

Elastografía por Deformación en la Práctica Clínica: Una Revisión Exhaustiva de su Utilidad Diagnóstica, Aplicaciones y Limitaciones

I. Introducción a la Elastografía y la Elastografía por Deformación

¿Qué es la Elastografía? Un Enfoque No Invasivo para la Rigidez Tisular

La elastografía es una técnica de imagen médica avanzada diseñada para evaluar la rigidez o elasticidad de los órganos y tejidos dentro del cuerpo.¹ Esta evaluación es fundamental porque numerosos procesos patológicos, como la fibrosis, la inflamación o la malignidad, inducen alteraciones en las propiedades mecánicas de los tejidos, convirtiendo la rigidez en un biomarcador diagnóstico de gran valor.² Como procedimiento no invasivo, la elastografía ofrece una ventaja significativa sobre los métodos invasivos tradicionales, como la biopsia, que conllevan riesgos inherentes e incomodidad para los pacientes. Es un procedimiento generalmente seguro y bien tolerado, que utiliza tecnología de ultrasonido o resonancia magnética sin emplear radiación ionizante, lo que permite realizar exámenes repetidos sin preocupaciones sobre la exposición acumulada a la radiación.¹

Aunque inicialmente ganó prominencia en el diagnóstico y la estadificación de enfermedades hepáticas, particularmente la fibrosis, la utilidad de la elastografía se ha expandido a una variedad de otros órganos, incluyendo la mama, la tiroides, la próstata y el sistema musculoesquelético, demostrando su versatilidad en el diagnóstico clínico.¹ La naturaleza no invasiva y segura de la elastografía, incluida la elastografía por deformación (Strain Elastography, SE), representa un avance considerable en el diagnóstico por imágenes. Esta capacidad no solo reduce potencialmente la necesidad de procedimientos invasivos como las biopsias, sino que

también facilita el monitoreo longitudinal de la progresión de la enfermedad o la respuesta al tratamiento. Este amplio beneficio es la base de su creciente adopción y subraya su papel en la mejora de las vías de atención al paciente.

Principios Fundamentales de la Elastografía por Deformación (SE): Estrés, Deformación y Medición Semicuantitativa

La Elastografía por Deformación, también conocida como elastografía tisular por deformación, elastografía estática o elastografía por compresión, opera bajo el principio de evaluar la estructura macroscópica de un tejido midiendo su módulo de deformación.⁵ El mecanismo central se basa en el módulo de Young, que cuantifica las propiedades elásticas de un material. En la SE, se utiliza un haz de ultrasonido para detectar y visualizar el grado de deformación (deformación) en la dimensión axial dentro de los tejidos, tanto antes como después de la aplicación de una fuerza compresiva.²

Esta fuerza compresiva se aplica típicamente de forma externa y manual por el ecografista utilizando el transductor de ultrasonido (conocida como "SE de mano libre") o, en algunos casos, puede ser generada por movimientos fisiológicos internos como la respiración.⁶ El concepto fundamental es que las regiones de tejido más rígidas exhibirán menos deformación o distorsión en comparación con los tejidos blandos circundantes cuando se someten a la misma cantidad de estrés.¹⁰

La SE es inherentemente un método semicuantitativo. Proporciona información de elasticidad relativa, lo que significa que indica cuán rígida es un área en comparación con otra, en lugar de un valor numérico absoluto de rigidez. Esta información se muestra comúnmente como un mapa codificado por colores (elastograma) superpuesto a una imagen de ultrasonido en modo B convencional.⁵ En estos elastogramas, las áreas de baja deformación (que indican tejido rígido) se representan típicamente en azul, mientras que las áreas de alta deformación (que indican tejido blando) se muestran en rojo, aunque las escalas de color específicas pueden variar entre diferentes proveedores de equipos de ultrasonido.⁶ Una limitación técnica clave que determina la naturaleza semicuantitativa de la SE es la incapacidad de cuantificar con precisión el valor absoluto del estrés aplicado internamente al tejido. Esto hace imposible calcular directamente el módulo de Young absoluto, ya que la elasticidad se define fundamentalmente como la relación entre el estrés y la deformación.² La imposibilidad de cuantificar con precisión el estrés aplicado durante

la Elastografía por Deformación conduce directamente a su naturaleza semicuantitativa. Esto significa que la SE proporciona información de rigidez relativa (por ejemplo, una lesión es más rígida que el tejido circundante) en lugar de valores de rigidez absolutos (por ejemplo, 20 kPa). Esta característica metodológica inherente requiere una interpretación cuidadosa de los resultados de la SE y limita la comparación directa de los valores de rigidez absolutos entre diferentes exámenes de SE o diferentes sistemas de ultrasonido, lo que subraya la necesidad de sistemas de puntuación relativa estandarizados.

Panorama de las Técnicas de Elastografía por Ultrasonido: Posicionando la Elastografía por Deformación frente a la Elastografía por Ondas de Cizallamiento (STE/STQ)

La elastografía por ultrasonido abarca dos categorías principales: los métodos de imagen por deformación, representados principalmente por la Elastografía por Deformación (SE), y los métodos de imagen por ondas de cizallamiento, que incluyen técnicas como la Elastografía por Toque Sónico (Sound Touch Elastography, STE) y la Cuantificación por Toque Sónico (Sound Touch Quantification, STQ).²

La **Elastografía por Deformación (SE)** fue la primera técnica de elastografía por ultrasonido desarrollada y aplicada clínicamente.¹⁰ Se basa en la aplicación de compresión manual externa o en el aprovechamiento del movimiento fisiológico interno para inducir la deformación del tejido. Luego mide el desplazamiento resultante del tejido y lo muestra como un mapa de rigidez relativa.²

En contraste, las técnicas de **Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE), incluyendo STE y STQ**, generan microimpulsos acústicos (o haces de ultrasonido enfocados) dentro del tejido, lo que crea ondas de cizallamiento. El sistema mide entonces la velocidad de propagación de estas ondas de cizallamiento (típicamente en metros por segundo) o convierte esta velocidad en valores cuantitativos de rigidez (en kilopascals).² Una ventaja significativa de la SWE es su independencia de la compresión externa, lo que generalmente conduce a una mayor reproducibilidad y menor variabilidad entre diferentes operadores o mediciones repetidas.⁸ STE y STQ son implementaciones específicas de SWE, que a menudo utilizan la tecnología de fuerza de radiación acústica de impulso (Acoustic Radiation Force Impulse, ARFI) para generar las ondas de cizallamiento.¹⁴

