



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias de la Salud

Trabajo Fin de Grado

EFFECTIVIDAD DE LA SONOELASTOMIOGRAFÍA EN LA MEDICIÓN DE LA DUREZA MUSCULAR: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Alumno: Roldán-Muñoz, Emilio

Tutor: Prof. D. Galán-Mercant, Alejandro
Dpto: Ciencias de la Salud

Mayo, 2016

ÍNDICE

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	5
2.1. ¿Qué es hardness y stiffness muscular?	
2.2. ¿Qué es la sonoelastomiografía o sonoelastografía o elastografía?	
2.3. Modalidades de sonoelastomiografía	
2.4. Aplicaciones de la sonoelastomiografía	
2.5. Ventajas de la sonoelastomiografía	
2.6. ¿Qué son los estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos?	
2.7. Objetivo	
3. Materiales y métodos.....	9
3.1. Estrategias de búsqueda y selección de estudios	
3.2. Criterios de inclusión	
3.3. Criterios de exclusión	
4. Resultados.....	10
5. Discusión.....	16
6. Conclusión.....	18
7. Bibliografía.....	19

RESUMEN

Objetivo: Conocer la efectividad de la sonoelastomiografía a la hora de medir las posibles variaciones de la dureza muscular tras la realización de un programa de estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre estudios cuasiexperimentales en las bases de datos de Pubmed, CIALH, Scopus, y PEDro utilizando las palabras claves “sonoelastography” , “physiotherapy”, “muscle”. Se seleccionaron artículos en inglés, con un límite de 10 años de antigüedad.

Resultados: Se obtuvieron un total de 16 referencias potenciales y tras la lectura del documento completo de los artículos e incluir los criterios de inclusión y exclusión solo 7 resultaron de interés, en los cuales se utiliza como aparato a la hora de medir las posibles variaciones de la dureza muscular.

Conclusión: La sonoelastomiografía es un método efectivo a la hora de medir posibles variaciones de la dureza muscular tras realizar un programa de estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos.

Palabras clave: “Sonoelastomiografía”, “fisioterapia”, “músculo”.

ABSTRACT

Objective: To know the effectiveness of the sonoelastography at the moment of measuring the possible variations of the muscular hardness after the accomplishment of a program of static stretching and eccentric exercises.

Methods: A search was realized bibliographic on quasiexperimental studies in the databases of Pubmed, CIALH, Scopus, and PEDro using the key words "sonoelastography", "physiotherapy", "muscle". Articles were selected in English, with a limit of 10 years of antiquity.

Results: There were obtained a total of 16 potential references and after the reading of the complete document of the articles and to include the criteria of incorporation and exclusion only 7 ensued from interest, in which it is in use as device at the moment of measuring the possible variations of the muscle hardness.

Conclusions: The sonoelastomiography is an effective method at the moment of measuring possible variations of the muscle hardness after realising a program of static stretchings and eccentric exercises.

Key words: "sonoelastography", "physiotherapy" and "muscle".

INTRODUCCIÓN

2.1 ¿Qué es hardness y stiffness muscular?

El hardness muscular o dureza del musculo es una propiedad mecánica que representa la rigidez del musculo transverso y la rigidez a lo largo del eje longitudinal del musculo. El stiffness muscular o rigidez muscular se refiere a la capacidad o propiedad mecánica del musculo de oponerse al estiramiento y contraria a la distensibilidad muscular (1).

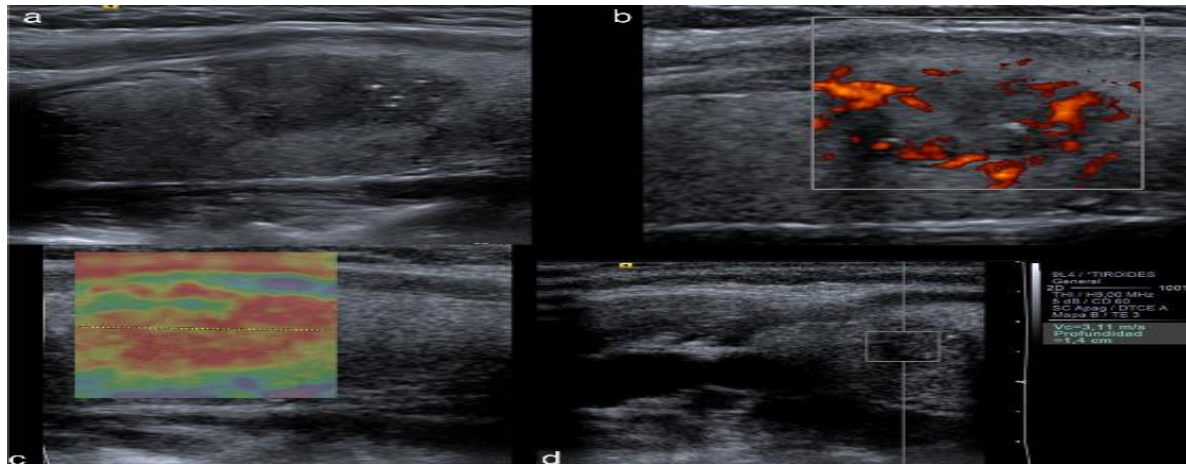
Existen situaciones en las que el stiffness muscular se ve alterado, coincidiendo con la presencia de patologías o disfunciones y reduce el rango de movilidad articular como es el caso de patologías como: tendinopatía aquilea, fascitis plantar, síndrome de estrés del tibial medial y síndrome del dolor femoropatelar presenta un incremento del stiffness en los músculos de la pantorrilla y reduce la dorsiflexión del tobillo (2).

