

Aplicaciones de la sonoelastografía en musculoesquelético

Pedro García González¹, Sara Escoda Menéndez¹,
Ana Rosa Meana Morís²

¹Clínica Molinón, Gijón;

²Hospital Universitario de Cabueñes, Gijón.

Correspondencia: pgarcia@clinicaelmolinon.com

INTRODUCCIÓN:

En el estudio de la patología del aparato locomotor la ecografía desempeña un papel muy relevante, fundamentalmente en las estructuras superficiales, debido a su alta resolución pues el pixel de un transductor lineal de alta frecuencia es la tercera parte del pixel de una imagen de resonancia magnética (RM) de alto campo.

Sin embargo la ecografía no nos muestra las propiedades biomecánicas del tejido y el aspecto ecográfico del tejido enfermo puede ser indistinguible del tejido sano, sobre todo en las fases iniciales del enfermedad.

Por ello sería deseable ir un paso más allá y encontrar una técnica que detecte la patología en fase preclínica. Es aquí donde el hecho de poder valorar los cambios en la elasticidad de los tejidos, sus características biomecánicas, podría ser determinante para detectar precozmente la patología y reflejar cambios relacionados con inflamación, fibrosis, degeneración, tumores, etc.

Es en este punto donde la sonoelastografía (que llamaremos elastografía, para abreviar) podría desempeñar un papel fundamental.

BASES FÍSICAS:

La elastografía es una técnica relativamente reciente, comenzó a emplearse en los años 90. Se usa habitualmente en el hígado y también en la mama, tiroides, próstata...

La elastografía se basa en el estudio de la deformabilidad de un tejido al aplicar una presión, lógicamente un tejido “duro” se deformará menos que un tejido “blando”. Obtiene información antes y después de la compresión para calcular la resistencia del tejido a la deformación.

Con la compresión se producen ondas longitudinales, en la misma dirección que la fuerza aplicada, y ondas transversales perpendiculares a ella. En función de cuáles valoremos y el método para aplicar la fuerza tendremos varias técnicas, como se explica en el siguiente esquema (tomado de *Sigrist RMS. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. Theranostics 2017; 7(5): 1303-29*)