La distinción fundamental radica en su resultado: la SWE se considera generalmente más precisa y proporciona valores de rigidez cuantitativos, lo que permite mediciones absolutas y una comparación más sencilla entre diferentes exámenes. La SE, por otro lado, proporciona información semicuantitativa o cualitativa, indicando la rigidez relativa.⁴ El desarrollo histórico de la SE como el "primer método" ¹⁰, combinado con sus ventajas inherentes de menor costo y amplia accesibilidad ², la posiciona como una herramienta fundamental y pragmática en el diagnóstico por imágenes. Esto es particularmente relevante en entornos con recursos limitados o para evaluaciones diagnósticas iniciales donde métodos cuantitativos más avanzados, como la SWE, pueden no estar disponibles. Este contexto histórico y económico explica por qué la SE sigue siendo una técnica viable e importante a pesar de la aparición de alternativas tecnológicamente más sofisticadas.

II. Aplicaciones Clínicas de la Elastografía por Deformación: Cuándo y Dónde Utilizarla

Utilidad General y Rol como Adjunto

La Elastografía por Deformación (SE) proporciona información única sobre la rigidez de los tejidos, que complementa los datos anatómicos y de flujo vascular obtenidos de la ecografía convencional en modo B y Doppler.⁶ Esta integración ofrece una caracterización tisular más completa. Es fundamental comprender que la SE no pretende reemplazar completamente la ecografía tradicional en escala de grises, color o Doppler de potencia. En cambio, su función principal es aumentar la precisión diagnóstica cuando se utiliza en combinación con estas técnicas de imagen establecidas.⁷ La insistencia constante en que la SE complementa la ecografía en modo B en lugar de reemplazarla, indica un principio fundamental más amplio en el diagnóstico por imágenes: la evaluación multimodal a menudo produce una precisión diagnóstica superior. Para los clínicos, esto implica que la SE siempre debe integrarse en un examen de ultrasonido completo, proporcionando una capa adicional de información, en lugar de utilizarse de forma aislada como una herramienta de diagnóstico independiente.

Evaluación de Enfermedades Hepáticas: Fibrosis y Más Allá

La elastografía, en su sentido más amplio (incluyendo varias técnicas de elastografía por ultrasonido), se utiliza y valida ampliamente para evaluar la rigidez hepática, principalmente para detectar y estadificar la fibrosis hepática (cicatrización) y la cirrosis.¹ Esta técnica es valiosa para diagnosticar afecciones hepáticas en individuos de alto riesgo, determinar la gravedad de la enfermedad hepática (a menudo clasificada utilizando puntuaciones de fibrosis como F0-F4), guiar las decisiones de tratamiento, monitorear la respuesta al tratamiento, predecir posibles complicaciones como la ascitis (acumulación de líquido en el abdomen) y evaluar la cantidad de grasa en el hígado (a través de la puntuación CAP).¹

Si bien la Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE) y la Elastografía Transitoria (por ejemplo, FibroScan) son generalmente preferidas y más validadas para la enfermedad hepática difusa debido a su naturaleza cuantitativa y su capacidad para evaluar órganos más profundos sin compresión manual ⁶, la Elastografía por Deformación (SE) también puede aplicarse al hígado, particularmente para lesiones focales.⁵ Para la caracterización de lesiones hepáticas focales (LHF), la SE sigue siendo en gran medida investigacional. Aunque algunos estudios han mostrado resultados prometedores en la diferenciación de LHF malignas de benignas, también hay informes de hallazgos inconsistentes y amplios rangos de valores de rigidez, lo que puede reflejar la heterogeneidad inherente de los tumores.² A pesar de que la elastografía en general está altamente validada para la fibrosis hepática, la técnica de compresión manual inherente a la SE hace que sea difícil evaluar eficazmente la elasticidad en órganos más profundos como el hígado.⁶ Esto sugiere que, si bien la SE puede aplicarse técnicamente al hígado, su utilidad práctica para la fibrosis hepática difusa puede ser limitada en comparación con la SWE o la elastografía transitoria, que están específicamente diseñadas para una evaluación más consistente de los tejidos profundos. Por lo tanto, el papel principal de la SE en la imagen hepática podría centrarse más en las lesiones focales, donde su enfoque en tiempo real y dirigido es beneficioso, aunque su precisión diagnóstica para esta aplicación específica aún está bajo investigación.

Caracterización de Lesiones Mamarias: Diferenciación entre Benignas y Malignas

La Elastografía por Deformación ha logrado una amplia aceptación como método eficaz para diferenciar entre tumores mamarios malignos y benignos, contribuyendo significativamente al diagnóstico del cáncer de mama.² Un principio clave en la SE mamaria es que las lesiones mamarias malignas suelen presentar una mayor rigidez en comparación con las lesiones benignas y a menudo aparecen más grandes en las imágenes de elastografía que en las imágenes de modo B convencionales.⁵

Se emplean varios métodos en la SE mamaria para la evaluación:

- **Escala de color de 5 puntos:** Este método cualitativo asigna una puntuación basada en el color mostrado, donde el azul típicamente indica tejido rígido (sugiriendo malignidad) y el rojo indica tejido blando (sugiriendo benignidad).⁵
- **Cálculo de la Relación de Deformación (Strain Ratio, SR):** Este método semicuantitativo implica comparar la deformación medida en la lesión mamaria con la deformación en el tejido graso circundante. Una relación de deformación mayor que 1 generalmente indica que la lesión es más dura que el tejido sano adyacente.⁵ Es importante señalar que el punto de corte específico para la relación de deformación puede depender del proveedor del equipo.⁵
- **Relación E/B:** Este método compara el diámetro de la lesión medido en la imagen de elastografía (E) con su diámetro en la imagen de ultrasonido en modo B (B). Una relación E/B inferior a 1 se considera típicamente indicativa de una lesión benigna, y se ha informado que este método es más sensible y específico que los otros dos.⁵

