

Elastografía por ultrasonido: Revisión bibliográfica de aspectos técnicos y aplicaciones clínicas a nivel hepático

Ultrasound elastography: A review on the technical aspects and clinical applications in the liver

Cristian Ávila¹, Nancy Gutiérrez¹, Valentina Hernández¹, Eliana Lezcano¹, Mateo Orgoroso¹, Martín Prósper¹, Javier Brum², Liliana Servente³

RESUMEN

A partir del año 1990 comienzan a desarrollarse un conjunto de técnicas cuyo objetivo es evaluar la elasticidad de tejidos blandos mediante ultrasonido. La elastografía ultrasonora ha aportado una nueva perspectiva a la ecografía convencional, proporcionando información clave para el diagnóstico de diferentes patologías, entre ellas las enfermedades hepáticas, permitiendo obtener valores confiables de la rigidez hepática sin la necesidad de realizar biopsia.

El Laboratorio de Acústica Ultrasonora del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias trabaja desde el año 2000 en elastografía por ultrasonido, desarrollando numerosos trabajos experimentales, tesis de maestría y doctorado por lo que cuenta con una amplia experiencia en el tema. En Uruguay, a nivel clínico, algunos centros poseen equipos de elastografía de transición (FibroScan®) así como ecógrafos con el módulo de elastografía.

Particularmente, el Departamento Clínico de Imagenología del Hospital de Clínicas incorporó en el 2018 un ecógrafo que cuenta con técnica de elastografía. En este contexto, consideramos importante realizar una actualización y resumen de las distintas técnicas elastográficas, sus ventajas, limitaciones y aplicaciones clínicas a nivel hepático.

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica, centrando el interés en las bases físicas de la elastografía y su aplicación al estudio de las enfermedades hepáticas.

Palabras clave: Elastografía ultrasonora, hígado, hepatitis, hepatopatía crónica, fibrosis hepática, elastografía de transición.

ABSTRACT

Since 1990, a set of techniques have been developed to evaluate the elasticity of soft tissues by ultrasound. Therefore, ultrasonic elastography has brought a new perspective to conventional ultrasound, providing key information for the diagnosis of different pathologies, including liver diseases, allowing reliable values of liver stiffness without the need for biopsy.

The Laboratory of Ultrasonic Acoustics of the Physics Institute of the Faculty of Sciences has been working since 2000 on ultrasound elastography, developing numerous experimental works, master's and doctoral theses, for which it has extensive experience. In Uruguay, at a clinical level, some centers have transitional elastography equipment (FibroScan®) as well as ultrasound machines with the elastography module.

Particularly, the Clinical Department of Imaging of the Hospital de Clínicas incorporated in 2018 an ultrasound that has an elastography technique. In this context, we consider it important to update and summarize the different elastographic techniques, their advantages, limitations and clinical applications at the liver.

The aim of this work is to carry out a bibliographic review, focusing the interest in the physical bases of elastography and its application

to the study of liver diseases.

Keywords: Ultrasound elastography, liver, hepatitis, chronic liver disease, hepatic fibrosis, shear wave, transient elastography.

INTRODUCCIÓN

La ecografía es una excelente herramienta diagnóstica que lleva años de experiencia e implementación a nivel mundial y en nuestra región. Dentro de las modalidades de aplicaciones de la ecografía contamos con el Modo B, el doppler espectral y el doppler color. Sin embargo, mediante la ecografía no es posible medir la rigidez del tejido, propiedad que se ve modificada en el desarrollo de múltiples enfermedades. Con el fin de medir en vivo y de forma no invasiva la rigidez del tejido surgen a partir de la década del 90 una serie de técnicas las cuales pueden ser agrupadas bajo el nombre de elastografía. Se han descrito múltiples aplicaciones de la elastografía en distintos tipos de tejidos, destacándose hígado, mama, próstata, tiroides, corazón, partes blandas y vasos sanguíneos^(1,2). Aunque sólo se ha introducido en la rutina clínica para aplicaciones específicas, por ejemplo, en medición de fibrosis hepática⁽³⁾.

En el caso de las enfermedades hepáticas, la evaluación no invasiva mediante técnicas basadas en ultrasonido evoluciona rápidamente, y los métodos por elastografía son cada vez más numerosos y están disponibles en los diferentes equipos de ultrasonido⁽⁴⁾. Algunos métodos de imagen como la elastografía por ultrasonido (a veces denominada elastosonografía) o la elastografía por resonancia magnética superan algunas de las limitantes de la biopsia hepática y en los últimos años se han utilizado con mayor frecuencia, brindando un diagnóstico no invasivo⁽⁵⁾. Debido a esto se produjo una marcada reducción de las biopsias hepáticas realizadas para clasificar la enfermedad hepática crónica utilizada como "gold standard" hasta ese momento^(3,4,6).

En Uruguay la utilización del ultrasonido a nivel clínico lleva cuatro décadas de implementación en sus diferentes modalidades, y sus avances e

¹ Estudiante de Medicina. Ciclo de Metodología Científica II, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Uruguay. La contribución en la realización del trabajo fue equivalente a la de los demás estudiantes.

^{2,3} Docente supervisor. ² Laboratorio de Acústica Ultrasonora, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. ³ Departamento Clínico de Imagenología, Hospital de Clínicas "Dr. Manuel Quintela", Universidad de la República, Uruguay.

Contacto: Liliana Servente. Email: lservente@gmail.com

incorporaciones al sistema de salud se realizaron de forma paulatina. El Departamento Clínico de Imagenología del Hospital de Clínicas, única Cátedra de imagenología del país, cuenta con equipos de ecografía desde el año 1985. En el ámbito privado las ecografías se realizan en nuestro país desde el año 1977.

