



Universidad de Valladolid

Facultad de Medicina

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Medicina

“Aplicación de la Shear Wave
Elastography en la patología
músculo esquelética”

Presentado por:

Sara Amandi Facorro

Tutelado por

Dr. Héctor J. Aguado Hernández

ÍNDICE

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. MATERIALES Y MÉTODOS

4. REVISIÓN DEL TEMA

- I. ¿Qué es la Elastografía?
- II. Modalidades de la Elastografía

5. DISCUSIÓN

- I. Validez de la Shear Wave Elastography
- II. Comparación con otras técnicas: RMN y EMG
- III. Aplicaciones clínicas de la Shear Wave Elastography
- IV. Utilidad de la Shear Wave Elastography en el seguimiento de la regeneración musculo esquelética en patología traumática

6. CONCLUSIÓN

7. RESPONSABILIDADES ÉTICAS

8. BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

La Elastografía, unida a la técnica con ultrasonidos, es una nueva modalidad de técnica de imagen, con la que se reflejan en tiempo real los parámetros relacionados con la organización estructural de los tejidos (elasticidad) respecto de los tejidos adyacentes. De esta manera, aporta una información que junto a las propiedades morfológicas que proporciona la ecografía convencional y el modo- Doppler puede resultar útil en la práctica clínica.

Aunque la *Shear Wave Elastography* (SWE) , fue inicialmente introducida en la en otro tipo de localizaciones anatómicas, como próstata, mama o hígado, ha crecido la evidencia en los últimos años, de que puede convertirse en una herramienta muy útil para la evaluación de las propiedades elásticas en el aparato locomotor y para el diagnóstico de diversas patologías dentro de él. A día de hoy, los resultados que se observan en los múltiples estudios realizados en el sistema músculo esquelético, plantean la posibilidad de que esta técnica constituya el futuro tercer pilar de la imagen en la ecografía.

En este trabajo se pretende realizar una revisión de lo que es la Elastografía y específicamente de la modalidad, *Shear Wave Elastography* (SWE), y defender su validez en su aplicación al diagnóstico sistema musculo esquelético y en el seguimiento de la regeneración de lesiones traumáticas.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades biomecánicas del sistema musculoesquelético son difíciles de evaluar porque sus componentes anatómicos están formados por tejidos muy especializados, con un complejo desempeño de su función, tanto de manera activa como de manera pasiva. Estas características son importantes dentro de la aplicación a la medicina, por su uso diagnóstico, terapéutico y pronóstico de diferentes procesos clínicos, por lo que al conocer estas características mecánicas del músculo se puede llegar a un mejor entendimiento del mismo y de los mecanismos responsables de las adaptaciones a las que se ve sometido (agudas y crónicas).

Los Ultrasonidos son una técnica imprescindible dentro de la imagen médica para el análisis de los tejidos blandos. La reciente aparición comercial de la Elastografía ha permitido una exactitud mucho mayor en su estudio.

El término Elastografía fue inicialmente descrito por Ophir en 1991 como un método para retratar las propiedades de tensión de los tejidos biológicos, y fue más tarde perfeccionada por Pesavento, lo que permitió su aplicación clínica. Utilizando esta técnica se comprime el tejido y la elasticidad tisular resultante se refleja en una imagen. (1) (4)

A lo largo de la historia, la dureza de los tejidos ha servido como marcador de patología a través de la palpación manual. Generalmente los tejidos malignos son más duros que los tejidos benignos, hecho que podemos verificar con dicha palpación. Este concepto se ha extendido al campo de los ultrasonidos, estableciéndose mapas de la dureza de los tejidos juntos con las imágenes anatómicas.

La Elastografía, unida a la técnica con ultrasonidos, es una nueva modalidad de técnica de imagen, con la que se reflejan en tiempo real los parámetros relacionados con la organización estructural de los tejidos (elasticidad) respecto de los tejidos adyacentes. De esta manera, la evaluación de la elasticidad de los tejidos, nos aporta una información que junto a las propiedades morfológicas que nos proporciona la ecografía convencional y el modo- Doppler nos puede ayudar en el diagnóstico ecográfico y en el seguimiento de patologías, haciendo especial mención al seguimiento de la regeneración que sigue el músculo tras una lesión traumática.(29)

MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración de este Trabajo de Fin de Grado ha tratado de reunir las pruebas científicas más eficientes y determinantes sobre todas las cuestiones que rodean a una técnica tan novedosa y en expansión como es la *Shear Wave Elastography* (SWE), para el diagnóstico de lesiones del sistema músculo esquelético.