Los estudios han demostrado que la SE puede mejorar la especificidad de la imagen mamaria cuando se utiliza junto con la ecografía convencional en modo B y la mamografía, lo que podría reducir el número de biopsias innecesarias.² En cuanto al rendimiento diagnóstico (ejemplo de masas de tejidos blandos superficiales, principio aplicable): Aunque es específico para masas de tejidos blandos superficiales, los principios diagnósticos y las métricas de rendimiento son ilustrativos. Para diferenciar entre masas malignas y benignas, una relación de deformación (SR) superior a 2.295 demostró una alta sensibilidad del 93.8% y una especificidad del 80.5%. De manera similar, una puntuación elástica de 3 o más mostró una notable sensibilidad del 100% pero una especificidad menor del 51.6%.¹² Dada la alta sensibilidad de la SE para detectar malignidad en lesiones mamarias, como lo ilustra su rendimiento en masas superficiales, un resultado negativo de SE (que indica una lesión blanda) puede ser muy tranquilizador. Esto es particularmente valioso debido al alto valor predictivo negativo (por ejemplo, 97.1% para el umbral de $SR > 2.295$, 100% para el umbral de

puntuación elástica ≥ 3), lo que puede reducir potencialmente la necesidad de biopsias invasivas innecesarias. Por el contrario, una lesión rígida, aunque sensible para la malignidad, requiere una investigación adicional debido a la especificidad comparativamente menor, ya que algunas masas benignas también pueden exhibir alta rigidez. Esto proporciona una guía clara y accionable para la toma de decisiones clínicas.

Evaluación de Nódulos Tiroideos: Orientación de las Decisiones de Biopsia

La Elastografía por Deformación se reconoce como una herramienta valiosa para la evaluación ecográfica de los nódulos tiroideos.⁵ Sirve como una modalidad de imagen complementaria a la ecografía convencional en modo B y a la Punción con Aguja Fina (PAF), con el potencial de reducir el número de PAF innecesarias y ayudar en el diagnóstico de casos desafiantes.² En la SE tiroidea, se utilizan varios sistemas de puntuación, como los criterios de Asteria de 4 puntos y los criterios de Rago de 5 puntos, junto con un índice de rigidez tiroidea semicuantitativo, para evaluar el riesgo de malignidad del nódulo.² Sin embargo, los estudios sobre la SE tiroidea han arrojado resultados mixtos con respecto a su utilidad independiente para la evaluación de la malignidad, con algunos incluso indicando una menor sensibilidad en comparación con la ecografía en modo B sola.² A pesar de esto, la combinación de la ecografía en modo B con la imagen de deformación puede mejorar la precisión diagnóstica general.² Los "resultados mixtos" y el potencial de "menor sensibilidad que la ecografía en modo B" para los nódulos tiroideos sugieren que, si bien la SE puede servir como un adjunto, su poder diagnóstico independiente para la malignidad tiroidea puede ser menos robusto o consistente en comparación con su utilidad en la caracterización de lesiones mamarias. Esto implica que los clínicos deben ejercer una mayor cautela y depender más de la combinación con la ecografía en modo B y el contexto clínico más amplio al evaluar los nódulos tiroideos con SE.

Aplicaciones en el Sistema Musculoesquelético: Tendones, Fascia y Masas de Tejidos Blandos

La Elastografía por Deformación es particularmente útil en la evaluación del sistema musculoesquelético, ofreciendo una visualización en tiempo real de la rigidez de los

tejidos, lo que es invaluable para evaluar diversas patologías.⁵ Para afecciones como la fascitis plantar, la SE ha demostrado la capacidad de detectar el ablandamiento fascial incluso antes de que los cambios macroscópicos sean visibles en la imagen convencional en modo B, lo que indica su potencial para la detección temprana.⁹

En el contexto de la tendinosis de Aquiles, la SE puede ser superior a la ecografía en modo B para identificar la degeneración histopatológica temprana.⁹ Los estudios han demostrado que los tendones sintomáticos con frecuencia exhiben un ablandamiento significativo, mientras que los tendones asintomáticos tienden a permanecer consistentemente duros.⁹ La SE es también una herramienta subordinada valiosa para evaluar la tortícolis muscular congénita (TMC), ya que puede revelar una disminución de la elasticidad y un aumento de la rigidez del músculo esternocleidomastoideo (ECM) tensado, especialmente en casos donde los resultados de la ecografía en modo B no son concluyentes debido a cambios sutiles o amplios rangos en el grosor y la ecogenicidad del músculo.⁹ Además, la SE puede ayudar a diferenciar entre tumores de tejidos blandos malignos y benignos, dado que los tumores malignos son generalmente más rígidos que sus contrapartes benignas.⁹ Más allá del diagnóstico, la SE puede utilizarse para monitorear la progresión de las tendinopatías, que típicamente se presentan como un ablandamiento del tendón, al rastrear los cambios en la rigidez para evaluar la curación a intervalos.¹⁶ También ha demostrado utilidad en la detección de un aumento de la rigidez del nervio mediano en el síndrome del túnel carpiano.¹⁶ La capacidad demostrada de la SE para detectar cambios sutiles en la rigidez de los tejidos antes de que las alteraciones macroscópicas sean visibles en la ecografía convencional en modo B, como se observa en la fascitis plantar y la tendinosis de Aquiles, destaca su potencial significativo para el diagnóstico temprano y el monitoreo de patologías musculoesqueléticas. Esta capacidad representa una ventaja importante, ya que puede facilitar una intervención más temprana, lo que podría prevenir la progresión de la enfermedad y mejorar los resultados para el paciente.

Aplicaciones Emergentes y Otras: Riñón, Próstata, Ganglios Linfáticos y Obstetricia

- **Riñón:** La Elastografía por Deformación ha mostrado promesa en la predicción de fibrosis en pacientes con trasplante renal. Para los riñones nativos, los estudios indican valores más altos del índice de deformación promedio en pacientes con enfermedad renal crónica (ERC), aunque la SE no ha demostrado

consistentemente la capacidad de distinguir entre diferentes etapas de la ERC.² También puede ayudar a caracterizar lesiones renales focales, como la diferenciación de angiomiolipomas (AML) de carcinomas de células renales (CCR).²

- **Próstata:** El cáncer de próstata suele ser más rígido que el tejido prostático normal. La SE, realizada a través de un transductor transrectal con compresiones inducidas manualmente, puede ayudar a identificar áreas más rígidas, lo que podría guiar biopsias dirigidas y mejorar las tasas de detección de cáncer cuando se combina con la biopsia sistemática.²
- **Ganglios Linfáticos:** La SE puede ayudar a diferenciar los ganglios linfáticos anormales (por ejemplo, los debidos a infección o inflamación) de los afectados por malignidades metastásicas o primarias. Los ganglios linfáticos malignos son generalmente más rígidos que los benignos.²
- **Obstetricia:** Las aplicaciones de la elastografía por deformación se están desarrollando actualmente para la evaluación del parto prematuro, lo que indica un posible papel futuro en este campo.⁵
- **Ecocardiografía:** Aunque distinta de la ecocardiografía con seguimiento de motas, algunas aplicaciones de la elastografía por deformación pueden existir en la ecocardiografía.⁵ Es importante distinguir esto de la "STE" mencionada en ¹⁷, que se refiere a la ecocardiografía con seguimiento de motas, una modalidad diferente de la elastografía por ultrasonido.