El Laboratorio de Acústica Ultrasonora (LAU) del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias, es el lugar en el cual por primera vez se comienza a trabajar en elastografía por ultrasonido a nivel nacional. El LAU introdujo la elastografía transicional (del inglés transient elastography, principio básico del funcionamiento del FibroScan®) durante la tesis de Maestría PEDECIBA del Dr. Nicolás Benech dirigida por el Dr. Carlos Negreira⁽⁷⁾. El enfoque del LAU es básico-aplicado. En particular, se busca comprender los principios físicos involucrados en la propagación de ondas en medios complejos como los tejidos biológicos y cómo a partir de ellos es posible extraer información del medio. En el seno del LAU se realizaron diferentes aportes a las técnicas de elastografía que dieron lugar a múltiples tesis⁽⁷⁻¹⁰⁾ y publicaciones en revistas arbitradas^(11,12). Más recientemente se desarrolló la elastografía pasiva, que busca utilizar las ondas que naturalmente están presentes en el cuerpo humano para medir la rigidez de tejidos⁽¹³⁻¹⁶⁾. Actualmente también se trabaja activamente en el desarrollo de la elastografía por ondas de cizalla (del inglés Shear Wave Elastography, SWE o Shear Wave Imaging, SWI) utilizando equipamiento de última tecnología aplicándola en capas delgadas de tejidos (pared vascular, tendón)⁽¹⁷⁾, medios viscoelásticos⁽¹⁸⁾ y/o anisotrópicos⁽¹⁹⁾.

Por otra parte, en el año 2013, el Departamento Clínico de Imagenología del Hospital de Clínicas hizo uso de la elastosonografía por compresión ("strain elastography") durante tres meses, periodo en el cual se contó con la licencia del software. Esta modalidad fue aplicada al estudio de nódulos tiroideos. Otros centros de atención de salud públicos que cuentan con este equipamiento son el Hospital de Las Piedras y Hospital de Salto. Su aplicación clínica es en mama, como una herramienta más en la determinación de lesiones dudosas, categoría BIRADS 3⁽²⁰⁾.

A partir de 2014, en nuestro medio y a nivel público se utiliza el Fibroscan®, obtenido a través de un proyecto a cargo del Programa Nacional de Trasplante Hepático/Servicio de Hepatología de la Dirección Nacional Sanidad de las FF.AA., la UDA Centro Nacional Hepato Bilio Pancreático del Hospital Militar y UDA de Hepatología del Hospital Pasteur financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII)⁽²¹⁾. Finalmente, en 2018, el Departamento Clínico de Imagenología del Hospital de Clínicas incorporó un ecógrafo que cuenta con técnica de elastografía.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es realizar una actualización y resumen no exhaustivo de las distintas técnicas elastográficas, sus ventajas, limitaciones y aplicaciones clínicas a nivel hepático que son las que actualmente, a nivel nacional, son abordadas mediante estas técnicas.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica, dirigida a conocer las bases físicas de la elastografía por ultrasonido y su aplicación clínica en el hígado. Para llevar a cabo dicha revisión fue necesaria la búsqueda de información en diferentes bases de datos de relevancia científica en investigación médica, como son PubMed, siendo este un motor de búsqueda de libre acceso a Medline y artículos científicos, SciELO (Scientific Electronic Library Online); Cochrane, una base de datos de ensayos clínicos en medicina y ciencias de la salud, y Elsevier doyma, una base de datos de comunicación de información médica global. Los términos relevantes o palabras clave que se utilizaron para realizar la búsqueda bibliográfica, son los siguientes. En español: bases físicas de la ecografía, elastografía ultrasonora, bases físicas de la elastografía, elastografía ultrasonora en hígado, elastografía de transición, ondas de cizalla. En inglés: ultrasonic elastography, ultrasonic elastography in liver, strain imaging, shear wave imaging, shear wave elastography, liver fibrosis, transient elastography. Además, se presentan medidas realizadas en fantomas en el Depto. Clínico de Imagenología y de un voluntario sano a quien se realiza ecografía abdominal con la medida de SWE. El voluntario dio su consentimiento y las imágenes fueron anonimizadas.

REVISIÓN: BASES FÍSICAS DE LA ELASTOSONOGRFÍA:

Las técnicas de elastografía ultrasonora se pueden dividir en dos grandes grupos, la elastografía por compresión que valoran la rigidez de los tejidos a través de una escala de colores (cualitativa) y las técnicas elastográficas que utilizan ondas de cizalla ("Shear Wave") que miden la rigidez de los tejidos a través de una escala de colores (cualitativa) y también en escala numérica, en unidades de kPa o m/s (cuantitativa)⁽²²⁾. Estas técnicas se basan en los siguientes supuestos sobre los sólidos corporales: infinito, elástico, isotrópico y homogéneo. Si bien actualmente se trabaja en investigación básica y clínica para levantar estos supuestos dando lugar a nuevas aplicaciones.

TÉCNICAS DE ELASTOGRAFÍA POR COMPRESIÓN

El concepto se basa en la relación tensión-

deformación bajo la aplicación de una fuerza externa sobre el tejido. De esta forma es posible obtener una imagen de deformación medida a través del ultrasonido^(22,23). Además, aprovechando que los tejidos se deforman al ser sometidos a un empuje, y al retirar esta fuerza regresan a su forma inicial, se pueden obtener parámetros mecánicos suplementarios en función a la respuesta del tejido luego de la compresión.