Se ha realizado una revisión bibliográfica de los artículos más relevantes sobre la Elastografía, una nueva modalidad dentro de los Ultrasonidos. Se ha centrado la revisión particularmente sobre la validez, las características, y posibles aplicaciones clínicas de la SWE, comparándola además con otras pruebas diagnósticas.

La búsqueda ha sido restringida a estudios publicados en Inglés y en Español, y durante la última década, ya que el empleo en la práctica clínica de esta nueva ecografía se remonta a poco menos de 10 años, sufriendo en los última época un espectacular avance.

Se han utilizado datos tanto de revistas médicas nacionales como de revistas internacionales, de 17 publicaciones en total.

REVISIÓN DEL TEMA

- 1. ¿Qué es la elastografía?**
- 2. Modalidades de elastografía**

1. ¿Qué es la Elastografía?

Cada tejido en el organismo tiene unas determinadas cualidades mecánicas que lo caracterizan y en función de ello, es decir de la manera y la velocidad con la que el sonido atraviese el tejido, este se comportará de una manera u otra, devolviendo al explorador una imagen característica.

Los diferentes tipos de elastografía se basan en la hipótesis de que los tejidos blandos se deforman más que los tejidos duros, y que este hecho puede ser

cuantificado y diferenciado mediante imágenes. Este nuevo avance no solo queda restringido al campo de los ultrasonidos, sino que continúa creciendo junto a otras técnicas de imagen como la Resonancia Magnética (RMN), siguiendo los mismos principios de excitación mecánica.

La **Elastosonografía** (SE) es una técnica de imagen introducida hace apenas poco más de una década, y es el resultado de la combinación entre la elastografía y la ecografía en modo B, donde se muestran, en tiempo real, los aspectos relativos a la organización estructural de los tejidos a examen. De este manera, vemos reflejadas, en una técnica no invasiva, las propiedades mecánicas de cada tipo tisular.

En el uso médico, la SE requiere la aplicación de un estrés mecánico en los tejidos y después la medida del desplazamiento antes e inmediatamente después del estrés como estimación de la tensión. Los tejidos suaves tienen un alto contenido en agua y son poco valorables en este sentido, por lo que se requieren equipos muy sofisticados para medir pequeños desplazamientos de los tejidos.

La descripción de la rigidez y tensión evaluadas en la SE se ve en la imagen de tiempo real en escalas de grises y en color con un orden ascendente en una escala de colores, que puede ser diferente en cada sistema de US: rojo, amarillo, verde y azul, con lo que se puede obtener la siguiente interpretación:

1) rojo (tejido suave), 2) verde y amarillo (tejidos de condiciones intermedias y 3) azul (tejido de condiciones rígidas importantes)

Esta integración se basa en la deformidad tisular reactiva a la aplicación de una determinada presión, por lo que se determina que los tejidos suaves desarrollan una mayor deformidad y tejidos con mayor dureza presentan menos deformidad; esto también nos lleva a determinar unos patrones intermedios y valores para algunas tonalidades en la interpretación de la SE(2).

2. Modalidades de Elastografía

En la actualidad se disponen de varios tipos bien diferenciados de elastografía, dependiendo de la diferencia en el estrés aplicado y en el método utilizado para detectar el desplazamiento de los tejidos y hacer una reconstrucción de la imagen. entre las que luego destacaré la *Shear Wave Elastography* (SWE) (3):

1. Strain Elastography
2. Shear Wave Elastography
3. Transient Elastography

1. Strain Elastography: Con esta técnica se adquieren primero los datos correspondientes a la anatomía de los tejidos antes de aplicar ningún estrés mecánico. Posteriormente, se aplica una pequeña presión mediante un compresor externo, un transductor, y se adquiere otro mapa diferente de la anatomía tisular (post-compresión). El desplazamiento del tejido que se ha deformado se calcula mediante la comparación de estos dos mapas y se refleja a su vez en un nuevo mapa de colores.

La “Strain Elastography” tiene muchas desventajas potenciales incluida la variabilidad en cuanto a la presión aplicada con el transductor sobre el tejido. Este hecho puede ser en parte compensado con un representación gráfica de la adecuabilidad de la comprensión, sin embargo la variación en la extrapolación intra e interobservador sigue permaneciendo. Se recomiendan al menos, tres ciclos de compresión – descompresión para poder acercarse a una mayor exactitud en la medición, sin embargo la manipulación en exceso de los tejidos puede alterarlos aunque sea necesaria.