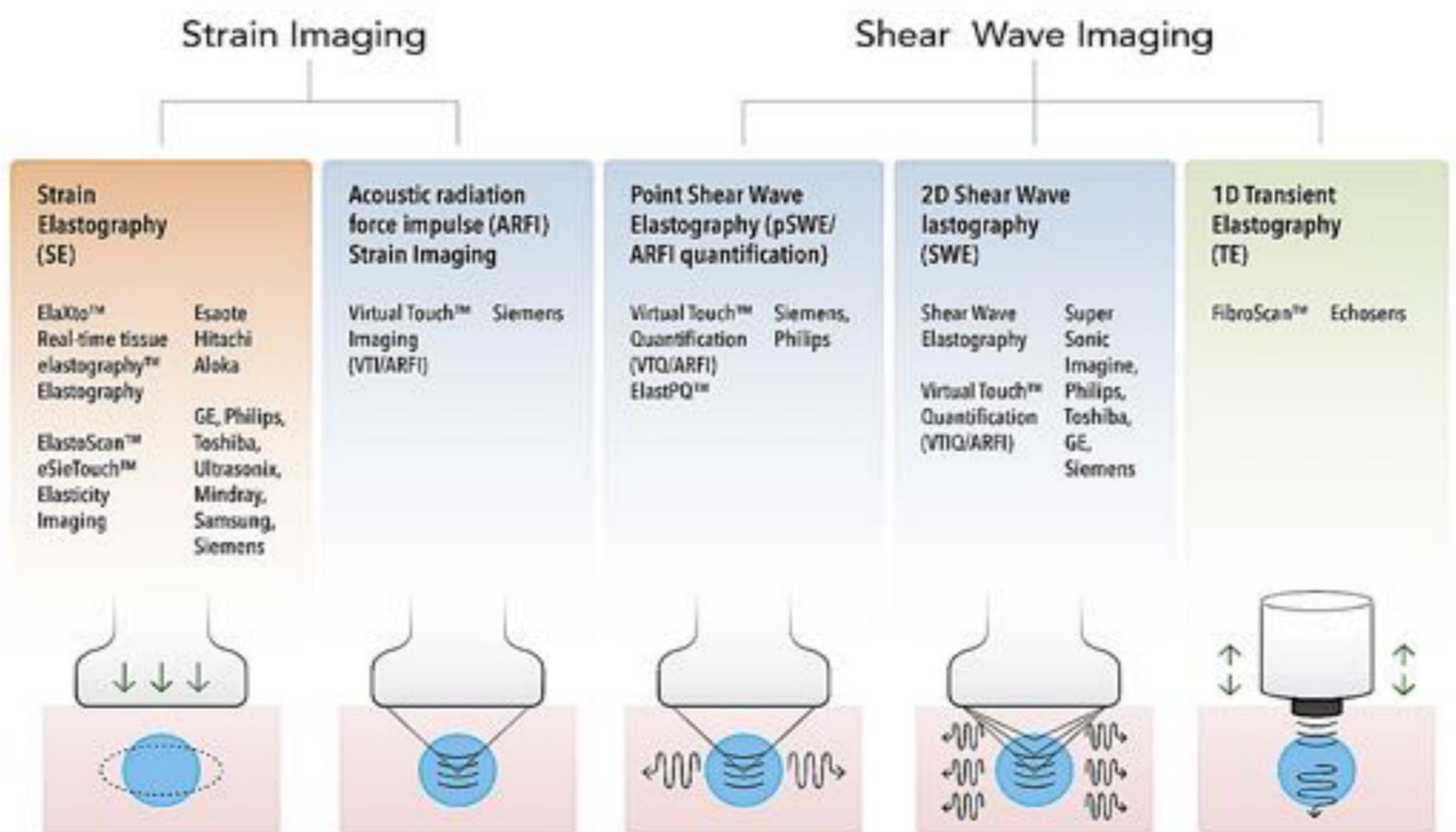
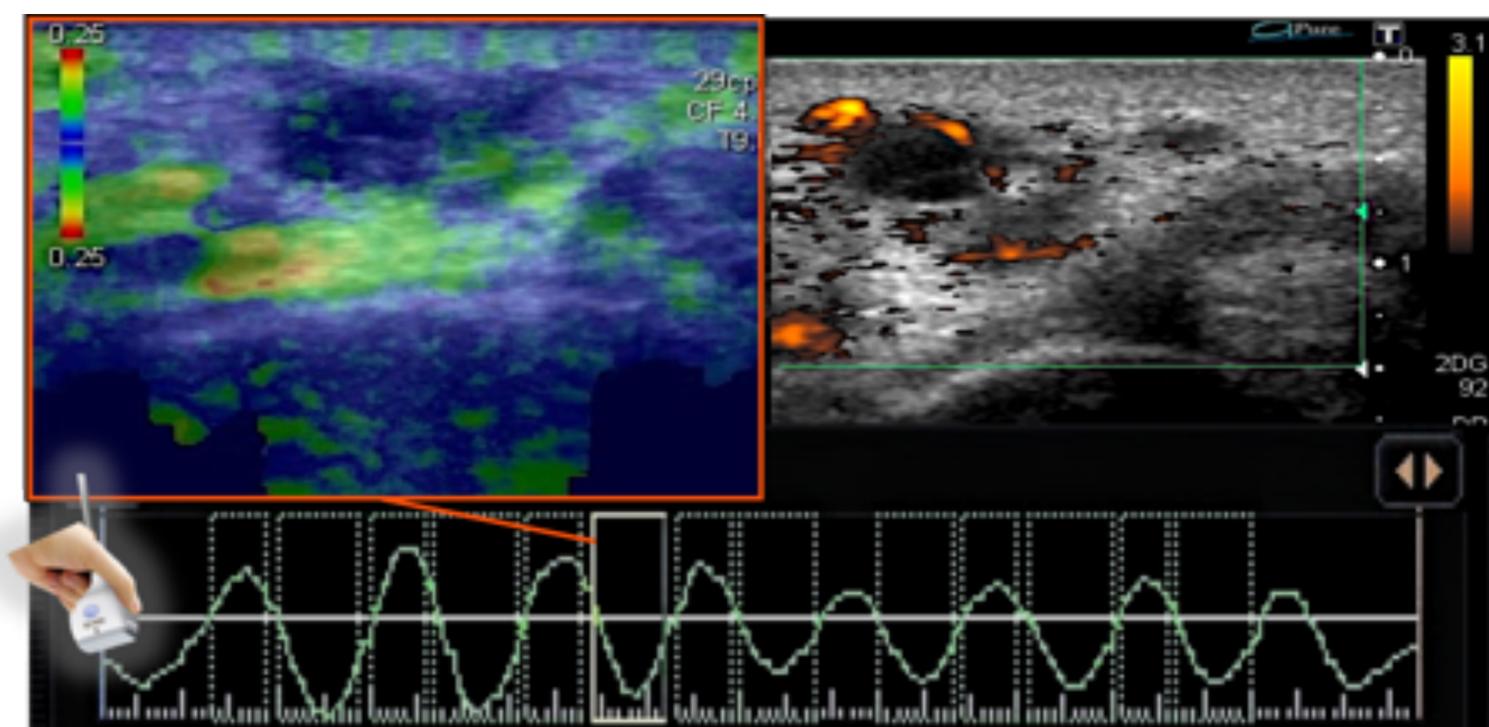