A. Elastografía de compresión (STRAIN ELASTOGRAPHY): A través de estas técnicas es posible medir la deformación relativa de un medio con respecto a otro, luego de aplicada una fuerza sobre éste. Al utilizar esta modalidad el imagenólogo realiza una compresión con el transductor, provocando una deformación de los tejidos en el mismo eje de la compresión. La deformación se mide utilizando ultrasonido y se expresa a través de un elastograma⁽²³⁾. De esta forma y basándonos en los supuestos podemos observar en la **Figura 1** y a modo de ejemplo el tejido, que está representado por un resorte; en donde el resorte rojo indica tejido duro y los de color negro tejido blando. Al momento de realizar la compresión o fuerza a distancia, podemos notar que el tejido blando se comprime, mientras que el tejido duro mantiene casi su misma longitud⁽²³⁾. En A: Tejido antes de la compresión. B: Tejido después de la compresión, donde el resorte de color rojo no sufre variaciones considerables respecto al resto ($L_2=L_2'$).

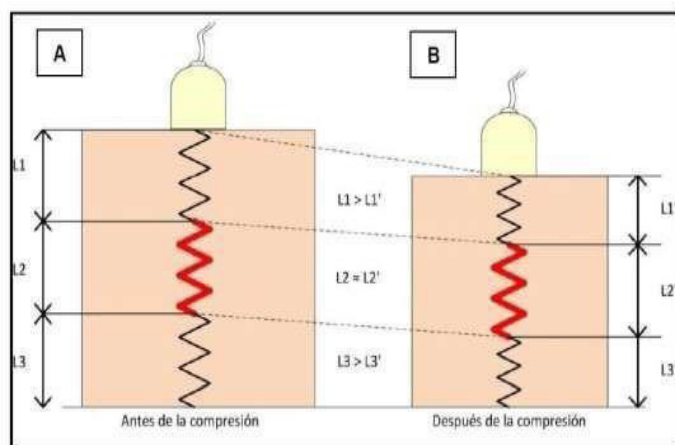


Figura 1. Representación de compresión elastográfica mediante resortes

Fuente: imagen adaptada de⁽²³⁾

La limitación de esta técnica surge del hecho de que no es cuantitativa, sino que la información que ofrece es a través de un mapa de color cualitativo^(1,24). Este método se ha utilizado para la exploración de tumores mamarios, hepáticos y tiroideos, sin embargo, presenta un gran inconveniente y es que la imagen es operador dependiente ya que la fuerza que se aplica no es la misma siempre, por lo tanto, la calidad de los datos es cuestionable. Otro inconveniente es que, al no tener información sobre el estado de tensión del tejido, no es posible medir cuantitativamente la elasticidad del

tejido.

B. Elastografía impulsada por fuerzas de radiación acústica (Acoustic Radiation Force Impulse ARFI): En esta técnica el transductor ultrasónico es utilizado para generar una fuerza puntual a distancia mediante presión de radiación acústica focalizando el ultrasonido en algún punto del tejido. Utilizando ultrasonido se mide cual es la respuesta temporal del tejido a dicha fuerza, en particular, se mide cual fue el máximo desplazamiento del tejido. Esta magnitud estaría indirectamente relacionada con la rigidez del tejido, ya que un tejido más rígido se desplazaría menos que uno blando bajo la acción de la misma fuerza. Finalmente, modificando el foco del transductor. Esta técnica nos permite reconstruir mediante el barrido de la región de interés imágenes completas. La medida de desplazamiento se presenta mediante elastogramas superpuestos con imagen de modo B. Se ha utilizado para evaluar patología mamaria^(25,26). Si bien en esta técnica se elimina la dependencia con el observador, sigue siendo cualitativa en el sentido de que no se mide directamente la fuerza que se ejerce sobre el tejido.

TÉCNICAS DE ELASTOGRAFÍA POR ONDAS DE CIZALLAMIENTO, DEL INGLÉS SHEAR WAVE ELASTOGRAPHY (SWE)

Para superar las limitaciones de las técnicas anteriores se desarrollaron un conjunto de técnicas basadas en la propagación de ondas de cizalla que se resumen bajo el nombre de elastografía por ondas de cizalla del inglés Shear Wave Elastography (SWE). Estas técnicas consisten básicamente en tres pasos: primero el tejido se deforma localmente, utilizando presión de radiación acústica o un vibrador mecánico, generando así una onda de cizalla. Luego la propagación de esta onda es medida mediante ultrasonido para finalmente a partir de su velocidad de propagación poder extraer la elasticidad del tejido dada por su módulo de Young^(3,22,23). En la **Figura 2** se representa la SWE: el transductor en el punto A emite pulsos, generando ondas de corte en el medio. El mismo transductor captura información de la onda de corte en los puntos A y B. Para luego, por un algoritmo estimar la velocidad ($\Delta x/\Delta t$) de esta onda y relacionarlo con la elasticidad del medio.

Esto es posible ya que para tejidos blandos $Y = 3(cT)^2$, donde Y es el módulo de Young, es la densidad del tejido y cT es la velocidad de propagación de la onda de cizalla. De esta forma la elastografía ha aportado una nueva perspectiva a la ecografía convencional, que junto con la información anatómica del modo B y la vascular del modo Doppler proporciona a partir de la medida del módulo de Young del tejido una información clave para el diagnóstico.

La gran ventaja de las técnicas de "shear wave" con respecto a la elastografía de compresión, es que permiten tener una correlación cuantitativa quitando la variabilidad interobservador, ya que no se necesita la presión ejercida por el instrumentador de la técnica⁽²⁷⁾. Además, la elastografía, así como los diferentes métodos basados en ultrasonido, es de interés particular debido a sus ventajas inherentes, tales como la amplia disponibilidad, ausencia de radiaciones ionizantes y un costo relativamente bajo.