Además requiere una correcta alineación de la sonda, siendo óptima la alineación en el eje longitudinal, ya que la compresión en el plano transversal hace aumentar la cantidad de artefactos.

Por último se presentan limitaciones relacionadas con la anatomía ósea, como por ejemplo en la zona del tobillo, por la imposibilidad de ejercer una presión correcta y en la zona de interés (4)

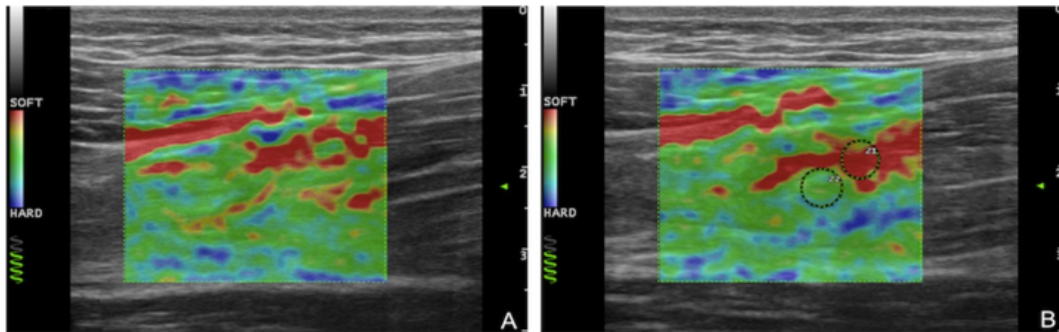


Figura 1. Strain Elastography

2. **Shear Wave Elastography (SWE):** También denominada Elastosonografía cuantitativa, y tema de mi trabajo, mide el desplazamiento tisular independientemente de la presión aplicada, al enviar microimpulsos acústicos, generados por un transductor, con niveles mínimos de energía, hacia los tejidos que queremos analizar.

Esta disposición de la energía a través de los tejidos crea ondas transversales, también llamadas ondas de corte, que son perpendiculares con respecto al pulso de energía.

De esta forma, se crea un mapa tisular relativo al desplazamiento de las estructuras circundantes.

Cuanto más rígido es un tejido, más rápido de propagan las ondas de corte a través de él.

La ventaja de esta con respecto a la anterior es obvia: el hecho de que el sistema desplace el tejido y no sea necesario comprimir con el transductor mejora la consistencia de la información obtenida, por lo que se reduce mucho la variabilidad intra e interobservador ofreciendo por tanto una mayor reproducibilidad.

Además es una técnica que nos proporciona características cuantitativas precisas al contrario que la *Strain Elastography*, que es cualitativa y que mide los parámetros en tiempo real (5)

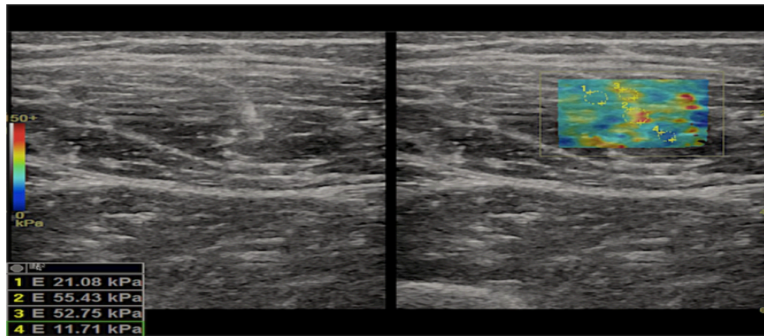


Figura 2. Shear Wave Elastography

3. **Transient Elastography**: Por último, se dispone de una última variedad de ES, que se basa en la generación de un único impulso de energía. Este método está disponible para múltiples localizaciones anatómicas, sobre todo en el estudio del hígado pero no está actualmente comercializada para el sistema musculoesquelético (3).