Figure 3. Ultrasound Elastography Techniques. Currently available USE techniques can be categorized by the measured physical quantity: 1) strain imaging (left), and 2) shear wave imaging (right). Excitations methods include quasi-static mechanically-induced displacement via active external compression or passively-induced physiologic motion (orange), dynamic mechanically-induced compression via a “thumping” transducer at the tissue surface to produce shear waves (green), and dynamic ultrasound-induced tissue displacement and shear waves by acoustic radiation force impulse excitation (blue).

La elastografía de *compresión (strain)* fue la primera empleada y no nos aporta información cuantitativa sino cualitativa mediante una gama de colores que suele ir desde azul (duro) a rojo (blando).

Pueden utilizarse, dependiendo de la empresa desarrolladora, dos formas de aplicar la presión:

Una de ellas es realizar la compresión *manualmente*, como podemos ver en la imagen. La curva de compresión (línea verde sinusoidal, visible en la zona inferior de la imagen) nos indicará si la compresión realizada es correcta y realizaremos la medición en descompresión, tratando de minimizar la dependencia del operador, es útil para estructuras superficiales. En este caso el nódulo hipoecogénico aparece azul (duro).



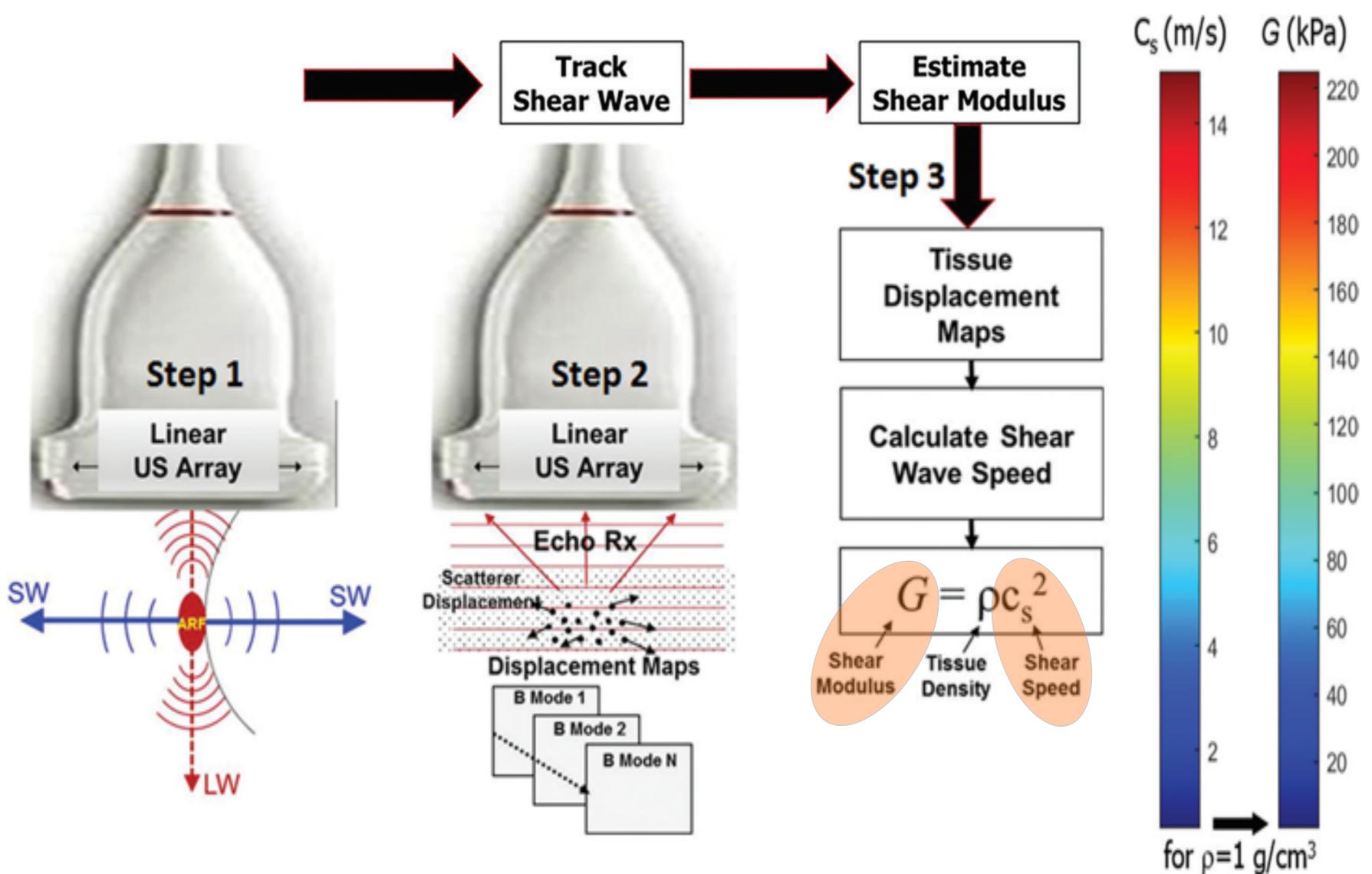
La otra técnica de compresión consiste en mantener el transductor estable sobre la piel y aprovechar los movimientos fisiológicos (latidos, respiración...) como fuentes de presión. En este caso podríamos valorar también las estructuras profundas.