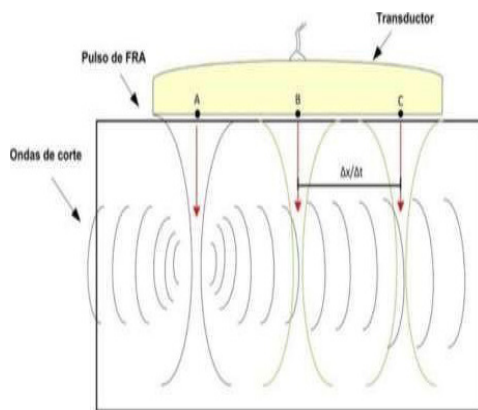


Figura 2. Representación de elastografía por "Shear wave"
Fuente: imagen adaptada de⁽²³⁾

Dentro de las técnicas "shear wave" podemos encontrar:

C) *Elastografía de Transición (Fibroscan®)*: En esta técnica la onda de cisalla es producida sobre el tejido de interés mediante un pistón externo que produce pequeños impulsos mecánicos sobre la piel con una frecuencia de 50 Hz. En conjunto con el pistón se encuentra colocado un transductor ecográfico el cual permite medir la propagación de la onda de cisalla, para finalmente medir su velocidad, pudiendo determinarse la elasticidad media del tejido⁽²⁸⁻³⁰⁾. Esta técnica no permite obtener imágenes de elasticidad. Las principales limitaciones de la técnica a nivel hepático son: espacio intercostal chico, falta de ventana acústica, ascitis, IMC mayor a 30 e imposibilidad de mantener apnea^(1,21,31).

D) *Elastografía en punto por onda de corte ("Point Shear Wave Elastography")*: Este es un método elastográfico cuantitativo, basado en la medición de la velocidad de las ondas de cisallamiento, las cuales son generadas por fuerzas de radiación acústica. En esta técnica las ondas de cisalla son generadas aplicando la presión de radiación en un punto, finalmente se mide la velocidad de propagación de las ondas generadas, pudiendo inferirse a través de la velocidad de propagación la rigidez del tejido^(3,32).

E) *Elastografía por onda de corte 2D ("2D- Shear wave elastography")*: En esta técnica se utiliza la fuerza de radiación acústica. La diferencia principal con respecto a la "Point Shear Wave Elastography" y a la elastografía transicional es que el resultado final es una imagen

bidimensional de la elasticidad del tejido. Para esto se genera la onda de cisalla utilizando múltiples focos ultrasónicos ubicados sobre una misma línea a diferentes profundidades. Como resultado se obtiene una onda de cisalla de mayor amplitud cuya distancia de propagación es mayor y cuyo frente de ondas alcanza una mayor extensión en profundidad. Por lo tanto, para obtener una imagen elastográfica son necesarios menos focalizaciones lo que toma un menor tiempo. Finalmente, los elastogramas son superpuestos a la imagen ecográfica modo B^(3,33-35).

La **Figura 3** muestra un ejemplo de imagen tomada en Depto. Clínico de Imagenología a través de dicha técnica. Se utilizó ecógrafo marca Toshiba modelo Aplio 300, transductor convexo 2-4 MHz y se aplicó a la medición en un fantoma CIRS Elasticity QA modelo 049 perteneciente al LAU. Dicho fantoma contiene esferas de diferentes elasticidades conocidas y distinto diámetro incluidas en un gel.

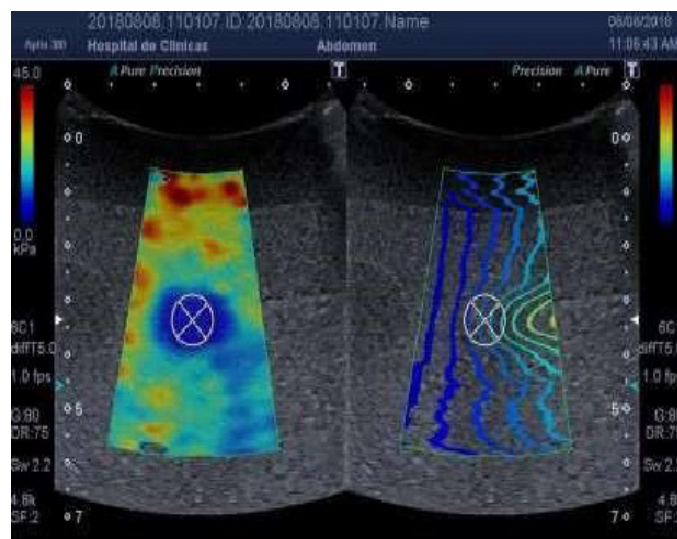


Figura 3. Prueba realizada en el Hospital de Clínicas con fantasmas
Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4** se resumen las diferentes técnicas elastográficas que hemos descrito. La A y B representan técnicas de elastografía por compresión siendo A elastografía por compresión ("strain") y B elastografía impulsada por fuerzas de radiación acústica (ARFI). Las C, D y E son técnicas de elastografía por ondas de cisallamiento, C Elastografía de transición", D Elastografía en punto por onda de corte "Elastography point shear wave" y E Elastografía de imagen de velocidad de onda de corte ("Shear wave speed imaging").

APLICACIONES A NIVEL HEPÁTICO

Las enfermedades hepáticas crónicas generan procesos inflamatorios que como resultado provocan la sustitución progresiva de los hepatocitos por tejido fibroso, lo que genera a largo plazo una cirrosis.

