgico (fig. 2) para determinar si el tendón ha recuperado su rigidez.

La reproducibilidad de las mediciones ha sido demostrada en varios estudios^{17,18}. Las roturas mostrarán clara pérdida de rigidez; no obstante, en ese caso la elastografía resulta en general de poca utilidad porque ya son lesiones establecidas y perfectamente visibles por las técnicas de imagen^{19,20}.

Aunque se han descrito valores normales^{16,18–20}, estos se ven muy influidos tanto por el tendón estudiado como por el dispositivo empleado, por lo que resulta más útil la valoración cualitativa del mapa de color o la cuantitativa comparando con áreas de tendón sano o con el contralateral.

Es especialmente importante la posición del transductor, pues al tratarse de un tejido anisotrópico los planos de estudio han de ser perfectamente perpendiculares o paralelos. Resulta de mejor calidad¹⁷ y reproducibilidad¹⁹ realizarlo paralelo a las fibras. Podemos tratar de regularizar la superficie con una buena capa de gel¹ para obtener así una mejor imagen.

Aquiles

Es el mayor tendón de nuestra anatomía; es fácilmente estudiable al ser superficial y presentar un trayecto lineal paralelo a la piel, y presenta ligeras variaciones de su elasticidad siendo menos rígida la porción central. Su rigidez está influida por la obesidad, la actividad deportiva^{14,17,20}, la edad²¹ o el grado de contracción del músculo²².

En condiciones normales muestra una rigidez bastante uniforme que se pierde en la tendinopatía, lo cual podría servir como diagnóstico precoz de la misma para prevenir lesiones tendinosas más severas.

La elastografía también nos permite valorar la recuperación de la rigidez tras la cirugía (fig. 2)²³.

Tendón rotuliano

Dado que, al igual que el Aquiles, está localizado superficialmente y su trayecto es paralelo a la superficie, es fácil de valorar con la elastografía obteniendo resultados repetibles y con buena correlación intra- e interobservador²⁴.

Aunque existen estudios que describen hallazgos contradictorios²³, son atribuibles a diferencias metodológicas, y se admite que la tendinopatía y las roturas se verán reflejadas en la elastografía como focos de pérdida de rigidez (fig. 3).