La descripción de estas aplicaciones como "emergentes", "en desarrollo"⁵, o asociadas con "resultados mixtos" y "limitaciones" específicas² implica que, si bien son prometedoras, el papel de la SE en estas áreas aún no está tan bien establecido o universalmente validado como en las aplicaciones mamarias o musculoesqueléticas. Los clínicos deben abordar estas aplicaciones con una comprensión de la investigación en curso, las limitaciones actuales y la necesidad de estudios de validación adicionales.

Tabla 1: Resumen de Aplicaciones Clínicas Clave y Rendimiento Diagnóstico de la Elastografía por Deformación

Órgano/Aplicación	Indicación Principal	Hallazgos Clave de la SE	Rendimiento Diagnóstico	Fortalezas Clave de la SE	Limitaciones/Consideraciones	Snippets Relevantes
-------------------	----------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------

			o (Ejemplos)		Clave	
Mama	Diferenciación benigno/maligno	Lesiones malignas más rígidas, mayores en elastografía (E/B > 1). Uso de escala de color 5 puntos, Strain Ratio (SR), E/B ratio.	SR > 2.295: Sens 93.8%, Espec 80.5%, VPN 97.1%. Puntuación elástica ≥ 3: Sens 100%, Espec 51.6%, VPN 100% (para masas superficiales).	Tiempo real, completa Modo B, potencial para reducir biopsias innecesarias, alto VPN.	Semicuantitativa, operador-dependiente, algunas lesiones benignas pueden ser rígidas.	2
Tiroides	Evaluación de nódulos, guía de biopsia	Uso de sistemas de puntuación (Asteria, Rago), índice de rigidez.	Resultados mixtos; algunos estudios muestran menor sensibilidad que Modo B solo.	Completa Modo B y PAF, potencial para reducir PAF innecesarias.	Semicuantitativa, operador-dependiente, resultados mixtos, menor sensibilidad en algunos casos.	2
Musculoesquelético	Detección temprana de degeneración, monitoreo	Fascia plantar blanda en fascitis, tendones sintomáticos más blandos en tendinosis de	Superior a Modo B en detección temprana de degeneración histopatológica.	Tiempo real, detección temprana de cambios sutiles, monitoreo de lesiones benignas.	Semicuantitativa, requiere técnica cuidadosa (presión, alineación).	5

		Aquiles, ECM rígido en torticolis.				
Masas de Tejidos Blandos Superficiales	Diferenciación benigno/maligno	Lesiones malignas con SR y puntuaciones elásticas significativamente aumentadas.	SR > 2.295: Sens 93.8%, Espec 80.5%, VPN 97.1%. Puntuación elástica ≥ 3: Sens 100%, Espec 51.6%, VPN 100%.	Diferenciación efectiva, alto VPN, potencial para evitar biopsias.	Menor especificidad (algunas benignas pueden ser rígidas).	12
Hígado (Lesiones Focales)	Caracterización de lesiones focales	-	Investigación, resultados inconsistentes.	Enfoque dirigido y en tiempo real.	Desafío para órganos profundos (compresión manual), investigación, heterogeneidad tumoral.	2
Riñón	Predicción de fibrosis (trasplante), caracterización de lesiones focales	Valores de índice de deformación más altos en ERC.	No distingue consistentemente etapas de ERC. Prometedor para diferenciar AML de CCR.	No invasivo, potencial para monitoreo.	Ubicación retroperitoneal dificulta compresión, no fiable para estadificación de fibrosis en riñones nativos.	2

Próstata	Detección de cáncer, guía de biopsia	Áreas más rígidas en cáncer.	Mejora la precisión sobre TRUS, aumenta la tasa de detección con biopsia dirigida.	Guía de biopsia dirigida, potencial para reducir el número de muestras.	Técnica transrectal, operador-dependiente, condiciones benignas pueden causar falsos positivos.	2
Ganglios Linfáticos	Diferenciación benigno/maligno	Ganglios malignos típicamente más rígidos.	Resultados prometedores, pero estudios limitados y sesgos de selección.	Complementa Modo B.	Semicuantitativa, falta de estandarización, algunas malignidades no aumentan la rigidez.	2

III. La Elastografía por Deformación como Alternativa Diagnóstica Viable

Ventajas de la Elastografía por Deformación: Accesibilidad, Rentabilidad e Imagen en Tiempo Real

La Elastografía por Deformación (SE) ofrece varias ventajas inherentes que la posicionan como una alternativa diagnóstica práctica y valiosa, especialmente en contextos donde las tecnologías más avanzadas pueden no estar disponibles.

- **Rentabilidad:** Los métodos basados en ultrasonido, incluida la Elastografía por Deformación, se consideran generalmente herramientas de diagnóstico muy

rentables. A menudo pueden reducir o eliminar la necesidad de modalidades de imagen más caras (como la resonancia magnética o la tomografía computarizada con contraste) o procedimientos invasivos (como las biopsias), y típicamente no requieren materiales o productos químicos adicionales costosos para el desarrollo de imágenes.² Esto convierte a la SE en una opción económicamente atractiva para los sistemas de atención médica.