Las limitaciones fundamentales de la elastografía de compresión son que es muy operador dependiente, lo que reduce mucho su reproducibilidad

La elastografía *Shear Wave* (SWE) emplea un dispositivo electrónico para generar un pulso acústico que produzca la deformación tisular.

Nos referiremos únicamente a la SWE 2D, que mide la velocidad en m/s de las ondas transversales (de “cizallamiento”, de ahí su nombre) generadas por el pulso acústico en todos los puntos del tejido estudiado.

A partir de esa velocidad, conociendo la densidad del tejido (habitualmente tomaremos densidad 1g/cm³ como si se tratase de agua), podremos calcular la presión en kPa y obtener un mapa de color (rojo “duro” y azul “blando”), como podemos ver en el siguiente esquema.



APLICACIONES CLÍNICAS:

Aunque la elastografía está muy establecida y estandarizada en otras áreas, fundamentalmente en el hígado, en el aparato locomotor aún está dando sus primeros pasos.

Hasta que se estandaricen las medidas y se establezcan tablas, nuestra herramienta fundamental será el mapa de color. No obstante ya se está trabajando en ello y existen publicaciones sobre los distintos tejidos que lo conforman.

Es importante tener en cuenta que los mapas de color están invertidos en las 2 técnicas, en la de comprensión azul es “duro” mientras que en SWE es “blando”.

Es preferible emplear la medición de velocidades que es la magnitud que obtenemos en primer lugar ya que la presión, al calcularse en función de la densidad y ser los tejidos del aparato locomotor muy heterogéneos, podría ofrecernos valores erróneos.

Es muy importante colocar el transductor perfectamente perpendicular o paralelo al tejido que vamos a estudiar y evitar ejercer presión para no distorsionar la medición.

En este capítulo hablaremos de su aplicación en el tendón y el músculo. Dado que aún no existen estándares claros mostraremos casos de nuestra experiencia que tratarán de demostrar la utilidad de la elastografía así como sus posibles indicaciones.