DISCUSIÓN

1. **Validez de la SWE**
2. **Comparación con otras técnicas: RMN y EMG**
3. **Aplicaciones clínicas SWE**
4. **Utilidad de la SWE en el seguimiento de la regeneración musculoesquelética en patología traumática**

1. Validez de la SWE

Aunque la *Shear Wave Elastography* (SWE) , fue inicialmente introducida en la práctica clínica en otro tipo de localizaciones anatómicas, como próstata, mama o hígado, ha crecido la evidencia en los últimos años, de que puede convertirse en una herramienta muy útil para la evaluación de las propiedades elásticas en el aparato locomotor y para el diagnóstico de diversas patologías dentro de él (28)

Las posibilidades que puede ofrecer la técnica son muy variadas y de gran utilidad: (6)

1. Mediante ella podemos realizar exploraciones dinámicas, lo cual es una de sus ventajas fundamentales, y tiene una gran importancia en el estudio de determinadas patologías, para determinar la existencia y el grado de lesión, y poder seguir la evolución de la misma
2. Nos permite interactuar con el paciente, precisar y explorar el punto doloroso si lo hubiera y la posibilidad de comprimir, también diferencia lesiones sólidas y quísticas.
3. No existen contraindicaciones relacionadas con la susceptibilidad magnética, por lo que podemos valorar las lesiones en zonas con prótesis u otro tipo de implantes metálicos.
4. Otra ventaja fundamental ofrece es que permite guiar procedimientos intervencionistas, tanto con finalidad diagnóstica como terapéutica. Esto es muy importante para la monitorización de la eficacia de un tratamiento .
5. A todas estas razones habría que añadir la disponibilidad y accesibilidad que tiene, y su rentabilidad, ya que es significativamente más barata en tiempo, dinero y disponibilidad que otras pruebas de imagen como la Resonancia Magnética.

Todas estas ventajas nos la podría proporcionar de manera genérica la aplicación de una ecografía convencional, por lo que si además, añadimos las posibilidades de caracterización que nos ofrece la SWE, se aporta un valor añadido en la valoración de la estructura que analizamos, cuantificando componentes inflamatorios, degenerativos o evolutivos.

A pesar de todas las ventajas que nos ofrece la SWE, tiene ciertas limitaciones que no pueden ser pasadas por alto: (4)

1. Las ondas de corte se ven atenuadas en la profundidad de los tejidos (exactamente a unos 9 cm de la piel) y por tanto los tejidos que se encuentran muy profundos no se podrán analizar. Sin embargo, es necesario una adecuada profundidad en el tejido para que se generen las ondas de corte, por lo que los tejidos muy superficiales, tampoco se

- pueden estudiar. Esto puede ser compensado, en parte, con la utilización de un gel en el paciente.
2. Las ondas de corte no se generan a través de los fluidos, por lo que no se pueden analizar correctamente las estructuras quísticas.
 3. El tamaño de la región a estudio puede potencialmente afectar las medidas de las ondas de corte.
 4. Puede tener cierta influencia también la presión con la que se aplica el transductor sobre la piel del enfermo, aunque esta influencia no es tan grande como en la *Strain Elastography*
 5. La evaluación del tejido en un plano transversal vs en el plano longitudinal puede afectar a la medición de la anisotropía de las ondas de corte.
 6. La radiación acústica requiere para generar ondas de corte depósitos de energía en los tejidos, manifestados en parte como calor. Esto es un hecho que debe tenerse en cuenta en mediciones repetidas, por el efecto adverso que puede tener el calor, alterando las mediciones o causando daño potencial en los tejidos.
 7. Los valores medidos de las ondas de corte están expresados como velocidad en m/s o como rigidez en kPa. La elasticidad expresada en kPa puede aproximarse a velocidad de onda de corte usando la siguiente ecuación : $E = 3rc^2$, donde E es módulo de Young, r densidad y la c es la velocidad del sonido.
Este método para convertir valores es útil sobre todo en tejidos isotrópicos , con potencial para un desplazamiento mas rápido de las ondas de corta a través del tendón en un plano longitudinal.
Pero hay que tener cuidado al hacer este tipo de comparaciones, porque no son directamente comparables.
 8. Hay que tener especial cuidado en la reproducibilidad de la técnica entre equipos de distintas empresas.

Por todas las razones explicadas anteriormente, un abordaje de la técnica de manera sistemática y estructurada ayudaría a eliminar muchos de los problemas técnicos. La estandarización no sólo aseguraría la exactitud de los

resultados, sino que también detectaría diferencias a tiempo real que podrían ser atribuidas a cambios fisiológicos.

Con el objetivo de mejorar en relación con su uso en tejidos superficiales, una colaboración más estrecha entre la industria y los investigadores clínicos permitiría el desarrollo de protocolos optimizados, dedicados específicamente a la aplicación musculoesquelética, que es la más novedosa y en la que menos experiencia clínica se tiene.