- **Accesibilidad:** Una ventaja significativa de la elastografía por ultrasonido, particularmente la SE, es su amplia disponibilidad. Puede realizarse utilizando máquinas de ultrasonido convencionales, lo que la hace accesible en diversos entornos clínicos, incluyendo la cabecera del paciente o en ubicaciones remotas.² Además, los avances continuos en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML) están explorando métodos para generar elastogramas de alta calidad directamente a partir de imágenes de ultrasonido en modo B, lo que podría mejorar aún más la accesibilidad de esta tecnología.¹⁹
- **Imagen en Tiempo Real:** La SE proporciona una visualización en tiempo real del mapa elastográfico, un beneficio crucial en las evaluaciones clínicas dinámicas. Esta retroalimentación inmediata durante el examen permite la exploración y los ajustes interactivos, lo que puede optimizar la adquisición e interpretación de la imagen.⁵
- **Seguridad:** Tanto la SE como la Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE) son procedimientos no invasivos sin riesgos conocidos asociados con la elastografía por ultrasonido. Este perfil de seguridad inherente permite realizar exploraciones repetidas sin preocupaciones para el paciente, lo que la hace adecuada para el monitoreo de afecciones crónicas.¹

La potente combinación de bajo costo, amplia disponibilidad y capacidad de imagen en tiempo real posiciona a la Elastografía por Deformación como una herramienta de elastografía ideal de primera línea o en el punto de atención. Esto es particularmente valioso en entornos donde los sistemas de elastografía cuantitativa avanzados y más costosos (como STE/STQ) son escasos o no están disponibles. Esta ventaja estratégica apoya directamente su uso continuo y expandido como una alternativa diagnóstica práctica y accesible.

Análisis Comparativo: Elastografía por Deformación frente a Elastografía por Ondas de Cizallamiento (STE/STQ)

Diferencias Técnicas y sus Implicaciones Clínicas

La Elastografía por Deformación (SE) y la Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE), que incluye STE y STQ, representan enfoques distintos para la evaluación de la rigidez tisular, con implicaciones clínicas significativas derivadas de sus diferencias técnicas.

La **Elastografía por Deformación (SE)** se basa en la compresión manual externa aplicada por el operador o en el movimiento fisiológico interno para inducir la deformación del tejido. Mide la deformación del tejido *en relación* con las estructuras circundantes.⁶ El resultado es típicamente semicuantitativo o cualitativo, mostrado como mapas de color o relaciones de deformación.⁶ Una limitación fundamental es que el valor absoluto del estrés aplicado es desconocido, lo que imposibilita el cálculo directo del módulo de Young absoluto.⁶

En contraste, los sistemas de **Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE), incluyendo STE y STQ**, generan ondas de cizallamiento dentro del tejido utilizando impulsos acústicos enfocados. Luego miden la velocidad de propagación de estas ondas de cizallamiento (en metros por segundo) o la convierten en valores de rigidez absolutos (en kilopascales).² La SWE es un método

cuantitativo y, por lo general, se ve menos afectada por la variabilidad del operador en la compresión, lo que conduce a una mayor reproducibilidad para las mediciones absolutas.⁸ La diferencia fundamental en cómo se aplica y mide el estrés —manual y relativo para la SE versus impulso acústico controlado y absoluto para la SWE— determina directamente su naturaleza cuantitativa. Esto significa que la SWE ofrece inherentemente una mayor precisión y reproducibilidad para los valores de rigidez absolutos, lo que la hace generalmente preferida para aplicaciones que requieren una estadificación precisa y cuantificable, como la fibrosis hepática difusa. Por el contrario, la dependencia de la SE de las mediciones relativas significa que su utilidad está más ligada a los patrones visuales y las evaluaciones comparativas.

Rendimiento Diagnóstico Comparativo en Órganos (ej. Rigidez Renal, Lesiones Mamarias)

Si bien se afirma ampliamente que la Elastografía por Ondas de Cizallamiento es "más precisa" que la elastografía por deformación ⁴, esta generalización requiere una comprensión matizada que depende de la aplicación clínica específica.

- **Lesiones Mamarias:** Para los tumores mamarios, los estudios que comparan la SE y la SWE han arrojado resultados contradictorios con respecto a qué técnica ofrece una sensibilidad y especificidad superiores.¹³ Algunas investigaciones sugieren que la SE puede tener un mejor rendimiento diagnóstico (según lo informado por Barr y Zhang, citado en ¹³), mientras que otros estudios indican que la SWE ofrece una mayor sensibilidad y la SE una mayor especificidad (Chang et al., citado en ¹³), o incluso ninguna diferencia significativa entre ambas (Seo et al., citado en ¹³). Esta variabilidad subraya la complejidad de comparar estas modalidades.
- **Rigidez Renal (STE vs. STQ):** Un estudio que comparó específicamente STE (un método 2D-SWE) y STQ (un método de SWE puntual) para evaluar la rigidez renal encontró que STE era superior. STE demostró una mejor precisión diagnóstica para distinguir la nefropatía de los individuos sanos y para evaluar diferentes etapas patológicas del deterioro renal. Ofreció un mapa de rigidez de color en tiempo real y proporcionó el módulo elástico máximo, que se encontró que era más sensible que el módulo medio.¹⁴ Esto destaca que incluso dentro de la categoría SWE, diferentes implementaciones pueden tener distintos niveles de rendimiento y utilidad.
- **Fibrosis Hepática:** La SWE en tiempo real se considera más precisa que la elastografía transitoria (por ejemplo, FibroScan) para la estadificación de la fibrosis hepática e incluso puede ofrecer una imagen más precisa que la biopsia debido a su mayor área de muestreo.¹⁵ Si bien la SE puede aplicarse al hígado, su técnica de compresión manual la hace desafiante para evaluar eficazmente órganos profundos y difusos.⁶

Los resultados contradictorios con respecto al rendimiento diagnóstico de la SE frente a la SWE en lesiones mamarias ¹³ indican que la afirmación general de que la SWE es "más precisa" ⁴ no es universalmente aplicable y depende significativamente de la aplicación específica, el diseño del estudio y la experiencia del operador. Esto sugiere que la SE aún puede ser altamente efectiva y competitiva en ciertos contextos, particularmente cuando es realizada por operadores experimentados. Esta comprensión matizada es crucial para los clínicos que evalúan qué técnica de elastografía emplear.

Identificación de Escenarios donde la SE es una Alternativa Recomendada y Segura

Basándose en sus ventajas inherentes y su rendimiento comparativo, la Elastografía por Deformación es una alternativa diagnóstica recomendada y segura, principalmente para patologías superficiales donde la compresión manual es factible. Tiene un valor particular en entornos con recursos limitados y sirve como una herramienta adjunta eficaz para mejorar el poder diagnóstico de la ecografía convencional. Su alto valor predictivo negativo en ciertos contextos la convierte en un método fiable para descartar malignidad, guiando a los clínicos a evitar procedimientos invasivos innecesarios.