TENDÓN:

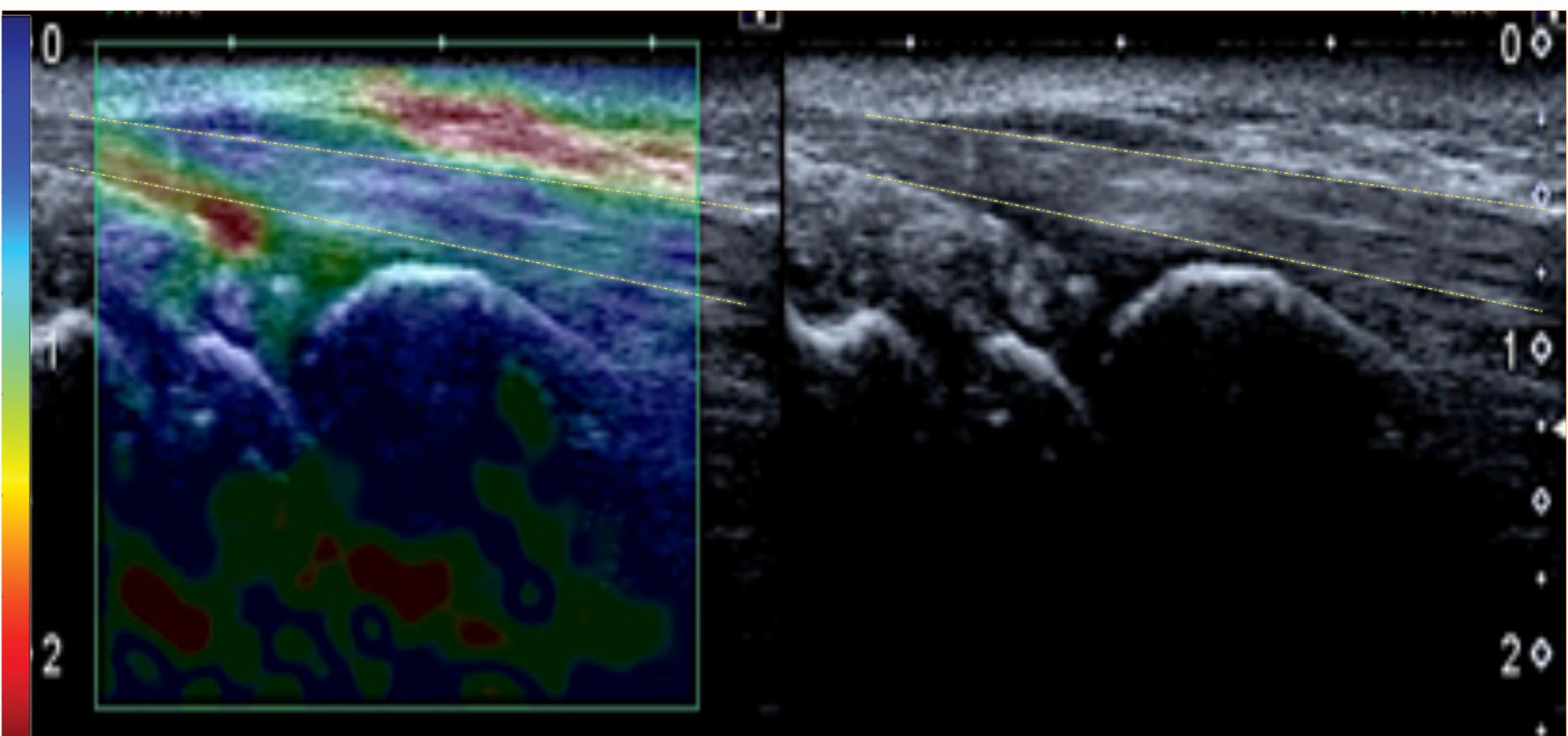
La elastografía del tendón no es sencilla pues dependeremos de su localización anatómica (profundidad, dirección, tamaño, relación con otras estructuras...)

Por otro lado, al tratarse de un tejido muy duro, en ocasiones excederá el límite medible de la rigidez en condiciones normales (tendón sano).

Es especialmente importante la posición del transductor, pues al tratarse de un tejido anisotrópico los planos de estudio han de ser perfectamente perpendiculares o paralelos.

El tendón sano es un tejido rígido y homogéneo, como podemos ver en la siguiente imagen de elastografía de compresión, es homogéneamente azul (duro).

La utilidad esperada de la técnica es que las variaciones de la rigidez del tendón nos permitan detectar precozmente cambios patológicos.



TENDINOPATÍA:

Es el caballo de batalla fundamental en la patología tendinosa.

La *tendinopatía* comprende un conjunto de entidades etiopatogénicas causantes de dolor.

Como causas se describen factores mecánicos, degenerativos, por sobreuso...