Existen distintas maneras de evaluar el stiffness muscular: por simple palpación, por Miotonometría, ecografía común o también por medio de la elastografía por resonancia magnética a cual cuantifica la velocidad de propagación inducida por vibración mecánica con análisis de imagen para calcular la elasticidad local del módulo del tejido blando. En contraste, se ha desarrollado recientemente la sonoelastomiografía, esta nueva tecnología de ultrasonido ha abierto la posibilidad de cuantificar de manera objetiva el stiffness del vientre muscular en vivo (2).

2.2 ¿Qué es la sonoelastomiografía o sonoelastografía o elastografía?

Cada tejido en el organismo tiene unas propiedades mecánicas que lo caracterizan y en función de ello, según la manera y la rapidez con la que el sonido atraviese el tejido, este se comportara de un modo u otro, devolviendo al explorador una imagen característica. Los datos obtenidos mediante la elastografía se procesan calculando el módulo de elasticidad del tejido en función de una serie de parámetros técnicos (3).

Las diferentes técnicas de elastografía se basan en la hipótesis de que los tejidos blandos se deforman más que los tejidos rígidos, y que estas diferencias pueden ser cuantificadas y diferenciadas mediante imágenes. Este nuevo avance no solo incumbe al campo de los US, sino que continúa su expansión junto a otras técnicas de imagen como la resonancia magnética, siguiendo los principios de excitación mecánica (3).



2.3 Modalidades de sonoelastomiografía

Existen dos clases de sonoelastomiografía bien diferenciadas: la semicuantitativa (strain elastography) y la cuantitativa (shear-wave elastography) (3).

La sonoelastomiografía semicuantitativa adquiere primero los datos correspondientes a la anomalía tisular antes de la deformación o compresión. Posteriormente se aplica una pequeña presión mediante un compresor externo (transductor ecográfico) o una función fisiológica (respiración) y se adquiere otro mapa de la anatomía tisular (poscompresión o deformación). El desplazamiento del tejido deformado se calcula mediante la comparación de estos 2 mapas anatómicos y se refleja en un mapa de colores (3).

La sonoelastomiografía cuantitativa mide el desplazamiento del tejido independientemente de la presión aplicada, al enviar microimpulsos acústicos con niveles mínimos de energía hacia los diferentes tejidos. De esta manera, se crea un mapa tisular relativo al desplazamiento de las estructuras adyacentes. La ventaja de esta con respecto al anterior es obvia: no hay necesidad de comprimir con el transductor, por lo que existe menos variabilidad intra e interobservador, es decir, mayor reproducibilidad. Dentro de la sonoelastomiografía cuantitativa podemos distinguir 3 subgrupos de imágenes: la “cualitativa” que nos ofrece un mapa de colores de la lesión con respecto al tejido adyacente, la “cuantitativa” que nos da un valor en KPa o m/s que nos proporciona valores numéricos acerca de la mayor o menor deformidad en una región de interés elegida por nosotros, y un último subgrupo que combina en una imagen los dos anteriores, es decir, sobre un mapa cualitativo de colores podemos medir el valor de dureza del tejido en una región de interior (3).