Por último y muy importante, sería necesario establecer y escoger las indicaciones precisas: estaría orientada idealmente a aquellos pacientes con síntomas pero no cambios evidentes en la US convencional, pacientes en riesgo o con estadios muy tempranos de enfermedad, con el propósito de realizar una investigación más sensible de lo que nos pudiera facilitar otra técnica convencional, como puede ser en la evaluación de la regeneración del sistema músculo esquelético en la práctica clínica y en la investigación animal.

2. Comparación con otras técnicas: RMN y EMG

A) Resonancia Magnética Nuclear (RMN):

¿Es realmente necesaria la RMN en la patología musculotendinosa?(6)

La RMN es una técnica suficientemente reconocida que no necesita defensa.

Supuso un avance muy importante en el diagnóstico de enfermedades ortopédicas, superando con creces a las técnicas existentes hasta ese momento, y se convirtió en la técnica de elección por excelencia.

Permite gran discriminación tisular, capacidad multiplanar, y lo más importante, que se trata de una técnica objetiva, poco dependiente del observador, y que puede ser valorada por diferentes profesionales.

Sin embargo, desde el momento en el que se introdujo en la práctica clínica la ecografía, y con sus posteriores avances (como la introducción del Doppler, la elastografía y específicamente la SWE), ha permitido la detección de manera muy precisa de alteraciones sutiles, con lo que supera claramente en este sentido a la RMN en determinadas situaciones.

Ha demostrado su capacidad para el estudio de manera satisfactoria de las estructuras que forman el aparato locomotor, identificando tendones y ligamentos con su patrón fibrilar, producido por las bandas de colágeno, o el patrón fascicular de los nervios.

Además, datos preliminares muestran que la ES puede ser incluso más sensible que la RMN en la detección de cambios subclínicos en el músculo y en el tendón y que por lo tanto puede ser válida para la evaluación en diagnóstico precoz, y útil durante tratamientos rehabilitadores. (3)

B)Electromiografía (EMG):

La estimación de la fuerza del músculo nos puede proporcionar mucha información con respecto a la fisiología neuromuscular, el control motor y la biomecánica. También puede ayudar a mejorar el diagnóstico y el manejo de enfermedades traumatológicas y neuromusculares.

Clásicamente, la técnica usada para su evaluación era la EMG, pero tiene bastantes limitaciones inherentes a ella que pueden alterar la estimación de los datos.

Algunas de esas limitaciones son:

1. La señal de EMG depende en gran parte de la colocación de los electrodos, ya que se obtienen valores diferentes dependiendo de si se encuentran más cerca de la unión miotendinosa (menor activación registrada) o más cerca de la zona de inervación (mayor activación).
2. Por otro lado, no sólo es importante la donde se posiciona el electrodo en el vientre muscular sino que además la señal puede ser alterada por el ruido ambiente, la impedancia de la piel, la cantidad de grasa corporal, el nivel de hidratación... Por ello, es esencial una estricta colocación de los electrodos de forma homogénea para un mismo sujeto y entre los diferentes sujetos, además de limpiar bien la piel, aplicar un gel conductor, etc.

Aunque han sido propuestas múltiples alternativas en la literatura para estimar la fuerza muscular, con o sin los datos de la EMG, estos modelos no pueden ser validados con total seguridad por la falta de exactitud en los procedimientos experimentales in vivo.(7) (8)

Por las propias características de los tejidos, se puede establecer una relación lineal entre la dureza del músculo y la fuerza muscular durante la contracción. Sin embargo, algunos de los métodos empleados clásicamente para la evaluación in vivo de la dureza muscular, lo evalúan solo a nivel articular, sin ningún tipo de diferenciación entre estructuras (músculo, tendón o articulación) ni entre los diferentes músculos implicados en el movimiento.

Estos problemas podrían ser solventados mediante la utilización de la SWE, ya que se han obtenido resultados prometedores en su aplicación para este fin, incluso se han obtenido medidas más exactas usando la SWE que con la EMG medida en superficie (8).

3.Aplicaciones clínicas de la SWE

A)Tendones:

La obtención de imágenes de tendones mediante elastografía no es fácil, y de hecho, las técnicas que podrían resultar válidas, siguen en desarrollo. En años recientes, ha sido probado su uso en tendones de voluntarios sanos y enfermos.

Los tendones son tejidos con una dureza muy alta, y en casos de degeneración o heridas, su dureza cambia en varios grados. Estudios realizados en el tendón de Aquiles sugieren que la SWE puede ser usada para la evaluación y de los efectos del ejercicio en atletas sanos y pacientes que se encuentran en tratamientos de rehabilitación. (4) (9)

B) Músculos:

En la práctica clínica, la espasticidad muscular en ictus, daños en la médula espinal, miopatías, dolor miofascial, y la evaluación de pacientes que están en tratamientos de rehabilitación muscular, habían sido clásicamente medidos con técnicas rudimentarias como la palpación manual.