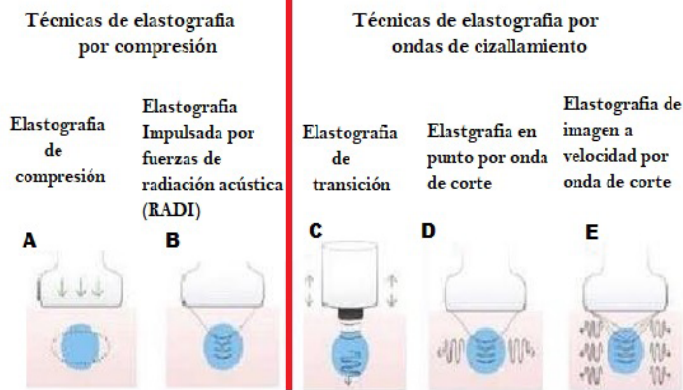


Figura 4. Resumen de técnicas de elastografía

Fuente: Imagen traducida y adaptada de³⁹

La cirrosis es el estadio final común de la hepatopatía crónica generando un alto índice de morbimortalidad y grandes costos en salud.

En cuanto a la evaluación invasiva de la fibrosis hepática la muestra histopatológica mediante biopsia ha sido considerada como el método estándar. Sin embargo, esta técnica es invasiva, dolorosa y presenta cierto cuestionamiento en cuanto a su precisión, y puede tener cierto margen de error de hasta el 20% en la estratificación de la enfermedad⁶. La biopsia hepática tiene una tasa de complicaciones graves muy baja y una mortalidad mínima. La hemorragia es una de sus complicaciones más frecuentes y ocurre en el 1,7% de los casos, pero sólo de 0,3 a 0,5% son potencialmente graves. En general quedan pequeños hematomas intrahepáticos que se reabsorben espontáneamente. Excepcionalmente se producen complicaciones potencialmente mortales como sangrado intratorácico o intraabdominal, otras complicaciones graves pero muy poco frecuentes son la infección o la salida de bilis a la cavidad abdominal. La mortalidad por biopsia hepática es de aproximadamente de 1 cada 10.000 pacientes³⁶. Las complicaciones leves son las más frecuentes, destacando en este caso el dolor en el sitio de punción o dolor reflejo en el hombro derecho que suele calmar con analgésicos leves y la hipotensión transitoria leve³⁷. Existen varias escalas que determinan el grado de fibrosis hepática entre ellas Ishak, METAVIR y Batts Ludwig. La escala METAVIR es la más utilizada y aplicada mundialmente y en nuestra región, define los siguientes estadios: ESTADIO 0 (F0) Ausencia de fibrosis, ESTADIO 1 (F1) Fibrosis leve, ESTADIO 2 (F2) Fibrosis moderada, ESTADIO 3 (F3) Fibrosis grave, ESTADIO 4 (F4) Cirrosis.

Las limitaciones de la biopsia hepática han motivado a la investigación de métodos no invasivos para medir la fibrosis hepática, la elastografía de transición (TE por sus siglas en inglés) se ha convertido en la prueba no invasiva de referencia³⁸. Dicha modalidad es un método no invasivo que ha sido utilizado para medir la fibrosis hepática en diferentes enfermedades crónicas mediante la medición de la rigidez. Su uso ha sido validado mayormente en la hepatitis C crónica con

buenos resultados⁶. Es un buen método de detección precoz de la cirrosis³⁹. En un estudio prospectivo realizado entre 2005 y 2008 en Estados Unidos, se evaluó la exactitud del FibroScan®⁴⁰. En el mismo 907 pacientes con hepatitis C o B crónica fueron sometidos al sistema de FibroScan® seguido de análisis de biopsia (evaluadas con escala METAVIR), para la determinación de su rigidez hepática. Se obtuvo un rendimiento que demostró que en la etapa de fibrosis significativa ($F \geq 2$) es bueno (0,89, IC 0,83 hasta 0,92 95%) y excelente para la determinación de fibrosis avanzada, estadio $F \geq 3$ (0,87-0,95 IC del 95%) y el hígado cirrótico ($F 4$) (0,87-0,95 IC del 95%). Pero teniendo en cuenta la variabilidad de la fibrosis y la exactitud de las biopsias, se llegó a la conclusión de que el FibroScan® debe ser implementado en conjunto con otros datos clínicos, como marcadores de fibrosis, para una precisión mayor. Las mediciones con FibroScan® pueden ser dificultosas en pacientes con obesidad e imposible en pacientes con ascitis. Esto genera una limitación clave de la elastografía de transición en la práctica clínica que es alta la tasa de resultados no interpretables, aproximadamente el 20 % de los casos de acuerdo con el estudio más grande hasta la fecha⁴¹.

La elastografía de onda de corte en tiempo real (2D-SWE, por sus siglas en inglés) es un novedoso método no invasivo que se encuentra comúnmente en equipos de ultrasonido de alta gama, y se utiliza para evaluar la fibrosis hepática mediante la rigidez del hígado. Esta técnica podría superar algunas de las limitaciones de la TE como ser la obesidad y la ascitis. La 2D-SWE tiene la ventaja de visualizar la rigidez del hígado en tiempo real. Este método podría dar como resultado una puntuación más precisa de la etapa de fibrosis resultante de la orientación de la imagen 2D-SWE guiada por ecografía en modo B.

La Figura 5 muestra diferentes medidas de la rigidez hepática en un voluntario sano a través de la técnica 2D-SWE. Imágenes de hígado en modo B y técnica 2D-SWE, en equipo marca Philips. El voluntario se encontraba en reposo y ayuno de 8 horas, las medidas fueron tomadas en lóbulo hepático derecho. Se realizan varias medidas en el área de interés (ROI) y se realiza un promedio. En este caso se obtuvo un valor promedio de 5,7 kPa que corresponde a un rango de rigidez normal.