2.4 Aplicaciones de la sonoelastomiografía

La sonoelastomiografía, aunque fue diseñada en un principio para obtener imágenes que nos permitieran diferenciar entre lesiones benignas o malignas de mama, de nódulos linfáticos e hígado (4), recientemente nos permite de manera no invasiva darnos una estimación de las propiedades elásticas del tejido, este aparato produce una tensión dentro del tejido, en el cual el grado de deformación es menor en el tejido más duro que en el tejido más blando. Esta máquina nos permite una visualización en tiempo real de la distribución de la tensión dentro del tejido como un mapa de la elasticidad del tejido traslucido, a color, a tiempo real y superpuesto sobre una imagen en modo B (4) y se puede estimar midiendo la tensión del tejido inducido por la compresión (5). Estudios previos han alegado que puede obtenerse mediciones válidas, precisas y fiables de la dureza del músculo usando las imágenes proyectadas por este aparato (6).

Está demostrado actualmente que la sonoelastomiografía es capaz de detectar y diagnosticar el cáncer de mama, tiroides, próstata, páncreas, tumores musculoesqueléticos. Además puede ser útil para filiar masas uterinas y afección focal y difusa hepática (3).

Pero existen además estudios recientes en el cual se ha llegado a la conclusión de que es capaz de revelar anomalías del tendón en un alto porcentaje en casos en los que el examen de ultrasonidos fue negativo, también puede ser una herramienta útil para la evaluación de los lactantes con torticollis muscular congénita, tiene utilidad a la hora del diagnóstico de contracturas musculares (7, 8,9).

2.5 Ventajas de la sonoelastomiografía

Existen otras alternativas las cuales han sido utilizadas para medir el stiffness muscular como es la elastografía por resonancia magnética mencionada antes pero esta técnica requiere un largo mecanismo vibratorio, una compleja metodología, difícil transportabilidad y accesibilidad que lo restringe en su aplicación de evaluación clínica. En contraste, la sonoelastomiografía tiene una serie de ventajas a los otros aparatos utilizados anteriormente ya que sus imágenes es a tiempo real, es móvil, no requiere vibración y es más asequible en comparación con la elastografía por resonancia magnética(2).

También a la hora de cuantificar la dureza muscular se ha hecho midiendo la fuerza instantánea con la que los tejidos resisten la deformación constante inducida por una prueba de medición de la rigidez del tejido blando, pero de esta manera los músculos superficiales y profundos no puede ser evaluados por separados y además estudios anteriores sugieren que los resultados de este método puede verse afectado por tejidos contráctiles como la grasa subcutánea. Pero con la

sonoelastomiografía estos problemas pueden ser resueltos ya que es posible medir el modulo elástico cortante como el índice de dureza del musculo (6).

2.6 ¿Qué son los estiramientos estáticos y los ejercicios excéntricos?

Los estiramientos estáticos son los ejercicios de estiramientos que se realizan sin movimiento. Hay cinco tipos de ejercicios de estiramientos estáticos: estiramiento estático, pasivo, activo, PNF (Facilitación neuromuscular propioceptiva) y el estiramiento isométrico (10).

Los ejercicios excéntricos fueron planteados inicialmente por Stanish y Curwin en 1986, planteando 6 semanas de ejercicios excéntricos en 200 pacientes con tendinopatía aquilea. Estos ejercicios son aquellos en los cuales se generan la fuerza de contracción al mismo tiempo que el musculo se elonga, estos ejercicios podrían promover la formación de fibras de colágeno del tendón, facilitando la remodelación del mismo (11,12).

En los artículos que hemos seleccionado para realizar esta revisión sistemática hablan de las técnicas de estiramiento estático y ejercicios excéntricos en función de la capacidad que tienen estas técnicas a la hora de modificar el stiffness y hardness muscular. Y la herramienta que tienen todos los estudios de cuantificar la variación del stiffness y hardness muscular es usando la sonoelastomiografía.

2.7 Objetivo

Por lo tanto, la necesidad de realizar esta revisión sistemática es para conocer la efectividad de la sonoelastomiografía a la hora de medir las posibles variaciones de la dureza muscular tras la realización de un programa de estiramientos estáticos y de ejercicios excéntricos, ya que este aparato podría convertirse en una herramienta adicional para la evaluación clínica de la dureza del tejido musculotendinoso (4).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Estrategias de búsqueda y selección de estudios.

Dos revisores independientes han realizado una revisión sistemática de la bibliografía en las principales bases de datos. Se realizó una búsqueda en las principales bases de datos relacionadas con el área de conocimiento de Fisioterapia: Pubmed, CIALH, Scopus y PEDro. El motor de búsqueda en las diferentes base de datos; “sonoelastography AND physiotherapy AND muscle”, y se obtuvieron un total de 16 referencias potenciales para incluir en el estudio, tras la lectura del título y resumen 13 resultaron de interés y tras la lectura del documento completo de los artículos y cumplir los criterios de inclusión, solo 7 resultaron de interés y se utilizaron en la revisión sistemática. Para la búsqueda se estableció un límite temporal de tiempo de 10 años y límite de lenguaje en inglés. No se marcó ningún límite referido subconjunto, opciones de texto, género.