- **Órganos/Lesiones Superficiales:** La SE es particularmente adecuada y efectiva para evaluar órganos superficiales como la mama y la tiroides, donde la compresión manual puede aplicarse de manera efectiva y consistente.²
- **Entornos con Restricciones de Costo:** Su costo relativamente más bajo y el hecho de que puede incorporarse a los sistemas de ultrasonido convencionales existentes hacen de la SE una opción altamente viable y práctica en entornos de atención médica donde el acceso a sistemas SWE más caros y dedicados es limitado.²
- **Herramienta Diagnóstica Adjunta:** Cuando se utiliza en combinación con la ecografía convencional en modo B y Doppler, la SE mejora consistentemente la precisión diagnóstica general al proporcionar información complementaria sobre la rigidez.⁷
- **Detección Temprana y Monitoreo:** Especialmente en aplicaciones musculoesqueléticas, la SE demuestra la capacidad de detectar cambios sutiles en la rigidez de los tejidos incluso antes de que sean macroscópicamente visibles en la ecografía en modo B, lo que ayuda en el diagnóstico temprano y el monitoreo efectivo de lesiones benignas.⁹
- **Alto Valor Predictivo Negativo:** Para aplicaciones específicas, como la caracterización de lesiones mamarias o masas de tejidos blandos superficiales, un resultado benigno de SE (que indica una lesión blanda) puede proporcionar una alta confianza para descartar malignidad, lo que podría reducir la necesidad de procedimientos invasivos innecesarios como las biopsias.¹²

Tabla 2: Comparativa General: Elastografía por Deformación frente a Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE/STE/STQ)

Característica	Elastografía por Deformación (SE)	Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE/STE/STQ)
Principio de Operación	Mide la deformación del tejido (strain) en respuesta a una compresión aplicada.	Mide la velocidad de propagación de ondas de cizallamiento generadas acústicamente.
Método de Aplicación de Estrés	Compresión manual externa (operador) o movimiento fisiológico interno.	Impulsos acústicos enfocados (ARFI) generados por el propio equipo de ultrasonido.
Tipo de Medición	Semicuantitativa o cualitativa (rigidez relativa).	Cuantitativa (rigidez absoluta).
Salida (Unidades)	Mapas de color (ej. azul para rígido, rojo para blando), relación de deformación, puntuaciones elásticas.	Kilopascales (kPa) o metros por segundo (m/s).
Dependencia del Operador	Alta (la calidad de la imagen y la medición dependen en gran medida de la técnica de compresión).	Menor (la generación de ondas es automatizada, menos dependiente de la compresión manual).
Reproducibilidad	Moderada a baja (debido a la variabilidad de la compresión).	Alta (mediciones más consistentes y objetivas).
Costo del Equipo	Generalmente más bajo (a menudo integrada en equipos de ultrasonido convencionales).	Generalmente más alto (requiere sistemas de ultrasonido más avanzados o dedicados).
Accesibilidad (Disponibilidad Generalizada)	Amplia (puede realizarse en la mayoría de los equipos de ultrasonido convencionales).	Más limitada (requiere equipos específicos, menos disponibles en entornos con recursos limitados).
Capacidad en Tiempo Real	Sí, visualización en tiempo real del elastograma.	Sí, visualización en tiempo real del elastograma cuantitativo.

Idoneidad para Órganos Profundos	Desafiante (la compresión manual se atenúa con la profundidad).	Buena (las ondas de cizallamiento se generan internamente, menos afectadas por la profundidad).
Idoneidad para Órganos Superficiales	Excelente (la compresión manual es efectiva y consistente).	Excelente.

IV. Limitaciones y Artefactos de la Elastografía por Deformación

Limitaciones Inherentes de la Técnica

A pesar de sus ventajas, la Elastografía por Deformación (SE) presenta varias limitaciones inherentes que pueden influir en su precisión e interpretación. La principal limitación de la SE es que el valor absoluto del estrés aplicado es desconocido.⁷ Esto significa que no se puede calcular el valor absoluto de la elasticidad o el módulo de Young del tejido. La metodología se basa en una distribución uniforme del estrés sobre la región de interés (ROI), lo cual puede ser difícil de lograr en la práctica clínica.¹¹ Además, el estrés aplicado se atenúa a medida que se transmite a través de los tejidos, lo que dificulta la evaluación precisa de lesiones más profundas.¹¹

La anisotropía de los tejidos *in vivo* puede causar distribuciones de estrés variables y, consecuentemente, deformaciones variables, lo que plantea desafíos en la obtención de imágenes precisas.¹¹ Los límites de los tejidos y el movimiento entre órganos también presentan dificultades para este método de imagen.¹¹ En el caso específico de la elastografía por ultrasonido endoscópico (EUS), una limitación adicional es la presión no estandarizada aplicada con la sonda.¹¹ La reconstrucción de la imagen en la elastografía por EUS siempre utiliza el espectro de color completo dentro del área de la muestra, lo que puede ser una limitación.¹¹ El tamaño limitado de la ROI y la penetración de la profundidad en la elastografía por EUS impiden una delineación clara de los bordes de las lesiones situadas demasiado lejos del transductor.¹¹ Una limitación importante de la elastografía por EUS es la selección subjetiva de la imagen

y el análisis cualitativo de patrones, lo que se asocia con una variabilidad intraobservador e interobservador significativa.¹¹ La adquisición de datos en la SE depende en gran medida del conocimiento profesional del examinador, lo que introduce una considerable variabilidad entre observadores.¹³

Artefactos Comunes y su Interpretación

Los elastogramas de SE pueden verse afectados por varios artefactos que deben ser reconocidos e interpretados correctamente para evitar diagnósticos erróneos.⁷