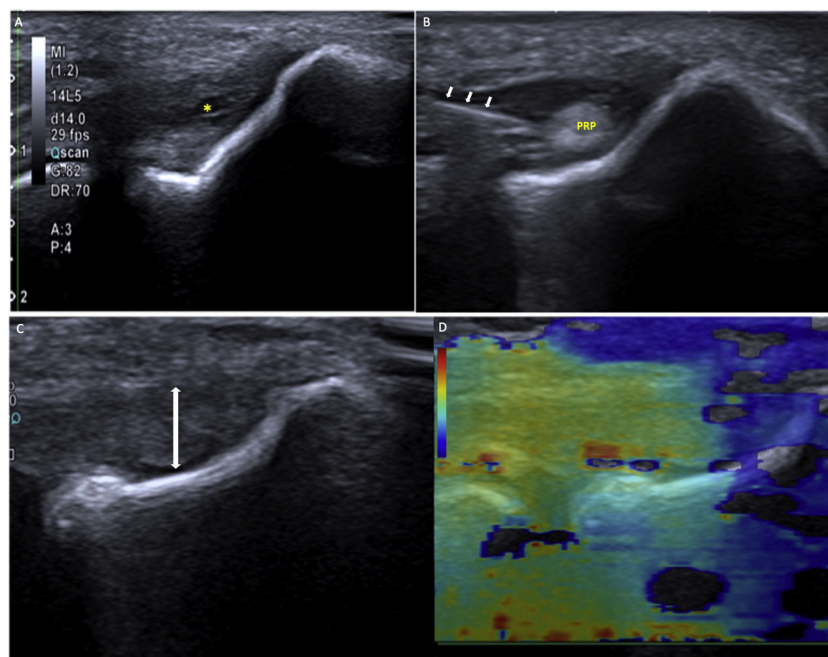


Figura 1 Epicondilitis tratada con plasma rico en plaquetas (PRP). A) La ecografía muestra un tendón hipoeogénico y heterogéneo, adelgazado, debido a tendinopatía, con una rotura parcial intrasustancia (*). B) Aplicamos PRP en la tendinopatía (aguja señalada con flechas) y rellenamos la rotura con PRP. Una vez finalizado el tratamiento, tras tres infiltraciones de PRP espaciadas unos 10 días se realiza control ecográfico (C) donde puede verse un tendón homogéneo que ha recuperado su grosor (flecha doble) y su rigidez; como se muestra en la elastografía SWE (D), casi todo el tendón es anaranjado-rojo (duro).

Epicondíleos

Tanto la epitrocleítis como la epicondilitis se consideran producidas por microtraumas repetitivos que condicionan microrroturas que elastográficamente se traducen en focos de pérdida de rigidez^{19,23,25,26} (fig. 1).

Manguito rotador

El trayecto curvado del tendón y el hecho de estar en contacto con el hueso dificulta la valoración elastográfica; sin embargo, se describe buena correlación inter- e intraobservador^{17,23,27}. La pérdida de rigidez nos permite fundamentalmente detectar microrroturas intratendinosas.

Otros tendones

Lo dicho es aplicable para cualquier tendón, teniendo en cuenta las dificultades que pueda plantear su situación, trayecto o localización. En ocasiones, su localización profunda nos impide una buena valoración ecográfica y nos limita la valoración dinámica (compresión). En este caso, la elastografía puede resultarnos de gran ayuda al detectar la zona de falta de rigidez que corresponde a un foco de rotura parcial (fig. 4).

Músculo

Su empleo en la patología muscular crece imparablemente dado que permite la valoración dinámica en tiempo real

de la rigidez muscular durante el movimiento para detectar situaciones patológicas antes de que sean visibles con las técnicas de imagen convencionales. Se ha descrito ya su papel en la valoración de miopatías, espasticidad (ictus, lesión medular, miopatías, etc.), roturas musculares así como dolor miofascial¹².

Dentro de la heterogeneidad propia de los tejidos que conforman el aparato locomotor, el músculo es marcadamente heterogéneo. Son fibras musculares rodeadas de endomisio, organizadas en fascículos, rodeados de perimisio, agrupados en vientres musculares, rodeado de epimisio, y atravesados a su vez por nervios y vasos; estos últimos afectan significativamente a la elasticidad del músculo¹⁰.

La elasticidad se verá influida por el tipo de músculo, localización, características individuales (actividad física, obesidad, sexo, edad, etc.) y, al igual que se describió en el tendón, las medidas variarán dependiendo de si la toma se realiza en eje corto o largo.

El músculo relajado muestra una rigidez blanda-intermedia⁷ que aumenta a medida que se contrae. Esto se correlaciona linealmente con la actividad mioeléctrica, aunque se mantiene un patrón heterogéneo probablemente debido a la contracción asincrónica de las distintas unidades motoras²⁸.

En distintos estudios se ha descrito disminución de la rigidez en algunas miopatías, así como aumento en otras (Duchenne) y en estados espásticos secundarios a ictus o a parálisis cerebral, lo que nos permitiría detectar la zona más apropiada para inyectar la toxina botulínica. También se ha descrito ese aumento de la rigidez en el dolor muscular "idiopático" o en las "agujetas" (DOMS)¹⁰.