Los estudios que no cumplieron los criterios descritos anteriormente fueron excluidos, estableciéndose por tanto un criterio común a todos los estudios seleccionados y proporcionar evidencia sobre la efectividad de la sonoelastomiografía para medir las variaciones de la dureza muscular tras los estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos.

Para la selección de los estudios, ambos revisores realizaron el siguiente procedimiento de forma sistemática: lectura de título, lectura de resumen, lectura del artículo completo, selección de artículos a incluir. Aquellos artículos que no cumplieron con los criterios de selección establecidos en la estrategia de búsqueda, fueron desechados para la presente revisión sistemática.

Estableciendo por tanto un criterio común a todos los estudios seleccionados y proporcionar evidencia sobre la efectividad de la sonoelastomiografía para medir las posibles variaciones de la dureza muscular tras los estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos.

3.2 Criterios de inclusión

Se incluyeron todos aquellos estudios que realizan una medición del hardness o dureza muscular empleando como aparato de medición la sonoelastomiografía. Se incluyeron aquellos estudios que utilizaban estiramientos estáticos o ejercicios excéntricos en sujetos sanos.

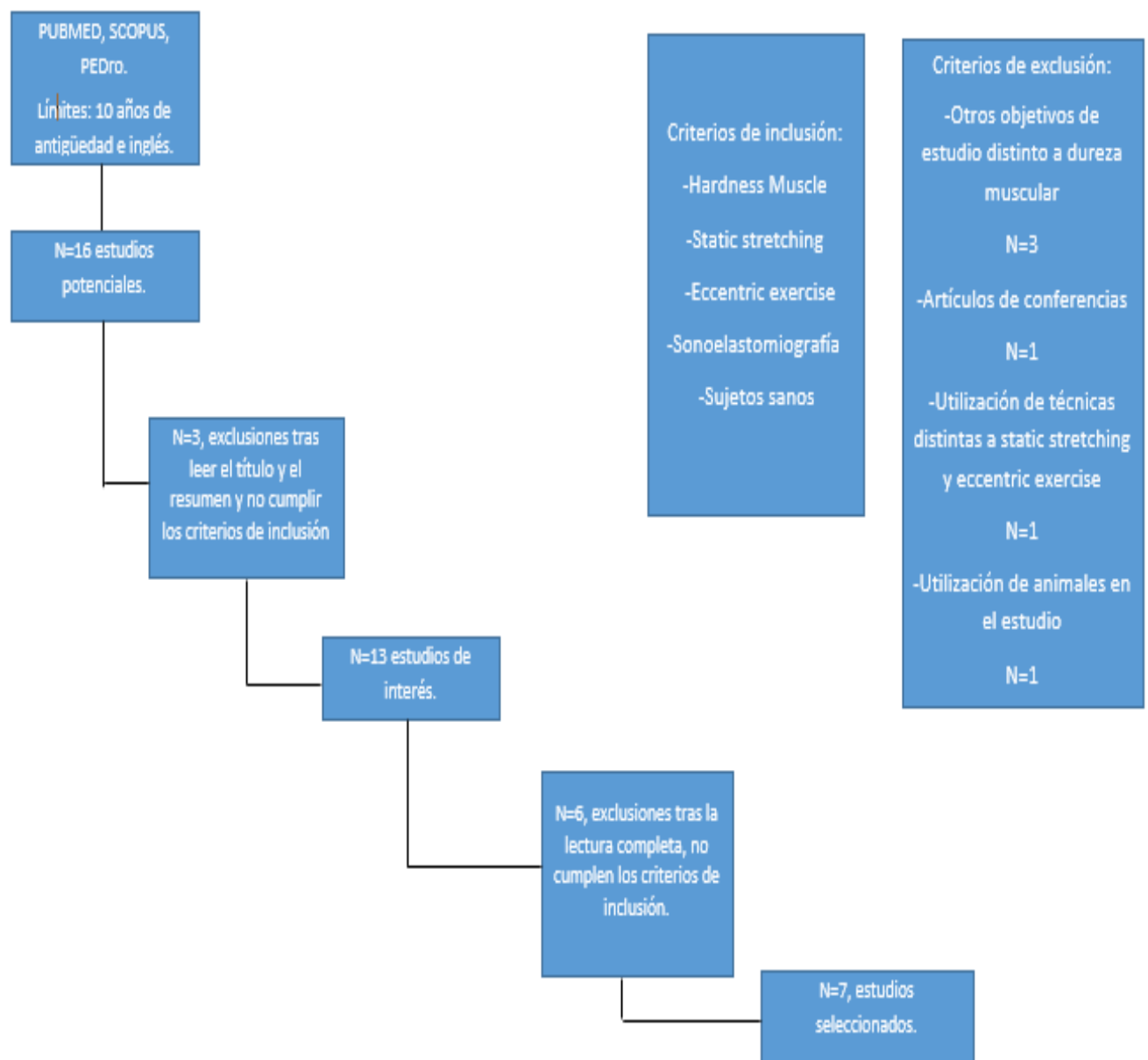
3.3 Criterios de exclusión

No se incluyeron en esta revisión aquellos estudios que utilizaban modelos animales, artículos de conferencias y aquellos estudios que no cumplieron los criterios de inclusión anteriormente mencionados.

RESULTADOS

En la primera búsqueda realizada se obtuvieron 16 artículos, los cuales se vieron reducidos a 13 estudios relevantes para la presente revisión tras realizar el sistema de selección de artículos anteriormente descrito. Tras realizar la lectura y revisión de los mismos, se desestimaron 2 de ellos por no cumplir los criterios de selección. Tras esto y realizar una lectura en profundidad de los mismos, se desearon 4 artículos por no cumplir con los criterios adecuados descritos en cuanto métodos utilizando, lo cual concluyo en un cómputo de 7 artículos (La estrategia de búsqueda utilizada, así como el sistema a seguir para la selección de estudios, se muestra en la flujograma de la figura 1.)

Figura 1. Flujograma



Por tanto, en la presente revisión, se identificaron 5 estudios, tabla 1, en los cuales se usaba la sonoelastografía como herramienta de medición de los posibles variaciones de la dureza muscular tras los estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos y todos los estudios cumplen los criterios de inclusión mencionados antes, medición de la dureza muscular, utilización del estiramiento estático y ejercicio excéntricos, utilización de la sonoelastografía y participación de sujetos sanos.