En un estudio realizado por Ferraioli et al.⁴² que se llevó a cabo en un solo centro se evaluó la precisión de la 2D-SWE en pacientes con hepatitis C crónica, en comparación con la elastografía de transición (TE), utilizando la biopsia hepática como referencia. Se estudió un grupo de 121 pacientes coordinados para biopsia hepática a los cuales en el mismo día se les realizó la elastografía en tiempo real (2D-SWE) utilizando el sistema de ultrasonido Aixplorer de

Supersonic Imaging; y elastografía de transición (TE) utilizando Fibroscan. Se clasificó el grado de fibrosis de acuerdo con el sistema METAVIR. Los resultados de este estudio muestran que la 2D-SWE en tiempo real fue más precisa que la TE en la evaluación de la fibrosis significativa ($F \geq 2$) con un valor $p = 0.002$. A diferencia de la TE en pacientes difíciles, el operador puede buscar una ventana acústica en tiempo real, donde se puede obtener una señal suficiente para la medición. La 2D-SWE en tiempo real está sujeto a las mismas limitaciones que se encuentran con los modos de imagen convencionales, donde en gran medida, la dependencia del operador y el biotipo del paciente pueden influir en las mediciones de la rigidez hepática. Los autores proponen que se necesitan más estudios en poblaciones de pacientes más grandes para confirmar los resultados y los valores de los umbrales de corte para las diferentes etapas de la fibrosis.

En un meta-análisis, realizado por E. Herrman et al.⁽⁴³⁾ los objetivos fueron: evaluar el valor de la técnica 2D-SWE en la estadificación de la fibrosis hepática, usando como referencia la biopsia hepática, y comparar con la elastografía de transición. En este estudio se incluyeron en forma retrospectiva 1113 pacientes, de trece distintos centros clínicos, de nueve países. Los pacientes tenían hepatitis C 379, hepatitis B 400, hígado graso no alcohólico 156 y otras etiologías 199. Como resultado los autores encontraron de bueno a excelente el rendimiento de 2D-SWE para el diagnóstico de fibrosis en hepatitis B. Se requieren más estudios prospectivos con el fin de realizar una comparación entre 2D-SWE y otras modalidades de imagen y establecer valores de corte apropiado en cada etiología.

lesiones focales hepáticas y como predicción de hipertensión portal.

En un estudio comparativo de la rigidez hepática y esplénica para detectar hipertensión portal de Elkrief et al.⁽⁴⁴⁾ estudiaron 79 pacientes a los cuales se les realizó elastografía por onda de cizalla y elastografía de transición durante la medición del gradiente de presión de la vena hepática. Los autores compararon ambas técnicas con el valor de la rigidez del hígado y la rigidez del bazo. Como resultado encontraron que la 2D-SWE tenía mayor tasa de éxito comparada con la TE ya que la primera tuvo éxito en el 97 % de los casos estudiados para estimar la rigidez hepática y esplénica. También observaron al igual que en otros estudios que la TE tenía dificultades en pacientes con ascitis.

En un estudio de Lu et al.⁽⁴⁵⁾ para lesiones focales hepáticas, valoraron 373 pacientes con estas lesiones confirmadas por anatomía patológica que fueron evaluadas por elastografía ultrasonora. Se utilizó 2D-SWE en dichos pacientes y la unidad utilizada fue Kpa. La profundidad máxima de penetración fue de 7 cm. Se realizaron 5 mediciones y se realizó una media de las mismas. Midieron la rigidez en tres regiones: en la periferia de la lesión más grande, de 0.5-2 cm y mayor a 2 cm de la periferia de la lesión objetivo. Obtuvieron como resultado que las lesiones malignas tenían mayor rigidez en comparación con las benignas. Encontraron que el hemangioma, la hiperplasia nodular focal, la hepatocarcinoma y las metástasis mostraron valores de rigidez significativamente mayores que el parénquima hepático de fondo (todos, $P < .05$) cuando el área medida era mayor a 2 cm de la lesión. La mayoría de las lesiones benignas y metástasis hepáticas ocurrieron en hígados normales. Al comparar el valor de rigidez y la relación de rigidez en la caracterización de lesiones hepáticas focales, estos autores encontraron que el valor de rigidez era superior a la relación de rigidez para la diferenciación entre lesiones hepáticas malignas y benignas. La diferencia en los valores de rigidez hepática propios de cada paciente, puede haber comprometido la predicción de malignidad con el uso de la relación de rigidez.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La elastografía por ultrasonido permite la evaluación y seguimiento de una forma no invasiva, permitiendo valorar la patología hepática tanto cualitativamente como cuantitativamente, dependiendo de la modalidad que se utilice. La elastografía por onda de cizalla permitirá valorar de una forma objetiva, sustrayendo la variabilidad interobservador que las otras modalidades llevan inherentemente. Estas técnicas están en constante revisión, con el fin de estandarizar los valores, para obtener resultados comparables. En nuestro

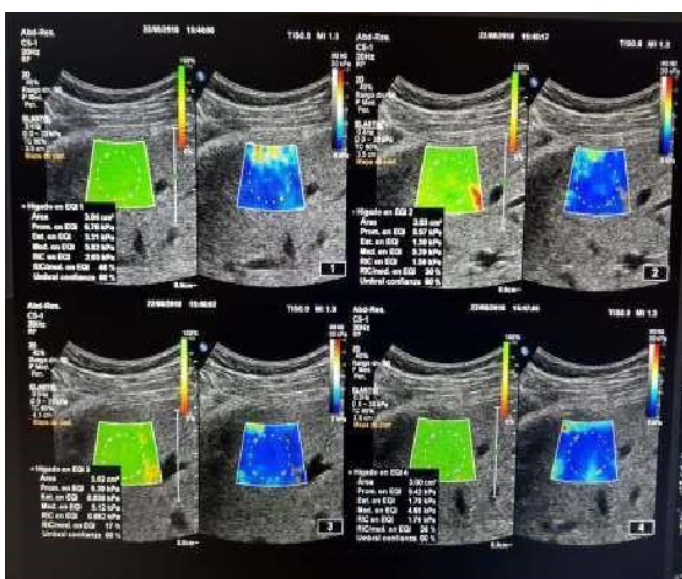


Figura 5. Medidas de la rigidez hepática en un voluntario sano a través de la técnica 2D-SWE
Fuente: elaboración propia