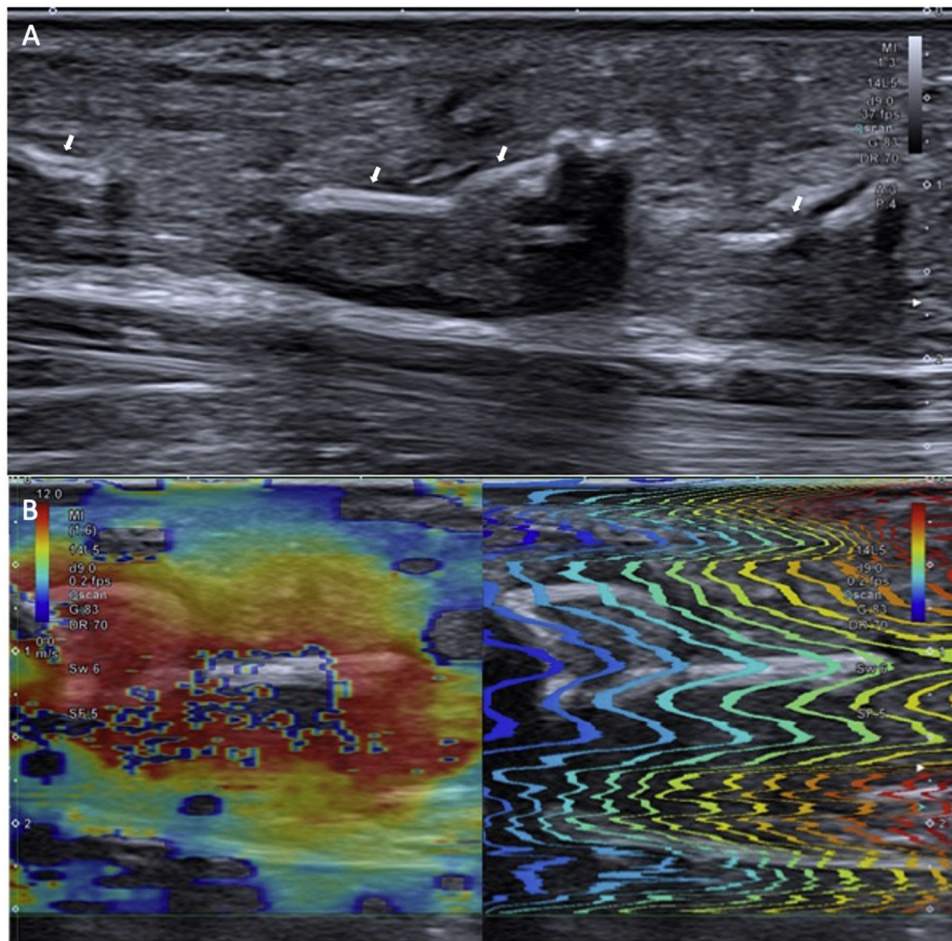


Figura 2 Control de Aquiles operado. En la imagen A vemos los cambios posquirúrgicos con presencia de los hilos de sutura (flechas). La elastografía SWE (B) muestra que el tendón ha recuperado su rigidez mostrando el mapa de color con predominio del rojo (duro).