La tabla 1 del presente estudio, muestra y sintetiza la información más relevante de los estudios llevado a revisión. Se ha tratado de unificar los criterios de evaluación para tratar de comparar en las características y variables de los estudios. En este sentido, la variable principal de resultado que se busco estuvo en relación con la modificación en la dureza muscular cuantificada con sonoelasmografía, tras técnicas de modificación de la estructura (estiramiento, ejercicio físico, etc)

Los principales elementos referidos en la tabla 1 para el análisis de los estudios son: tipo de estudio, participantes, descripción del estudio y variables de resultados. El tipo de estudio está referido al diseño metodológico escogido por el autor para la realización del estudio. Descripción del estudio en el cual se hace un breve resumen del procedimiento realizado en el estudio. Variable de resultado, aquellas variables que han tomado como principales en su intervención y sobre las cuales se centran los resultados. La intervención en todos los casos se han centrado en los posibles o no cambios de la dureza muscular tras estiramientos estáticos. En este aspecto, las variables de resultado más destacados fueron KPa y Nm.

Dadas la naturaleza de los estudios llevado a estudio, así como el bajo volumen de evidencias localizadas al respecto, no ha sido posible encontrar una herramienta de evaluación de calidad metodológica adecuada para los estudios que se han incluido (cuasi-experimentales sin grupo control).

En la tabla 1 se puede apreciar que los estudios seleccionados para realizar la revisión sistemática son estudios cuasiexperimentales en los cuales usando la sonoelastografía evalúan la dureza muscular antes y después del estiramiento estático. El número de participantes presentes en la revisión sistemática es de 90 sujetos sanos (85 hombres y 5 mujeres). En la descripción de los estudios existen 2 tipos de estudios claramente diferenciados, los estudios que usan un programa de estiramientos estáticos y los estudios que usan un programa de ejercicios excéntricos. Sin embargo, los estudios presentan homogeneidad a la hora de medir los principales parámetros ya que en todos los estudios cuantifican los valores de hardness y stiffness muscular o ambos. En cuanto a las variables de resultados obtenidos ya sea en Nm o KPa, muchos estudios llegan a ser similares encontrando diferencias significativas en los parámetros de hardness y stiffness muscular entre los valores tomados antes y después del estiramiento estático o ejercicio excéntrico, todo ello explicado de manera más detallada en la discusión.