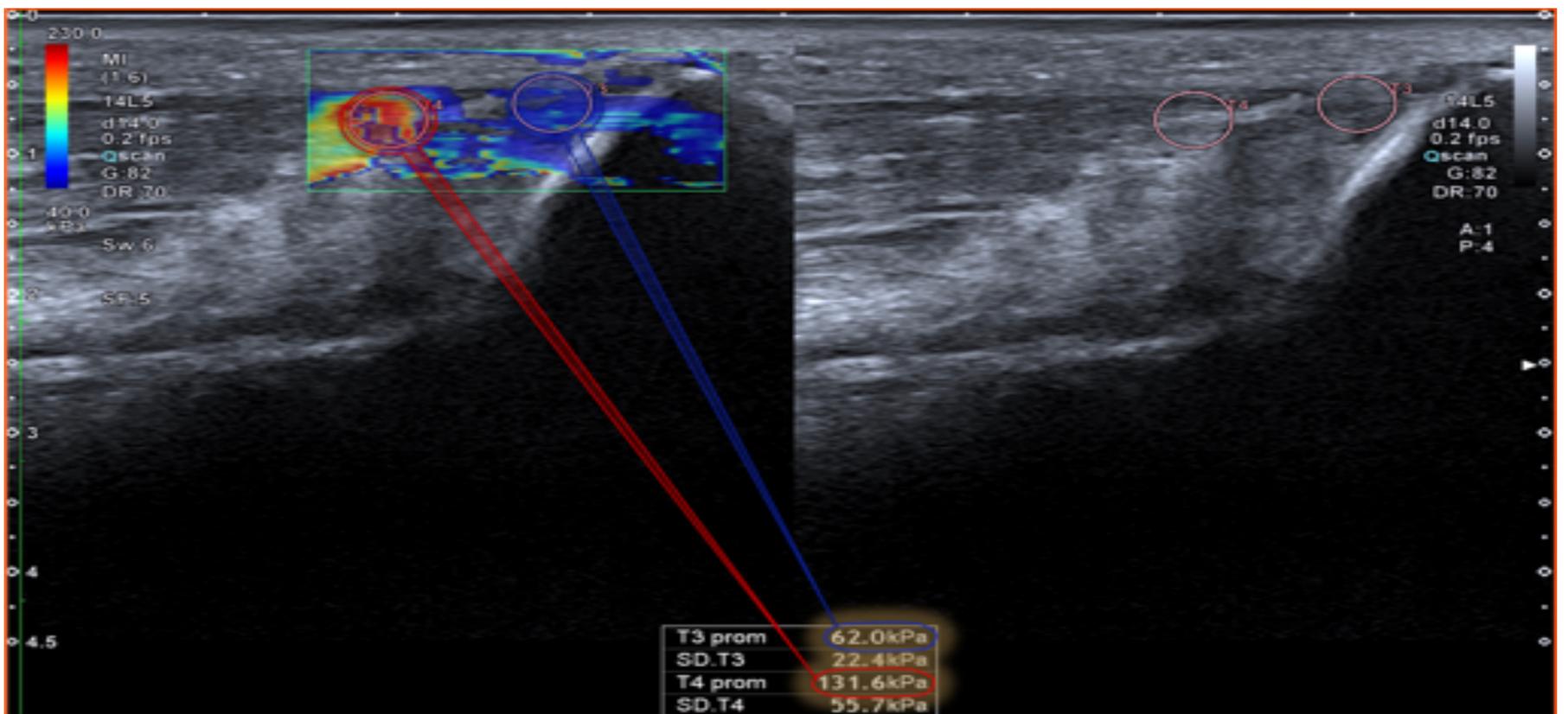
Lo que podremos observar histológicamente es la desestructuración del colágeno con aumento de la celularidad, aparición de neovasos e infiltración grasa.

Cuando estos fenómenos están muy avanzados indicarán degeneración tendinosa y hablaremos de *tendinosis*.

Finalmente estos cambios pueden conducir a roturas tendinosas.