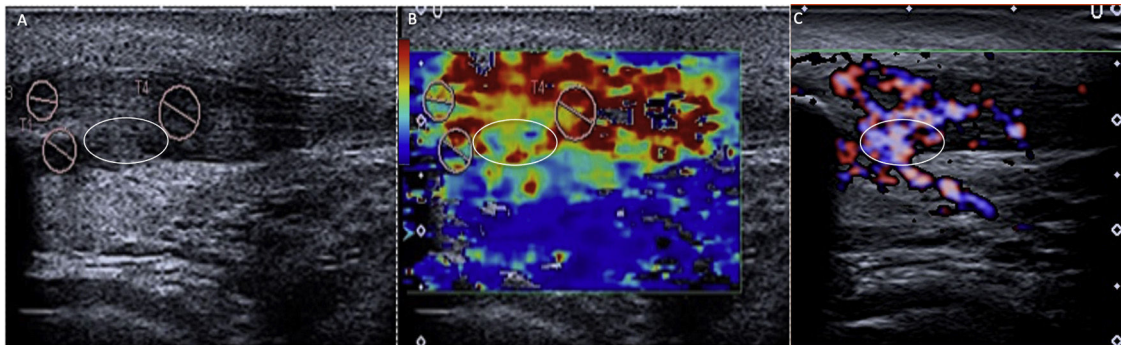


Figura 3 Tendinopatía rotuliana. En la imagen A vemos el tendón hipocogénico y heterogéneo, en relación con tendinopatía. La elastografía SWE (B) muestra un claro predominio del rojo (duro), lo que indica que aún mantiene su rigidez; no obstante, se observa un foco (óvalo blanco) de tonos azul-verdosos (blando) que sugiere tendinosis, lo cual se confirma en el estudio Doppler (C) donde se observa un foco de neovasos intratendinosos.

En las roturas musculares, en nuestra experiencia, se observa una marcada pérdida de la rigidez que resulta extremadamente útil a la hora de detectar incipientes lesiones musculares que no son claramente visibles en ecografía (fig. 5). Por otro lado, la elastografía también

detecta el aumento progresivo de la rigidez que se produce en la cicatrización de la lesión⁹, lo que nos resulta de gran utilidad a la hora de valorar tanto la reparación del tejido como sus posibles complicaciones (cicatriz blanda).

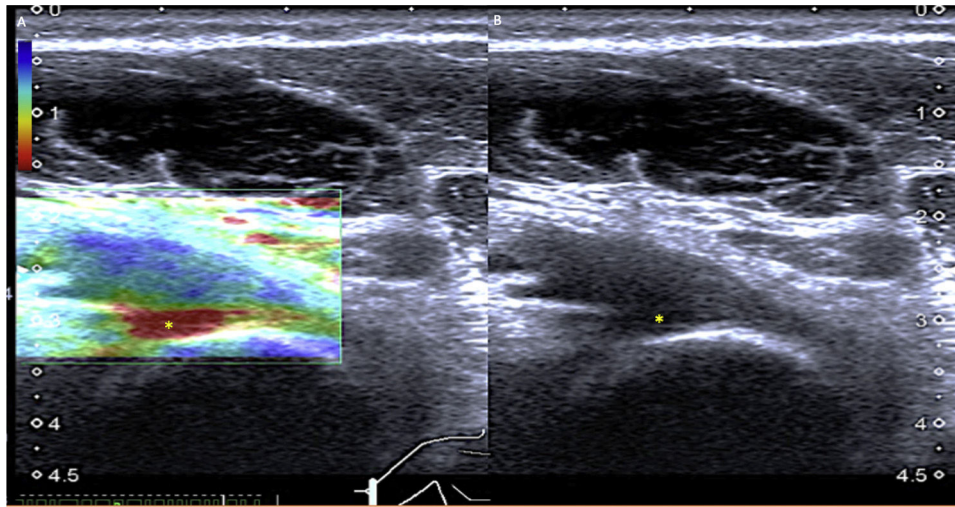


Figura 4 Tendinopatía del bíceps distal con rotura intrasustancia. A) El tendón muestra engrosamiento y marcada hipocogenicidad compatible con tendinopatía; no obstante, dada su profundidad, resulta difícil determinar si hay focos de rotura. B) En la elastografía (*strain*) se observa en la zona de la inserción una zona roja (blando en *strain*) que indica rotura intrasustancia.