Tabla 1. Datos más relevantes de los estudios analizados

Estudio	Tipo de estudio	Nº de participantes	Descripción del estudio	Variable de los resultados
Taniguchi et al 2012	Estudio Cuasiexperimental	N=10 (5 male, 5 woman) Age(21.8±1,2 years)	The purpose of the study was to examine the acute effect of static stretching exercise on the resting stiffness of gastrocnemius muscle belly.	In the experimental group, immediately after stretching, shear modulus decreased by 1.18KPa (14.2%) compared with pre-stretching ($p<0.01$) when averaged across muscle heads.
A.Nordez et al 2008	Estudio Cuasiexperimental	N=9 (9 male) Age(25±3 years)	The local muscle hardness (LMH) of the gastrocnemius medialis (GM) belly was measured during a passive ankle stretching of 10 subject using transient elastography.	The passive torque was significantly ($p<0.01$) decreased after the static stretching protocol from 57.6±19.0 to 50.6±Nm (-12.2±8.9%). Conversely, no significant change in the y-intercept of the LMH-torque relationship was found (pre-test 1000±Pa; post-test: 1012±382 Pa; $p>0,05$)
O.Yanagisawa et al 2011	Estudio Cuasiexperimental	N=9 (9 male) Age(27.3±5.6 years)	To assess the feasibility of ultrasound real-time tissue elastography (RTE) for measuring exercise-induced changes in muscle hardness and to compare the findings of RTE with those of a tissue hardness meter for semi-quantitative assessment of the hardness of exercised muscle.	The muscle/reference ratio was significantly decreased immediately after exercise ($p<0.05$), but was restored to its pre-exercise value at 30 min after exercise. There was no significant difference between the value immediately after and at 30 min after exercise.

M.Niitsu et Al 2010	Estudio Cuasiexperimental	N=6 (6 male) Age (range 21-36 years)	To evaluate the feasibility of US elastography for investigating changes in muscle hardness after eccentric exercise of the elbow flexor muscle.	The changes in the durometer measurements were similar to those of the US elastography, except that two of the six subjects peaked at 1 day after, instead of 2 days after. In all subjects, none of the US elastography or durometer measurements for the control arm demonstrated significant changes ($P>0.05$), except for the US elastography values of subject C ($P>0.01$)
M.Nakamura et Al 2014	Estudio Cuasiexperimental	N=17 (17 male) Age (23.5 ± 2.6 years)	This study investigated the acute effects of static stretching (SS) on shear elastic modulus as an index of muscle hardness and muscle stiffness and the relationship between change in shear elastic modulus and change in muscle stiffness after SS.	Changes in variables between pre-SS and post-SS are summarized in Table 1. The post-SS value for muscle stiffness was significantly lower than the pre-SS value. *Shear elastic modulus at 0° (KPa): Significant difference between pre-SS and post-SS, $p<0.05$ *Shear elastic modulus at 30° (KPa): Significant difference between pre-SS and post-SS, $p<0.01$

Akagi et Al 2012	Estudio Cuasiexperimental	N=20 (20 male) Age (25.0±3.4 years)	The objective of this study is to investigate the acute effects of static stretching (SS) on muscle hardness of the gastrocnemius medialis (MG) and gastrocnemius lateralis (LG).	There were no significant differences between the relative changes in the MG and LG hardness ($P=0.895$, $r=0.031$) and between the muscle hardness ratios before and after SS ($P=0.805$, $r=0.058$). The correlation coefficient between the muscle hardness ratios before and after SS was significant ($r=0.793$, $P<0.001$).
Akagi and Takashashi 2013	Estudio Cuasiexperimental	N=19 (19 male) Age (23.7±2.3 years)	This study investigated the effects of a static stretching (SS) program on muscle hardnesses of the gastrocnemius medialis (MG) and gastrocnemius lateralis (LG).	Relative changes in the MG and LG hardnesses from pretest to posttest were $-9.5\pm10.6\%$ and $-9.4\pm7.7\%$ in the SS group, and $3.8\pm9.8\%$ and $3.6\pm9.6\%$ in the control group, respectively. A significant interaction between experimental group and muscle group was not found ($P=0.959$, $\eta_p^2=0.642$) but there was no significant main effect of muscle group on them ($P=0.974$, $\eta_p^2<0.001$).

DISCUSIÓN

En esta revisión sistemática hemos utilizado estos 7 estudios (1, 2, 4, 5, 6, 13,14) con el objetivo de conocer la efectividad de la sonoelastomiografía para medir las posibles variaciones de la dureza muscular tras los estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos.

Aun siendo el mismo objetivo, en esta revisión sistemática hay que diferenciar que en 2 estudios (4,5) evalúan los cambios del hardness y stiffness muscular tras realizar un programa de ejercicios excéntricos y en los otros 5 (1, 2, 6, 13,14) restantes lo evalúan tras realizar un programa de estiramientos estáticos.