El uso de la SWE para estudiar músculos ha aumentado exponencialmente en los últimos años.

Permite la visualización de los parámetros requeridos en tiempo real, durante movimiento activo o pasivo, y debido a esto se ha posicionado como la modalidad de estudio más prometedora dentro del músculo.

Puede usarse para la evaluación y la comparación muscular en articulaciones de manera bilateral, un rendimiento mejorado para el entendimiento en el estudio de un paciente individualmente, sin la necesidad de completar mediante otras técnicas el examen físico.

Los estudios han tratado de desarrollar un protocolo fiable para la SWE para superar las dificultades en la evaluación de los músculos, incluyendo la contracción voluntaria, fatiga y temblor, la contracción muscular por discomfort, e infiltración grasa de los músculos, así como la alta anisotropía que se encuentra presente de manera innata, la variedad de posiciones, y el grado de contracción (4) (9)

4. Utilidad de la SWE en el seguimiento de la regeneración musculoesquelética en patología traumática

El sistema musculoesquelético es un tejido muy dinámico, tanto física, facilitando interacciones de nuestro organismo con el medio, como biológicamente, respondiendo y adaptándose continuamente a la presencia o a la ausencia de señales mecánicas o biomecánicas.

La función del tejido muscular esquelético está altamente relacionada con la masa muscular y con la fuerza, pero hay que tener en cuenta numerosos cambios en la composición y en la estructura de los tejidos, y que pueden alterar también la función muscular, como pueden ser: el contenido de masa intramuscular, la densidad capilar, la cantidad de tejido conectivo intramuscular, o el colágeno (10)

Aunque muchas de estas características sólo pueden evaluarse mediante pruebas invasivas como la biopsia muscular o con la RMN (técnica muy cara y que consume mucho tiempo) la variación en el contenido del colágeno está íntimamente ligado a variaciones en la dureza pasiva del músculo, lo que permitiría barajar otras opciones en su estudio.

En base a esto, una posible indicación novedosa de la SWE sería el diagnóstico y posterior seguimiento de la regeneración musculoesquelética en la patología traumática, ya que tras una lesión muscular y como parte de la proceso que experimenta el tejido, se ponen en funcionamiento una serie de respuestas, con las que aumenta la producción del tejido conectivo y con ello variaciones en la elasticidad del músculo. Su aplicación en este campo sería mucho más sencilla que las otras opciones antes mencionadas, y se podría realizar el proceso de manera no invasiva, siendo mucho más cómodo y preferible por el paciente.

Durante el proceso de reparación, parece ser que existe una “carrera” entre el proceso de regeneración muscular y de formación de cicatriz fibrosa. En esta carrera, es muy importante la membrana basal que rodea a las células musculares. Si está intacta, actúa como barrera a la infiltración de fibroblastos, y también como guía para la regeneración muscular. Si la lesión es más grave y la membrana basal está rota y muy separada entre sí, el espacio se rellena de tejido de granulación, que posteriormente se convierte en una cicatriz fibrosa. Actualmente se están investigando métodos para acelerar la regeneración muscular (por ejemplo, a través de la adición de IGF-1) e impedir o retrasar la fibrosis (por ejemplo, neutralizando la acción del factor TGF- β 1).

(11)

Un hallazgo que suele acompañar a la inmovilización es el aumento de tejido conjuntivo en relación con los tejidos contráctiles del músculo. Este tejido conjuntivo no se alinea de forma paralela a las fibras musculares, de tal manera, que este aumento de su tamaño y estructura aumentará la rigidez del músculo. En cambio con un tratamiento de movilización precoz, las propiedades tensoras de los músculos lesionados recuperan su nivel anterior a la lesión en un tiempo corto. Cuando la movilización se inicia tras un breve período de inmovilización, se observa que la penetración de las fibras musculares en el tejido conjuntivo es mayor y que la orientación de las fibras musculares regeneradas está alineada con las fibras musculares intactas.(12)

Aplicando estos conocimientos básicos en cuanto al proceso que sigue el músculo en la rehabilitación después de una lesión, podríamos aplicar las mediciones de la dureza y la elasticidad de los tejidos que nos proporciona la SWE para realizar un seguimiento continuado del paciente y valorar según su evolución la necesidad de algún tratamiento adicional.