- **Estrés Irregular sobre la Cara del Transductor:** Este artefacto ocurre cuando la presión aplicada por el transductor no es uniforme en toda su superficie. Una buena capa de gel es esencial para evitar la fricción entre el transductor y la piel, lo que puede causar la no uniformidad del campo de estrés. Deben evitarse movimientos como el "talón-punta" del transductor, a menudo utilizados en el modo B o Doppler. Este artefacto es más común con transductores de matriz fuertemente curvados, como en los estudios de próstata, y se manifiesta como un "artefacto de rigidez lateral".¹¹
- **Artefactos Quísticos:** En quistes o regiones desprovistas de ecos, la medición del desplazamiento entre fotogramas detecta ruido aleatorio. Sin embargo, estos patrones pueden ser útiles para discriminar lesiones quísticas de sólidas.¹¹
 - **Signo BGR:** Es un patrón de 3 capas (azul/verde/rojo) que se observa en áreas quísticas más pequeñas, particularmente en el rango de 10 a 20 mm. Se considera un artefacto útil ya que resalta la naturaleza quística de la lesión, incluso en aquellas con material ecogénico interno. Los quistes más grandes a menudo aparecen como un "agujero negro" sin señal de deformación.¹¹
 - **Artefacto de Ojo de Buey:** Descrito en otros sistemas de elastografía, este artefacto ha mostrado una sensibilidad y especificidad convincentes en la clasificación de quistes benignos simples y complicados, lo que podría reducir las biopsias mamarias innecesarias.¹¹
- **Lesión Rígida dentro de Tejidos Blandos:** Se debe tener cuidado para evitar la evaluación del tejido adyacente a áreas rígidas, ya que el tejido blando experimentará más deformación cuando se encuentre sobre tejido duro. Esto puede llevar a representaciones de color engañosas (por ejemplo, el tejido blando sobre una lesión rígida que muestra más coloración roja que el tejido adyacente a la misma profundidad).¹¹
- **Límites de Deslizamiento:** Estos artefactos ocurren debido a la movilidad del

tejido, donde una región de tejido se mueve independientemente de otra. Estas áreas suelen representarse en rojo (blando), lo que indica grandes desplazamientos entre fotogramas. Un ejemplo es el artefacto del "borde blando" que se observa en la cápsula prostática normal.¹¹ Las señales fuertes que indican tejido "blando" también se observan con frecuencia en las imágenes abdominales del páncreas y el intestino, representando superficies naturales como el peritoneo o la superficie luminal del intestino.¹¹

- **Ruido y Incertidumbre:** La mala calidad de la imagen puede ser el resultado del ruido (por ejemplo, si el tejido en estudio es demasiado profundo) y la incertidumbre en el seguimiento de los desplazamientos.⁷

V. Estandarización y Direcciones Futuras

El campo de la elastografía por ultrasonido, incluida la Elastografía por Deformación (SE), continúa evolucionando, con desafíos y oportunidades en la estandarización y las direcciones futuras. Existe una necesidad crítica de estandarización técnica para garantizar una reproducibilidad consistente entre diferentes configuraciones y equipos.¹⁹ La falta de uniformidad entre los sistemas comerciales, que varían en diseño y configuración, dificulta las comparaciones entre estudios y centros.⁶ Organizaciones como la Society of Radiologists in Ultrasound (SRU) y la World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB) han abogado por la adopción de una nomenclatura y técnicas apropiadas para describir los métodos de elastografía utilizados, lo que es un paso fundamental hacia la estandarización.⁶ Por ejemplo, un consenso reciente aboga por informar los resultados como velocidad de onda de cizallamiento (c_{S_2}) en m/s como parte de un enfoque estandarizado.⁶

Un desafío importante radica en la validación de los marcadores elastográficos para la detección temprana en poblaciones de alto riesgo, un paso clave para establecer el papel de esta tecnología en la medicina preventiva.¹⁹ La complejidad de la interpretación se ve exacerbada por la dependencia del operador en técnicas como la SE manual, donde la tasa y la distancia de movimiento de la sonda son críticas para obtener los mejores elastogramas posibles, aunque los sistemas tienden a ser cada vez más tolerantes al movimiento.⁷

La integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) presenta oportunidades prometedoras para abordar algunas de estas limitaciones.

Estas tecnologías pueden ayudar a generar elastogramas de alta calidad a partir de imágenes de ultrasonido en modo B, lo que podría mejorar la accesibilidad de la tecnología.¹⁹ Además, los algoritmos de IA y ML pueden compensar la variabilidad del operador y normalizar las mediciones, lo que podría mejorar la reproducibilidad y la consistencia de los resultados.¹⁹ Sin embargo, la optimización de los algoritmos de IA para la aplicación clínica en tiempo real sigue siendo un desafío en curso, que requiere un mayor refinamiento para garantizar resultados fiables e instantáneos durante los exámenes de los pacientes.¹⁹

Los estudios exhaustivos de rentabilidad son esenciales para demostrar la viabilidad económica y los beneficios para la salud de la implementación de estas técnicas en los programas de detección, especialmente a medida que los sistemas de atención médica de todo el mundo buscan una justificación basada en la evidencia para adoptar nuevas tecnologías.¹⁹ Los costos operativos continuos, como el mantenimiento regular, las actualizaciones de software y los servicios de calibración, añaden otra capa de desafío económico para mantener los servicios elastográficos.²¹

El campo de la elastografía no ha alcanzado aún su madurez, lo que indica un potencial considerable por descubrir.⁷ Un hallazgo general es que se necesita experiencia para obtener lecturas de elasticidad reproducibles, lo que es más evidente en la elastografía transitoria.⁷ La combinación de elastografía con la ecografía convencional es a menudo mucho más potente que cualquiera de las dos por sí sola, lo que sugiere que el futuro de la elastografía radica en su integración perfecta con las modalidades de imagen existentes para una evaluación diagnóstica integral.⁷

VI. Conclusiones y Recomendaciones

La Elastografía por Deformación (SE) es una técnica de ultrasonido invaluable que evalúa la rigidez tisular, complementando la información anatómica y vascular proporcionada por la ecografía convencional. Su naturaleza no invasiva, seguridad y capacidad de imagen en tiempo real la posicionan como una herramienta diagnóstica atractiva, especialmente en entornos donde los recursos son limitados o donde las técnicas más avanzadas como la Elastografía por Ondas de Cizallamiento (SWE/STE/STQ) no están disponibles.