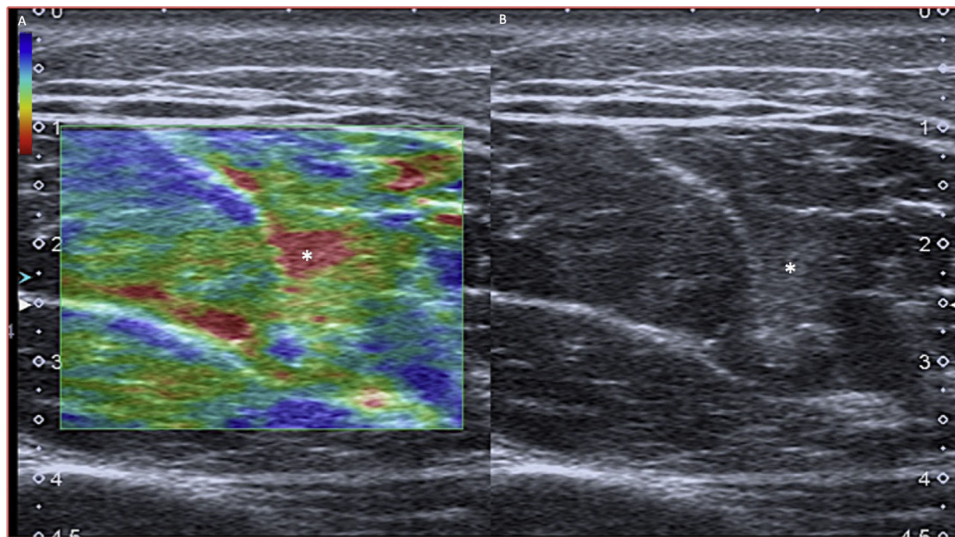


Figura 5 Rotura fibrilar subcentimétrica de los isiotibiales. La ecografía muestra una zona mínimamente ecogénica adyacente el tendón conjunto (B) de dudoso significado patológico; sin embargo, la elastografía (A) muestra un foco rojo (blando en *strain*) que indica rotura fibrilar.

Ligamentos y articulaciones

Dado que el ligamento presenta una histología bastante similar al tendón, podemos esperar hallazgos similares desde el punto de vista elastográfico. Así pues, las roturas ligamentosas serán detectables como áreas blandas en el seno de un ligamento normalmente rígido.

También se ha empleado en el estudio de la patología reumática para valoración de la sinovial^{1,19}, aunque hay pocos estudios realizados y no parece que aporte nada a los estudios ecográficos habituales.

Masas de tejidos blandos

También se ha postulado la elastografía como una técnica que permite determinar la benignidad o malignidad de una lesión en función de su rigidez. En general supondríamos que una lesión blanda tendrá más probabilidades de ser benigna que una dura; no obstante, esto no siempre es así, pues depende de otros factores como son las características bioelásticas del tejido así como de la localización de la masa. Por ello, la elastografía será un dato más en la valoración de la masa y no debe ser tomada en cuenta de modo independiente²⁹.

Limitaciones

Por un lado, la elastografía, como técnica derivada de la ecografía, presentará las mismas limitaciones que esta, como la dependencia del operador (colocación del transductor, evitar presión previa, elegir el área de interés, etc.), así como sus restricciones físicas (gas, calcio, obesidad).

Tenemos también unas limitaciones debidas al propio tejido estudiado, debido a su heterogeneidad y variabilidad anatómica que dificulta la creación de unos valores de referencia y el establecimiento de protocolos.

Perspectivas de futuro

La más importante será la superación de las limitaciones descritas, fundamentalmente disminuir la dependencia del operador.

Se han de establecer indicaciones y protocolos.

Es necesaria la realización de estudios amplios que permitan estandarizar esos protocolos y establecer mapas de color y tablas de medidas de referencia.

Confiemos en que mejore con nuevos avances tecnológicos: nuevos tipos de elastografía, elastografía 3D, fusión con otras técnicas, etc.

Decálogo de recomendaciones:

1. Obtener una buena imagen en modo B⁸.
2. Aplicar la menor presión posible con el transductor (gel).
3. Colocar el transductor perpendicular a la superficie de la piel.
4. Limitar los artefactos de movimiento al mínimo.
5. Esperar a que el elastograma se estabilice.
6. Emplear el preset adecuado al medio.
7. Orientar longitudinalmente a la estructura (anisotropía).
8. Dada la heterogeneidad y la falta de valores de referencia, es preferible guiarnos por los mapas de color.
9. En caso de realizar medidas es preferible medir velocidad (m/s) dado que la elasticidad (kPa) se obtiene multiplicándola por la densidad (ρ) y es un tejido heterogéneo con densidad variable.
10. Emplearla siempre que podamos, correlacionándola con el modo B y con la clínica, para mejorar nuestra técnica e ir estableciendo nuestros propios valores de referencia.