Nos permitiría un seguimiento a través del tiempo y también de la función muscular, cosa fundamental y que no nos ofrece la histología, ya que únicamente evalúa la arquitectura tisular en un momento determinado, además de otras múltiples ventajas que nos ofrece, como su no agresividad.

Realizar una evaluación comparando los hallazgos ofrecidos por la histología de una biopsia muscular con los hallazgos a tiempo real de la SWE nos servirá para en un futuro mejorar y desarrollar esta aplicación de la SWE en la patología musculoesquelética.

CONCLUSIÓN

La ES representa probablemente el avance más importante en el campo de los ultrasonidos desde el desarrollo de la imagen Doppler. Tiene muchas ventajas con respecto a otras técnicas de medición de la elasticidad tisular (bajo precio, es rápida, no invasiva y tiene mucha más disponibilidad en la práctica clínica)

A día de hoy, no es aún una técnica totalmente estandarizada, sin embargo, los resultados que se observan en los múltiples estudios realizados en el sistema músculo esquelético, plantean la posibilidad de que esta técnica constituya el futuro tercer pilar de la imagen en la ecografía ya que constituye un tipo de una técnica que nos proporciona características cuantitativas precisas de los tejidos que estamos estudiando.

De este modo se aportaría una información complementaria sobre la elasticidad de los tejidos que junto a la imagen anatómica del modo B y vascular del modo-Doppler nos acercaría un poco más al diagnóstico definitivo sin tener que recurrir a otras técnicas más agresivas o costosas.

Con respecto a la clínica, los resultados que se obtienen en la actualidad en la aplicación de la técnica apoyan el futuro uso de la SWE, tanto para la medición del tono, contracturas musculares, el efecto de diferentes tratamientos sobre el músculo (estiramiento pasivo, estimulación eléctrica..), en miopatías, en patologías que cursen con espasticidad muscular...etc, haciendo mención especial como posible indicación muy prometedora, la aplicación en el seguimiento de la regeneración muscular.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. La autora declara que para este Trabajo de Fin de Grado no se han realizado experimentos en seres humanos ni animales.

Confidencialidad de los datos. La autora declaran que en este Trabajo de Fin de Grado no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. La autora declara que en este Trabajo de Fin de Grado no aparecen datos de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Guzmán Aroca F, Abellán Rivera D, Reus Pintado M. La elastografía: una nueva aplicación de la ecografía. ¿Cuál es su utilidad clínica? Radiología [Internet]. 2014;56(4):290–4. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0033833812002469>
2. Hernandez C. Elastografía como Método de Evaluación de la Biomecánica Muscular. 2015;29(May):125–34.
3. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. Br J Radiol. 2012;85(1019):1435–45.
4. Winn N, Lalam R, Cassar-Pullicino V. Sonoelastography in the musculoskeletal system: Current role and future directions. World J Radiol [Internet]. 2016 Nov 28 [cited 2017 May 28];8(11):868–79. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27928468>
5. Xiang-Mei C. Shear Wave Elastographic Characterization of Normal and Torn Achilles Tendons. J Ultrasound Med. 2013;449–55.
6. García P, Morís RM. ¿ Es necesaria la resonancia magnética en la patología musculotendinosa ? 2016;58(1):2–6.
7. Kot BCW, Zhang ZJ, Lee AWC, Leung VYF, Fu SN. Elastic Modulus of Muscle and Tendon with Shear Wave Ultrasound Elastography: Variations with Different Technical Settings. PLoS One. 2012;7(8):2–7.