Otras aplicaciones en hígado: A continuación, nos referiremos a las aplicaciones de la elastografía en

país la incorporación es paulatina, no existiendo publicaciones nacionales sobre la temática, pero se vislumbran las primeras investigaciones llevadas a cabo por el Departamento de imagenología, del Hospital de Clínicas, en conjunción con el Laboratorio de Acústica Ultrasonora de la Facultad de Ciencias. Actualmente no hay estudios clínicos que avalen su uso sistemático en la patología hepática, ni que puedan sustituir a los métodos ya utilizados, esto se debe principalmente a que no existe una clasificación de los resultados utilizables en nuestro medio. Si se logra una adecuada clasificación para los resultados, la elastografía puede ser una herramienta muy útil para sustituir o disminuir la cantidad de pacientes expuestos a métodos invasivos para lograr un diagnóstico o una adecuada estadificación de la enfermedad.

Agradecimientos:

Al Dr. Agustín Arruti por ayudarnos en la realización de la presente monografía.

REFERENCIAS

1. **Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, Bojunga J, Correas JM, Gilja OH, et al.** EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall der Medizin [Internet]*. 2013;34(3):238–53.
2. **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.
3. **Sigrist RMS, Liao J, Kaffas A El, Chammas MC, Willmann JK.** Ultrasound elastography: Review of techniques and clinical applications. *Theranostics*. 2017;7(5):1303–29.
4. **Berzigotti A, Ferraioli G, Bota S, Gilja OH, Dietrich CF.** Novel ultrasound-based methods to assess liver disease: The game has just begun. *Dig Liver Dis [Internet]*. 2018;50(2):107–12
5. **Stoopen-Rometti M.** Diagnóstico y cuantificación de fibrosis, esteatosis y hepatosiderosis por medio de resonancia magnética multiparamétrica. *Rev Gastro México*. 2017; 82(1) 32:45.
6. **Castera L, Fornis X, Alberti A.** Non-invasive evaluation of liver fibrosis using transient elastography. *J Hepatol*. 2008;48(5):835–47.
7. **Benech N.** Elastografía ultrasonora de medios viscoelásticos con ondas de cizalla baja frecuencia. 2004.
8. **Benech N.** Elastografía ultrasonora en sólidos blandos. análisis del proceso de retorno temporal y aplicación al monitoreo de temperatura. 2008.
9. **Brum J.** PhD thesis in physics elastography and time reversal of shear waves: 2012.
10. **Brum J.** Elastographie et retournement temporel des ondes de cisaillement : application a l' imagerie de solides mous. 2012.
11. **Brum J, Gennisson J, Nguyen T, Benech N, Fink M, Tanter M, et al.** Application of 1-D Transient Elastography for the Shear Modulus Assessment of Thin-Layered Soft Tissue : Comparison With Supersonic Shear Imaging Technique. 2012;59(4).
12. **Benech N, Negreira CA.** Longitudinal and lateral low frequency head wave analysis in soft media. *J Acoust Soc Am*. 2005;117(6):3424–31.
13. **Benech N, Catheline S, Brum J, Gallot T, Negreira CA.** 1-D elasticity assessment in soft solids from shear wave correlation: The time-reversal approach. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2009;56(11):2400–10.
14. **Brum J, Catheline S, Benech N, Negreira C.** Quantitative Shear Elasticity Imaging From a Complex Elastic Wavefield in Soft Solids With Application to Passive Elastography. 2015;62(4):673–85.
15. **Gallot T, Catheline S, Roux P, Brum J, Benech N, Negreira C.** Passive Elastography: Shear-Wave Tomography From Physiological-Noise Correlation in Soft Tissues. 2011;58(6):1122–6.
16. **Catheline S, Benech N, Brum J, Negreira C.** Time Reversal of Elastic Waves in Soft Solids. 2008;064301(February):1–4.
17. **Brum J, Bernal M, Gennisson JL, Tanter M.** In vivo evaluation of the elastic anisotropy of the human Achilles tendon using shear wave dispersion analysis. *Phys Med Biol*. 2014;59(3):505–23.
18. **Budelli E, Brum J, Bernal M, Deffieux T, Tanter M, Lema P, et al.** A diffraction correction for storage and loss moduli imaging using radiation force based elastography. *Phys Med Biol*. 2017;62(1):91–106.
19. **Benech N, Grinspan G, Aguiar S, Negreira C.** Surface wave elastography: device and method. *Meas Sci Technol [Internet]*. 2019 Mar 1 [cited 2019 Apr 29];30(3):035701.
20. **Weismann C, Mayr C, Egger H, Auer A.** Breast sonography - 2D, 3D, 4D ultrasound or elastography? *Breast Care*. 2011;6(2):98–103.
21. **Pintos M, Perendones DM, Goñi DM.** Transient elastometry of the liver. New diagnostic technique in hepatology. *Arch Med Interna*. 2013;35(3):80–4.
22. **Bamber AJ, Cosgrove D, Dietrich CF, Fromageau J, Bojunga J, Calliada F, et al.** EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Ultrasound Elastography. Part 1: Basic Principles and Technology. *Ultraschall Med [Internet]*. 2013;34:169–84.
23. **Saavedra AC.** Aspectos físicos de las técnicas elastográficas basadas en ultrasonido Physical aspects of ultrasound-based elastographic techniques. *Carcinos*. 2014;4(2):34–44.
24. **Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, Yazdi Y, Li X.** Elastography: A quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging*. 1991;13(2):111–34.
25. **Bruno C, Minniti S, Bucci A, Pozzi Mucelli R.** ARFI: from basic principles to clinical applications in diffuse chronic disease—a review. *Insights Imaging [Internet]*. 2016;7(5):735–46.
26. **Nightingale Kan, Oo Marysca, Ightingale Ron, Rahey Grt.** Acoustic Radiation Force Impulse Imaging : in Vivo Demonstration of Clinical Feasibility. 2002;28(2):227–35.
27. **Seo M, Ahn HS, Park SH, Lee JB, Choi BI, Sohn Y-M, et al.** Comparison and Combination of Strain and Shear Wave Elastography of Breast Masses for Differentiation of Benign and Malignant Lesions by Quantitative Assessment: Preliminary Study. *J Ultrasound Med [Internet]*. 2018;37(1):99–109.
28. **Catheline S, Wu F, Fink M.** A solution to diffraction biases in sonoelasticity: The acoustic impulse technique. *J Acoust Soc Am [Internet]*. 1999;105(5):2941–50.
29. **Sandrin L, Tanter M, Gennisson JL, Catheline S, Fink M.** Shear elasticity probe for soft tissues with 1-D transient elastography. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2002;49(4):436–46.
30. **Sandrin L, Fourquet B, Hasquenoph JM, Yon S, Fournier C, Mal F, et al.** Transient elastography: A new noninvasive method for assessment of hepatic fibrosis. *Ultrasound Med Biol*. 2003;29(12):1705–13.
31. **V.F. Moreira.** Elastografía hepática (FibroScan®) en hepatología. *Rev Española Enfermedades Dig*. 2013;105(4):235.
32. **Palmeri ML, Wang MH, Dahl JJ, Frinkley KD, Nightingale KR.** Quantifying Hepatic Shear Modulus In Vivo Using Acoustic Radiation Force. *Ultrasound Med Biol*. 2008;34(4):546–58.
33. **Bercoff J, Tanter M, Fink M.** Supersonic Shear Imaging : A New Technique. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2004;51(4):396–409.
34. **Tanter M, Bercoff J, Athanasiou A, Deffieux T, Gennisson JL, Montaldo G, et al.** Quantitative Assessment of Breast Lesion Viscoelasticity: Initial Clinical Results Using Supersonic Shear