En los artículos de (4,5) se utilizó un programa de ejercicios excéntricos, ambos estudios recogieron los valores de hardness muscular del musculo bíceps braquial tras realizar los ejercicios excéntricos. En estos valores, medidos por medio de la sonoelastomiografía inmediatamente después de realizar estos ejercicios, se produjeron un aumento de los valores del hardness muscular y por lo tanto hubo diferencias significativas coincidiendo con el nivel de significación ($p < 0.001$). Pero existe una gran diferencia entre estos dos estudios ya que en el estudio de Yanagisawa pasados 30 minutos del ejercicio excéntrico se restauraban a los valores del pre-ejercicio, por lo tanto no había diferencias significativas entre los valores inmediatos después del ejercicio y los valores 30 minutos después de la realización de los ejercicios excéntricos (el coeficiente de correlación de interclase de la dureza o hardness muscular era de 0.971 antes del ejercicio, 0.939 inmediatamente después del ejercicio y 0.959 a los 30 minutos después del ejercicio). En cambio, en el estudio de Niitsu después de aumentar los valores del hardness muscular inmediatamente después de los ejercicios excéntricos siguió aumentado alcanzando su punto máximo en 2 días después existiendo cambios significativos ($p > 0.05$). A pesar de estas diferencias ambos estudios llegaron a la conclusión de que la sonoelastomiografía es una técnica útil para la evaluación de la dureza muscular.

En los 5 estudios restantes (1, 2, 6, 13,14) se usó un programa de estiramientos estáticos y debido a la heterogeneidad que existe entre ellos debido a los distintos parámetros medidos antes y después de la realización de los estiramientos estáticos es más difícil relacionarlos y realizar una comparación entre ellos. Tras analizar todos los estudios detalladamente se han evaluado parámetros como ROM de dorsiflexión de tobillo, pennation angle, torque articular (joint torque) y stiffness de la unión musculo tendinosa de los flexores plantares además de los principales parámetros de esta revisión sistemática que son hardness y stiffness muscular. A pesar de ello podemos encontrar un hilo conductor entre 3 estudios (1, 2,6)) que presentan homogeneidad en cuanto a los parámetros de stiffness muscular, hardness o dureza muscular y ROM de dorsiflexión

del tobillo medido en KPa y grados respectivamente en los cuales existen diferencias significativas entre los valores tomados antes y después del estiramiento estático en los gemelos tanto internos como externos.

En cuanto al stiffness, en estos 3 estudios existe una disminución significativa como por ejemplo se puede ver en el estudio de (6) en el cual el valor en el post-SS es de $(27.0 \pm 7.3 \text{ KPa})$ y el valor del pre-SS es de $(33.5 \pm 6.4 \text{ KPa})$ existiendo una diferencia significativa entre estos valores de $(p < 0.01)$.

En relación al hardness o dureza muscular, hubo disminución significativa en todos los estudios y un ejemplo de ello es el estudio de (1) en el cual se produjo una disminución de este parámetro siendo el valor del pre-SS $(24.0 \pm 5.8 \text{ KPa})$ y el valor del post-SS $(27.6 \pm 7.3 \text{ KPa})$ por lo tanto existe una diferencia significativa de $(p < 0.001)$.

Por último en el parámetro de ROM de dorsiflexión del tobillo también sufrió un cambio significativo siendo los valores de este parámetro en el estudio de (2) de $(p > 0.01)$ ya que incremento el ROM inmediatamente después del estiramiento estático de (39°) (30.7%) y retornó $(P = 0.352)$ al valor de pre-SS a los 20 minutos después de este.

Existen 2 estudios en esta revisión sistemática los cuales son diferentes al resto de estudios que son el estudio de (13) y el programa de estiramientos de durante 5 semanas de (14).

En el estudio (14) basado en el programa de estiramientos no se hallaron diferencias significativas en el parámetro de hardness muscular entre el grupo control y el grupo experimental los cuales realizaban el programa de estiramientos estáticos ya que el valor de hardness muscular en el gemelo interno en el grupo control fue de $(27.0 \pm 5.9 \text{ KPa})$ y el valor del grupo de los estiramientos fue de $(27.3 \pm 7.3 \text{ KPa})$ habiendo una interacción de (0.454) pero no encontraron diferencias significativas en parámetros como torque articular, stiffness de la unión musculo-tendinosa de los flexores plantares o en el ROM de dorsiflexión del tobillo

Y por último en el estudio de (13), los parámetros evaluados más relacionados con el resto de estudios fueron los parámetros tras el efecto de los estiramientos estáticos que fue el torque pasivo en el cual encontraron diferencias significativas $(p > 0.01)$ ya que el valor de este parámetro tras el programa de estiramientos fue de $(57.6 \pm 18.0 \text{ Nm})$ y el valor del torque pasivo antes del este programa fue de $(50.6 \pm 16.6 \text{ Nm})$ $(-12.2 \pm 8.9\%)$. El esto de parámetros evaluados se basaba en encontrar la relación entre hardness muscular local del ángulo y hardness muscular torque (LMH-angle and LMH-torque relationships).