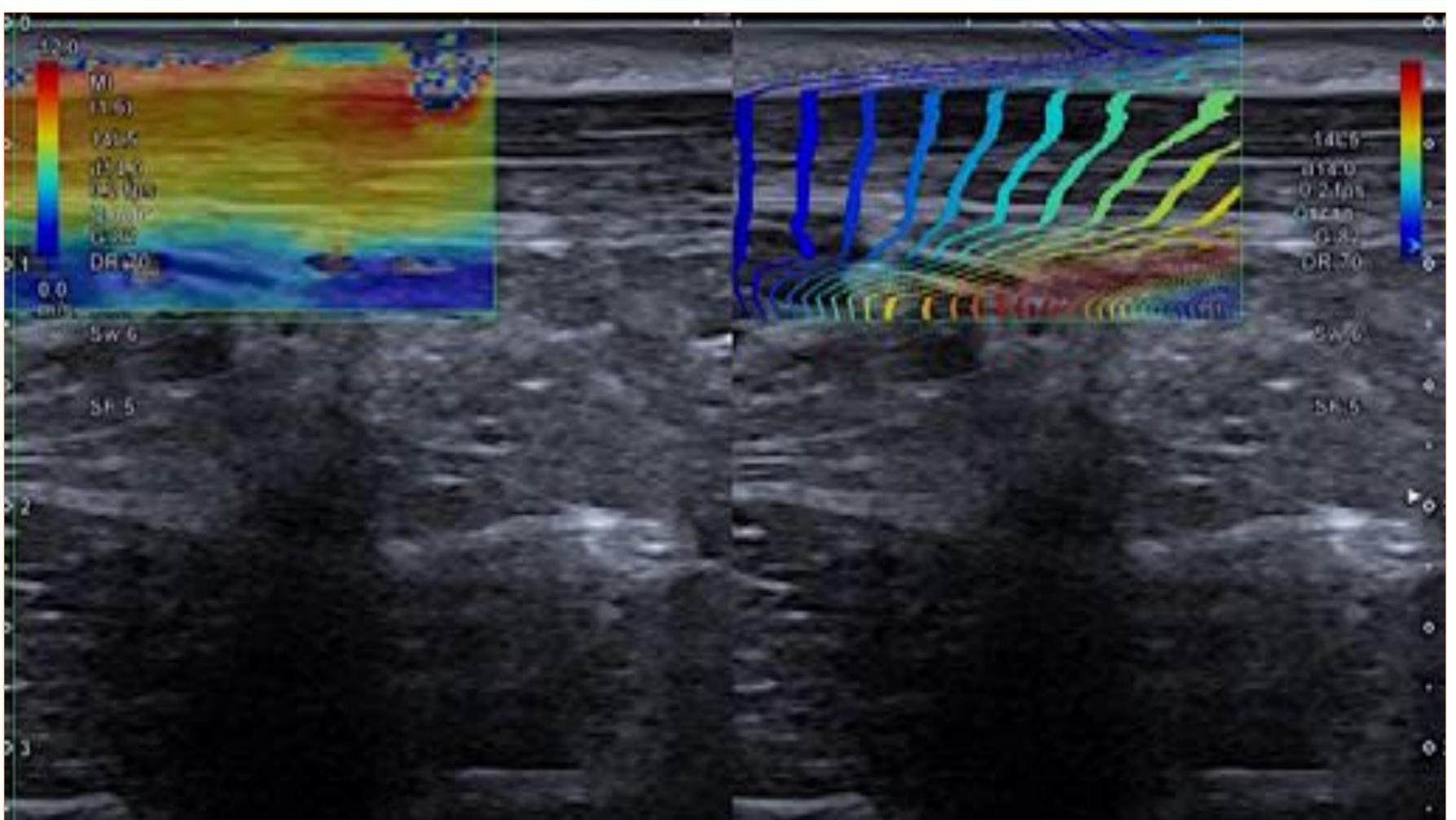
La elastografía nos permitirá detectar precozmente cambios sutiles en el tendón sintomático antes de que sean claramente visibles con la ecografía.

En la siguiente imagen podemos ver el tendón flexor común que muestra una dudosa hipoecogenicidad proximal, sin alteraciones claras de su ecoestructura o grosor, pero la elastografía nos indica una clara disminución de la rigidez de la zona afectada (color azul y 62kPa) comparada con el tendón sano (color rojo y 131.6kPa).