Herramienta o juguete

Esa cuestión la hemos de determinar nosotros en función de cómo la utilizemos. Sirva como ejemplo la rueda, cuyo descubrimiento fue un hito fundamental en el avance de las culturas euroasiáticas mientras que en la América precolombina, aunque también se conocía, se empleaba únicamente como juguete para los niños.

En nuestras manos está emplear la técnica de forma rigurosa, con seriedad, estableciendo indicaciones y protocolos, empleándola como una verdadera herramienta, complementaria a la ecografía, en vez de utilizarla como un mero ornamento inútil de nuestros estudios ecográficos.

Conclusiones

La elastografía es el mayor avance técnico en ecografía después de la aparición del Doppler y, al igual que este, será una herramienta complementaria más.

Es una técnica aún en fase de investigación, fundamentalmente en musculoesquelético, que aún tendrá que ir asentándose en nuestro trabajo diario para establecer indicaciones y protocolos que determinen su verdadero papel.

Va a ser fundamental en el diagnóstico precoz, pronóstico, monitorización del tratamiento y seguimiento de las lesiones.

Es, en definitiva, un arma cargada de futuro.

Autoría

1. Responsable de la integridad del estudio: PGG
2. Concepción del estudio: PGG, SEM y ARMM
3. Diseño del estudio: PGG
4. Obtención de los datos: PGG y SEM
5. Análisis e interpretación de los datos: PGG, SEM y ARMM
6. Tratamiento estadístico: No se realizó tratamiento estadístico
7. Búsqueda bibliográfica: PGG, SEM y ARMM
8. Redacción del trabajo: PGG
9. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: PGG, SEM y ARMM
10. Aprobación de la versión final: PGG, SEM y ARMM

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Paluch L, Nawrocka-Laskus E, Wieczorek J, Mruk B, Frel M, Walecki J. Use of ultrasound elastography in the assessment of the musculoskeletal system. *Pol J Radiol*. 2016;81:240–6.
2. Krouskop TA, Dougherty DR, Vinson FS. A pulsed Doppler ultrasonic system for making noninvasive measurements of the mechanical properties of soft tissue. *J Rehabil Res Dev*. 1987;24:1–8.
3. Lalitha P, Reddy P, Reddy K. Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience. *Korean J Radiol*. 2011;12:365–75.
4. Sigrist RMS. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. *Theranostics*. 2017;7:1303–29.
5. Shiina T, Nightingale KR, Palmeri ML, Hall TJ, Bamber JC, Barr RG, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 1: basic principles and terminology. *Ultrasound Med Biol*. 2015;41:1126–47.
6. Taljanovic MS, Gimber LH, Becker GW, Lan LD, Klauser AS, Melville DM, et al. Shear Wave Elastography: Basic physics and musculoskeletal applications. *Radiographics*. 2017;37:855–70.
7. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br J Radiol*. 2012;85:1435–45.
8. Bouchet P, Gennison JL, Podda A, Alilet M, Carrie Mathieu, Aubry S. Artifacts and technical restrictions in 2D Shear Wave Elastography. *Ultraschall Med*. 2020;41:267–77.
9. Botar-Jid CB, Vasilescu D, Damian L, Dumitriu D, Ciurea A, Duda SM. Musculoskeletal sonography. Pictorial essay. *Med Ultrason*. 2012;14:239–45.