CONCLUSIÓN

Tras realizar esta revisión sistemática queda claro que la sonoelastomiografía es un aparato que está abriendo muchas puertas en el cambio de la evaluación y diagnóstico.

En todos los estudios que forman esta revisión la sonoelastomiografía ha sido capaz de cuantificar las variaciones del hardness o dureza y stiffness muscular con gran precisión y demuestra por lo tanto que existen variaciones entre valores tomados antes y después de realizar ejercicios excéntricos y estiramientos estáticos.

Por lo tanto llegamos a la conclusión de que la sonoelastomiografía es un aparato efectivo a la hora de medir las posibles variaciones de la dureza muscular tras realizar un programa de estiramientos estáticos y ejercicios excéntricos y por lo tanto la sonoelastomiografía podría convertirse en una herramienta adicional para la evaluación clínica de la dureza del tejido musculotendinoso.

Bibliografía

- (1). Akagi, R., & Takahashi, H. (2013). Acute effect of static stretching on hardness of the gastrocnemius muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(7), 1348-1354.
- (2). Taniguchi, K., Shinohara, M., Nozaki, S., & Katayose, M. (2015). Acute decrease in the stiffness of resting muscle belly due to static stretching. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(1), 32-40.
- (3). F.Guzmán Aroca, O.Abellán Rivera y M. Reus Pintado. (2014). La sonoelastografía: una nueva aplicación de la ecografía ¿Cuál es su utilidad clínica? *Radiología*, 290-294.
- (4). Yanagisawa, O., Niitsu, M., Kurihara, T., & Fukubayashi, T. (2011). Evaluation of human muscle hardness after dynamic exercise with ultrasound real-time tissue elastography: a feasibility study. *Clinical Radiology*, 66(9), 815-819.
- (5). Niitsu, M., Michizaki, A., Endo, A., Takei, H., & Yanagisawa, O. (2011). Muscle hardness measurement by using ultrasound elastography: a feasibility study. *Acta Radiologica (Stockholm, Sweden: 1987)*, 52(1), 99-105.
- (6). Nakamura, M., Ikezoe, T., Kobayashi, T., Umegaki, H., Takeno, Y., Nishishita, S., & Ichihashi, N. (2014). Acute effects of static stretching on muscle hardness of the medial gastrocnemius muscle belly in humans: an ultrasonic shear-wave elastography study. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 40(9), 1991-1997.
- (7). Bruschetta, D., Milardi, D., Trimarchi, F., DI Mauro, D., Valenti, A., Arrigo, A., ... Cacciola, A. (2016). Muscle contracture diagnosis: the role of sonoelastography. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- (8). Galletti, S., Oliva, F., Masiero, S., Frizziero, A., Galletti, R., Schiavone, C., ... Abate, M. (2015). Sonoelastography in the diagnosis of tendinopathies: an added value. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 5(4), 325-330.
- (9). Hong, S. K., Song, J. W., Woo, S. B., Kim, J. M., Kim, T. E., & Lee, Z. I. (2016). Clinical Usefulness of Sonoelastography in Infants With Congenital Muscular Torticollis. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(1), 28-33.
- (10). Jiménez Gozalo, A. (2012). Effects of static stretching on force development. *AGON International Journal of Sport Sciences*, 98-105.

(11). Rompe JD, Furia J, Maffulli N. Eccentric loading versus eccentric loading plus shock-wave treatment for midportion achilles tendinopathy: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2009 Mar; 37(3):463-470.

(12). Rees JD, Wolman RL, Wilson A. Eccentric exercises; why do they work, what are the problems and how can we improve them? *Br J Sports Med* 2009 Apr; 43(4):242-246.

(13). Nordez, A., Gennisson, J. L., Casari, P., Catheline, S., & Cornu, C. (2008). Characterization of muscle belly elastic properties during passive stretching using transient elastography. *Journal of Biomechanics*, 41(10), 2305-2311.

(14). Akagi, R., & Takahashi, H. (2014). Effect of a 5-week static stretching program on hardness of the gastrocnemius muscle. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(6), 950-957.