- Imaging. *Ultrasound Med Biol.* 2008;34(9):1373–86.
35. **Gennisson JL, Deffieux T, Macé E, Montaldo G, Fink M, Tanter M.** Viscoelastic and anisotropic mechanical properties of in vivo muscle tissue assessed by supersonic shear imaging. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36(5):789–801.
 36. **Arturo A. Bravo , M.D., Sunil G. Sheth , M.D., and Sanjiv Chopra MD.** Liver Biopsy. *English J.* 2001;344(7):495–500.
 37. **Piccinino F, Sagnelli E, Pasquale G, Giusti G, Battocchia A, Bernardi M, et al.** Complications following percutaneous liver biopsy. *J Hepatol [Internet].* 1986;2(2):165–73.
 38. **Latinoamericana A.** Guía de práctica clínica east-aleh: Pruebas no invasivas para la evaluación del pronóstico y severidad de la enfermedad hepática European Association for the Study of the Liver. *J Hepatol.* 2015;63:237–64.
 39. **Carrión JA.** Utilidad del Fibroscan® para evaluar la fibrosis hepática. *Gastroenterol Hepatol.* 2009;32(6):415–23.
 40. **Afdhal NH, Bacon BR, Patel K, Lawitz EJ, Gordon SC, Nelson DR, et al.** Accuracy of fibroscan, compared with histology, in analysis of liver fibrosis in patients with hepatitis B or C: A united states multicenter study. *Clin Gastroenterol Hepatol [Internet].* 2015;13(4):772–779.e3.
 41. **Castera L, Foucher J, Bernard PH, Carvalho F, Allaix D, Merrouche W, et al.** Pitfalls of liver stiffness measurement: A 5-year prospective study of 13,369 examinations. *Hepatology.* 2010;51(3):828–35.
 42. **Ferraioli G, Tinelli C, Dal Bello B, Zicchetti M, Filice G, Filice C.** Accuracy of real-time shear wave elastography for assessing liver fibrosis in chronic hepatitis C: A pilot study. *Hepatology.* 2012;56(6):2125–33.
 43. **Herrmann E, de Lédinghen V, Cassinotto C, Chu WCW, Leung VYF, Ferraioli G, et al.** Assessment of biopsy-proven liver fibrosis by two-dimensional shear wave elastography: An individual patient data-based meta-analysis. *Hepatology.* 2018;67(1):260–72.
 44. **Elkrief L, Rautou P-E, Ronot M, Lambert S, Dioguardi Burgio M, Francoz C, et al.** Prospective Comparison of Spleen and Liver Stiffness by Using Shear-Wave and Transient Elastography for Detection of Portal Hypertension in Cirrhosis. *Radiology [Internet].* 2015;275(2):589–98.
 45. **Lu Q, Ling W, Lu C, Li J, Ma L, Quan J, et al.** Hepatocellular carcinoma: stiffness value and ratio to discriminate malignant from benign focal liver lesions. *Radiology.* 2015;275(3):880–8.