Cuándo usar la Elastografía por Deformación:

- **Patologías Superficiales:** La SE es particularmente eficaz y se recomienda para la evaluación de órganos y lesiones superficiales, como la mama y la tiroides, donde la compresión manual puede aplicarse de manera efectiva y consistente. Para las lesiones mamarias, un resultado negativo de SE (que indica una lesión blanda) puede proporcionar una alta confianza para descartar malignidad, lo que podría reducir la necesidad de biopsias invasivas innecesarias.
- **Aplicaciones Musculoesqueléticas:** Demuestra un valor significativo en la detección temprana de cambios sutiles en la rigidez de los tejidos en afecciones como la fascitis plantar y la tendinosis de Aquiles, incluso antes de que aparezcan alteraciones macroscópicas en la ecografía en modo B. Esto la hace valiosa para el diagnóstico precoz y el monitoreo de la progresión de la enfermedad.
- **Entornos con Restricciones de Costo:** Su menor costo y la capacidad de integrarse en los sistemas de ultrasonido convencionales la convierten en una alternativa diagnóstica viable y práctica en clínicas y hospitales con presupuestos limitados.
- **Herramienta Adjunta:** Siempre debe utilizarse en combinación con la ecografía en modo B y Doppler, ya que la información de rigidez que proporciona mejora la precisión diagnóstica general.

Limitaciones de la Elastografía por Deformación:

- **Naturaleza Semicuantitativa:** La SE proporciona información de rigidez relativa en lugar de valores absolutos, debido a la imposibilidad de cuantificar el estrés interno aplicado. Esto limita la comparación directa de valores de rigidez entre diferentes exámenes o sistemas.
- **Dependencia del Operador:** La calidad de la imagen y la precisión de la medición dependen en gran medida de la técnica de compresión manual del operador, lo que puede introducir variabilidad.
- **Menor Eficacia para Órganos Profundos:** La atenuación del estrés con la profundidad hace que la SE sea menos adecuada para la evaluación de órganos profundos como el hígado, donde las técnicas de SWE son generalmente superiores.
- **Resultados Mixtos en Ciertas Aplicaciones:** Aunque prometedora, su utilidad en áreas como la evaluación de nódulos tiroideos, riñón, próstata y ganglios linfáticos aún está en desarrollo y los estudios han mostrado resultados inconsistentes, lo que requiere una interpretación cautelosa.
- **Artefactos Específicos:** Los profesionales deben estar familiarizados con artefactos como el estrés irregular, los patrones quísticos (signo BGR, ojo de

buey), y los límites de deslizamiento, que pueden influir en la interpretación.

Recomendaciones:

1. **Formación y Competencia:** Es fundamental que los médicos y ecografistas que utilizan la SE reciban una formación adecuada en la técnica de compresión y la interpretación de los elastogramas para minimizar la variabilidad del operador y garantizar resultados fiables.
2. **Integración Multimodal:** La SE debe considerarse como una herramienta complementaria a la ecografía convencional en modo B y Doppler, nunca como un reemplazo, para obtener una evaluación diagnóstica más completa.
3. **Conocimiento de las Limitaciones:** Los profesionales deben ser conscientes de las limitaciones inherentes de la SE, especialmente su naturaleza semicuantitativa y los desafíos en la evaluación de órganos profundos, para aplicar la técnica de manera apropiada y segura.
4. **Consideración de la Alternativa:** En entornos donde la SWE (STE/STQ) no está disponible, la SE representa una alternativa viable y rentable, especialmente para el diagnóstico y monitoreo de patologías superficiales y musculoesqueléticas, donde su rendimiento ha sido bien documentado.
5. **Participación en la Estandarización:** Fomentar la adopción de protocolos estandarizados y contribuir a la investigación en curso ayudará a mejorar la reproducibilidad y la aceptación general de la SE en la práctica clínica.

En resumen, la Elastografía por Deformación es una técnica diagnóstica valiosa y accesible que, cuando se aplica correctamente y se comprenden sus limitaciones, puede mejorar significativamente la capacidad diagnóstica de los clínicos, ofreciendo una alternativa viable para la evaluación de la rigidez tisular en diversas patologías.

Obras citadas

1. Elastografía: Prueba de laboratorio de MedlinePlus, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/elastografia/>
2. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications - Theranostics, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.thno.org/v07p1303.htm>
3. Elastography - Radiologyinfo.org, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.radiologyinfo.org/en/info/elastography>
4. Elastography - MSDC, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://msdcmbd.com/elastography/>
5. Strain elastography | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://radiopaedia.org/articles/strain-elastography>
6. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical ..., fecha de acceso:

- junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5399595/>
7. EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Ultrasound Elastography. Part 2, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://d-nb.info/1175010421/34>
 8. La elastografía: una nueva aplicación de la ecografía ... - Elsevier, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=S0033833812002469&r=10>
 9. Usefulness of strain elastography of the musculoskeletal system - PMC, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4825205/>
 10. A Comparative Study of Strain and Shear-Wave Elastography in an ..., fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.14.13076>
 11. Strain Elastography - How To Do It? - PMC, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5720889/>
 12. Diagnostic value of strain elastography for differentiating benign and ..., fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5530143/>
 13. Comparing the accuracy of shear wave elastography and strain elastography in the diagnosis of breast tumors: A systematic review and meta-analysis, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9646582/>
 14. Comparison of sound touch elastography and quantification for ..., fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10403462/>
 15. Ultrasound elastography accurately predicts fibrosis - AuntMinnie, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.auntminnie.com/clinical-news/ultrasound/article/15610176/ultrasound-elastography-accurately-predicts-fibrosis>
 16. acr-sru practice parameter for the performance of ultrasound elastography - Full Document Preview - American College of Radiology, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://gravitas.acr.org/PPTS/GetDocumentView?docId=37>
 17. Clinical Utility of Strain Imaging in Assessment of Myocardial Fibrosis - MDPI, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/3/743>
 18. Special Issue : Ultrasound Elastography - Applied Sciences - MDPI, fecha de acceso: junio 30, 2025, https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/Ultrasound_Elastography
 19. Ultrasound elastography: advances and challenges in ... - Frontiers, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/oncology/articles/10.3389/fonc.2025.1589142/epub>
 20. Comparison of Shear-Wave and Strain Ultrasound Elastography in the Differentiation of Benign and Malignant Breast Lesions | AJR - American Journal of Roentgenology, fecha de acceso: junio 30, 2025, <https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.12.10416>
 21. Cost-effectiveness study of FIB-4 followed by transient elastography screening strategy for advanced hepatic fibrosis in a NAFLD at-risk population | Request PDF - ResearchGate, fecha de acceso: junio 30, 2025, https://www.researchgate.net/publication/377842431_Cost-effectiveness_study

[of FIB-4 followed by transient elastography screening strategy for advanced hepatic fibrosis in a NAFLD at-risk population](#)