8. Bouillard K, Nordez A, Hug F. Estimation of individual muscle force using elastography. *PLoS One*. 2011;6(12).
9. Ryu J, Jeong WK. Current status of musculoskeletal application of shear wave elastography. *Ultrasonography* [Internet]. 2017;1–13. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28292005>
10. Eby SF, Cloud BA, Brandenburg JE, Giambini H, Song P, Chen S, et al. Shear wave elastography of passive skeletal muscle stiffness: Influences of sex and age throughout adulthood. *Clin Biomech* [Internet]. 2015;30(1):22–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.11.011>
11. D. Delgado Martínez A. TRAUMATOLOGÍA DE URGENCIAS. [cited 2017 May 28]; Available from: <https://www.menarini.es/images/fondodocumentalES/ENA-824-3.pdf>
12. Sánchez JM. Regeneración acelerada de lesiones musculares en el futbolista profesional I | eFisioterapia [Internet]. EFISIOTERAPIA. [cited 2017 May 29]. Available from: <https://www.efisioterapia.net/articulos/regeneracion-acelerada-lesiones-musculares-el-futbolista-profesional-i>
13. Ateş F, Hug F, Bouillard K, Jubeau M, Frappart T, Couade M, et al. Muscle shear elastic modulus is linearly related to muscle torque over the entire range of isometric contraction intensity. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015;25(4):703–8.
14. Bensamoun SF, Ringleb SI, Littrell L, Chen Q, Brennan M, Ehman RL, et al. Determination of thigh muscle stiffness using magnetic resonance elastography. *J Magn Reson Imaging*. 2006;23(2):242–7.
15. Bouillard K, Nordez A, Hug F. Estimation of individual muscle force using elastography. *PLoS One*. 2011;6(12).
16. Du L, He W, Cheng L, Li S, Pan Y, Gao J. Ultrasound shear wave elastography in assessment of muscle stiffness in patients with Parkinson's disease: a primary observation. *Clin Imaging* [Internet]. 2016;40(6):1075–80. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899707116300572>
17. Eby SF, Song P, Chen S, Chen Q, Greenleaf JF, An KN. Validation of shear wave elastography in skeletal muscle. *J Biomech* [Internet]. 2013;46(14):2381–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.07.033>
18. Exhibit E, Arcidiacono A, Corazza A, Bernardi SP, Sartoris R, Silvestri E. Real-time Shear Wave and Strain Sonoelastography in muscles and tendons . 2015;1–24.
19. Gennisson JL, Cornu C, Catheline S, Fink M, Portero P. Human muscle hardness assessment during incremental isometric contraction using transient elastography. *J Biomech*. 2005;38(7):1543–50.
20. Kishimoto R, Suga M, Koyama A, Omatsu T, Tachibana Y, Ebner DK, et al. Measuring shear-wave speed with point shear-wave elastography and MR elastography: a phantom study. *BMJ Open* [Internet]. 2017 Jan 5 [cited 2017 May 28];7(1):e013925. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28057657>
21. Koo TK, Guo JY, Cohen JH, Parker KJ. Relationship between shear elastic modulus and

- passive muscle force: An ex-vivo study. *J Biomech* [Internet]. 2013;46(12):2053–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.05.016>
22. Koo TK, Guo J-Y, Cohen JH, Parker KJ. Quantifying the passive stretching response of human tibialis anterior muscle using shear wave elastography. *Clin Biomech* [Internet]. 2014;29(1):33–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268003313002763>
 23. Koo TK, Hug F. Factors that influence muscle shear modulus during passive stretch. *J Biomech*. 2015;48(12):3539–42.
 24. Lee SSM, Gaebler-Spira D, Zhang LQ, Rymer WZ, Steele KM. Use of shear wave ultrasound elastography to quantify muscle properties in cerebral palsy. *Clin Biomech* [Internet]. 2016;31:20–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.10.006>
 25. Lee SSM, Spear S, Rymer WZ. Quantifying changes in material properties of stroke-impaired muscle. *Clin Biomech* [Internet]. 2015;30(3):269–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.01.004>
 26. Levinson SF, Shinagawat M. 0021-9290(94)00173-I. 1995;28(10):1145–54.
 27. Maïsetti O, Hug F, Bouillard K, Nordez A. Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. *J Biomech*. 2012;45(6):978–84.
 28. Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H, Yoshitake Y. Validity of measurement of shear modulus by ultrasound shear wave elastography in human pennate muscle. *PLoS One* [Internet]. 2015;10(4):1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0124311>
 29. Nordez A, Gennisson JL, Casari P, Catheline S, Cornu C. Characterization of muscle belly elastic properties during passive stretching using transient elastography. *J Biomech*. 2008;41(10):2305–11.
 30. Nordez A, Guével A, Casari P, Catheline S, Cornu C. Assessment of muscle hardness changes induced by a submaximal fatiguing isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009;19(3):484–91.
 31. Ophir, J. Cespedes I. *Elastography Elasticity Imaging Using Ultrasound with Application to Muscle and Breast In Vivo*.
 32. Raiteri BJ, Hug F, Cresswell AG, Lichtwark GA. Quantification of muscle co-contraction using supersonic shear wave imaging. *J Biomech* [Internet]. 2016;49(3):493–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.12.039>
 33. Tribunal NB, Ing AB, Negreira C. Tesis de maestria en fisica elastografia ultrasonora de medios viscoelasticos con ondas de cizalla baja frecuencia. 2004..