10. Davis LC, Baumer TG, Bey MJ, van Holsbeeck M. Clinical utilization of shear wave elastography in the musculoskeletal system. *Ultrasonography*. 2019;38:2–12.
11. Kim SJ, Park HJ, Lee SY. Usefulness of strain elastography of the musculoskeletal system. *Ultrasonography*. 2016;35:104–9.
12. Ryu J, Jeong WK. Current status of musculoskeletal application of shear wave elastography. *Ultrasonography*. 2017;36:185–97.
13. Winn N, Lalam R, Cassar-Pullicino V. Sonoelastography in the musculoskeletal system: Current role and future directions. *World J Radiol*. 2016;8:868–79.
14. Balaban M, Idilman IS, Ipek A, IkizSS, Bectaser B. Elastographic findings of Achilles tendons in asymptomatic professional male volleyball players. *J Ultrasound Med*. 2016;35:2623–8.
15. Balaban M, Cilengir AH, Idilman IS. Evaluation of tendon disorders with ultrasonography and elastography. *J Ultrasound Med*. 2020;9999:1–20.
16. Dirrics T, Quack V, Gatz, Tingart M, Kuhl CK, Schrading S. Shear wave elastography for the evaluation of patients with tendinopathies. *Acad Radiol*. 2016;23:1204–13.
17. Domenichini R, Pialat JP, Podda A, Aubry S. Ultrasound elastography in tendon pathology: state of the art. *Skeletal Radiol*. 2017;46:1643–55.
18. Payne C, Watt P, Cercignani M, Webbhorn N. Reproducibility of shear wave elastography measures of the Achilles tendon. *Skeletal Radiol*. 2018;47:779–84.
19. Drakonaki EE, Allen GM, Wison DJ. Real time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. *Clin Radiol*. 2009;64:1196–202.
20. Aubry S, Risson JR, Barbier-Brion B, Tatu L, Vidal C, Kastler B. Transient elastography of calcaneal tendon: preliminary results and future prospects. *J Radiol*. 2011;92:421–7.
21. Slane LC, Martin J, DeWall R, Thelen D, Lee K. Quantitative assessment of normal soft tissue elasticity using shear wave ultrasound mapping of regional variations in shear wave speeds of the aging Achilles tendon. *Eur Radiol*. 2017;27:474–82.
22. Schneebeil A, Fiorina I, Bortolotto C, Barbero M, Falla D, Cescon C, et al. Shear wave and strain sonoelastography for the evaluation of the Achilles tendon during isometric contractions. *Insights Imaging*. 2021;12:26.
23. Prado-Costa R, Rebelo J, Monteiro-Barroso J, Preto AS. Ultrasound elastography: compression elastography and shear wave elastography in the assessment of tendon injury. *Insights Imaging*. 2018;9:791–814.
24. Tas S, Onur MR, Yilmaz S, Soylu AR, Korkusuz F. Shear wave elastography is a reliable and repeatable method for measuring the elastic modulus of the rectus femoris muscle and patellar tendon. *J Ultrasound Med*. 2017;36:565–70.
25. Klauser AS, Pamminer MJ, Halpern EJ, Abd Ellah MMH, Moriggl G, Taljanovich MS, et al. Sonoelastography of the common flexor tendon of the elbow with histological agreement: a cadaveric study. *Radiology*. 2017;283:486–91.
26. Klauser AS, Pamminer MJ, Halpern EJ, Abd Ellah MMH, Moriggl G, Taljanovich MS, et al. Extensor tendinopathy of the elbow assessed with sonoelastography: histologic correlation. *Eur Radiol*. 2017;27:3460–6.
27. Schmalzl J, Fenwick A, Boehm D, Gilbert F. The application of ultrasound elastography in the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg*. 2017;26:2236–46.
28. Creze M, Nordez A, Soubeyrand M, Rocher L, Maitre X, Bellin MF. Shear Wave Sonoelastography of skeletal muscle: basic principles, biomechanical concepts, clinical applications, and future perspectives. *Skeletal Radiology*. 2018;47:457–71.
29. Tavaré AN, Alfuraih AM, Hensor EMA, Asdrinakis E, Gupta H, Robinson P. Shear wave elastography of benign versus malignant musculoskeletal soft tissue masses. *Radiology*. 2019;290:410–7.