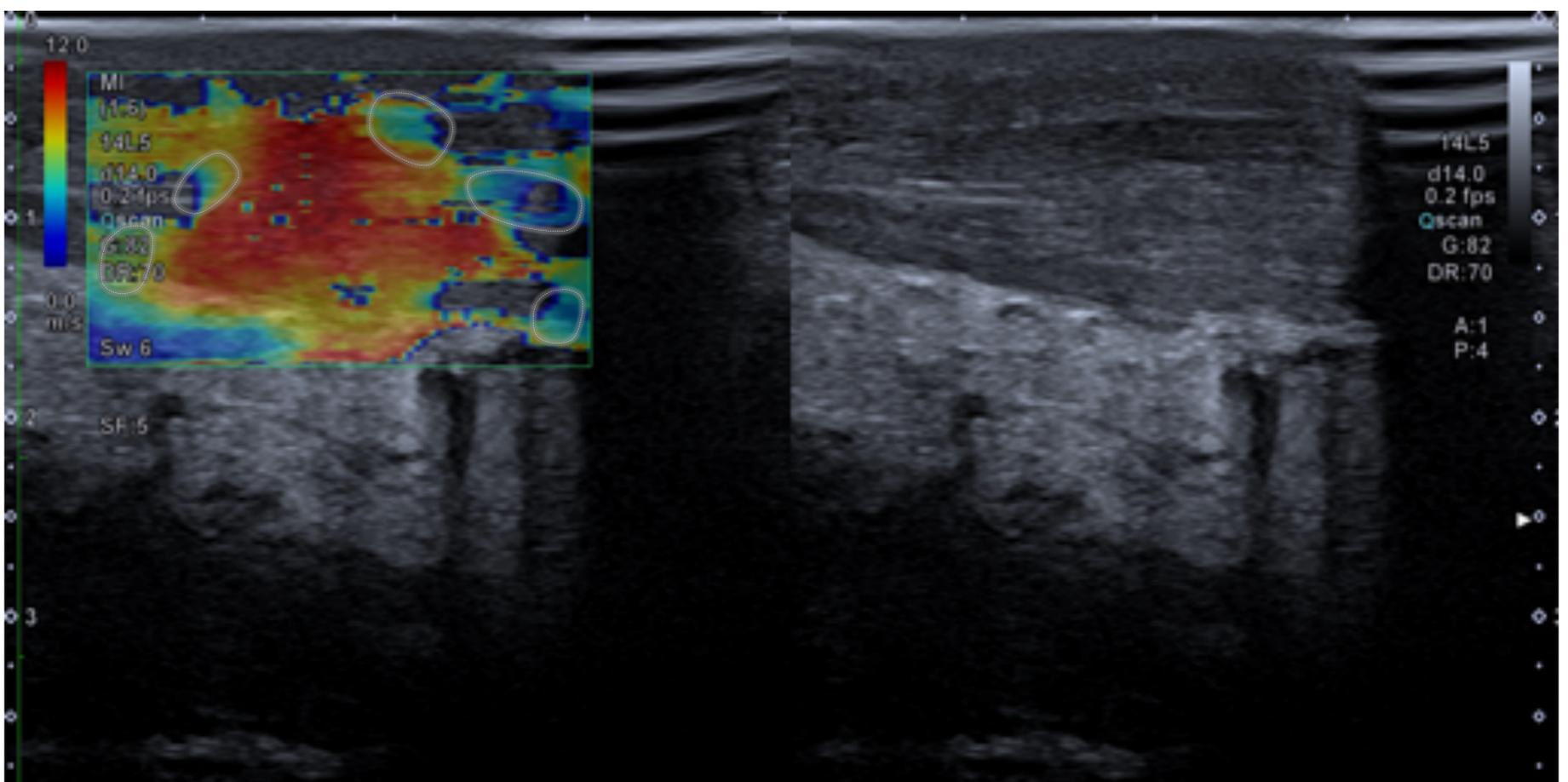
En los estadios iniciales de la enfermedad la rigidez del tendón apenas se verá afectada.

En la imagen inferior vemos un tendón levemente engrosado e hipoecogénico, pero con la estructura tendinosa bien conservada, y la elastografía (SWE) apenas muestra disminución de la rigidez (es predominantemente rojo).



En fases más avanzadas de la enfermedad comenzarán a aparecer cambios degenerativos (tendinosis) que podremos detectar precozmente por la disminución de su rigidez.

En la siguiente imagen vemos otro caso de tendinopatía aquilea pero en este caso el tendón muestra varias zonas (marcadas con círculo blanco) de pérdida de rigidez (color azul o verde) que nos indicarán degeneración tendinosa.

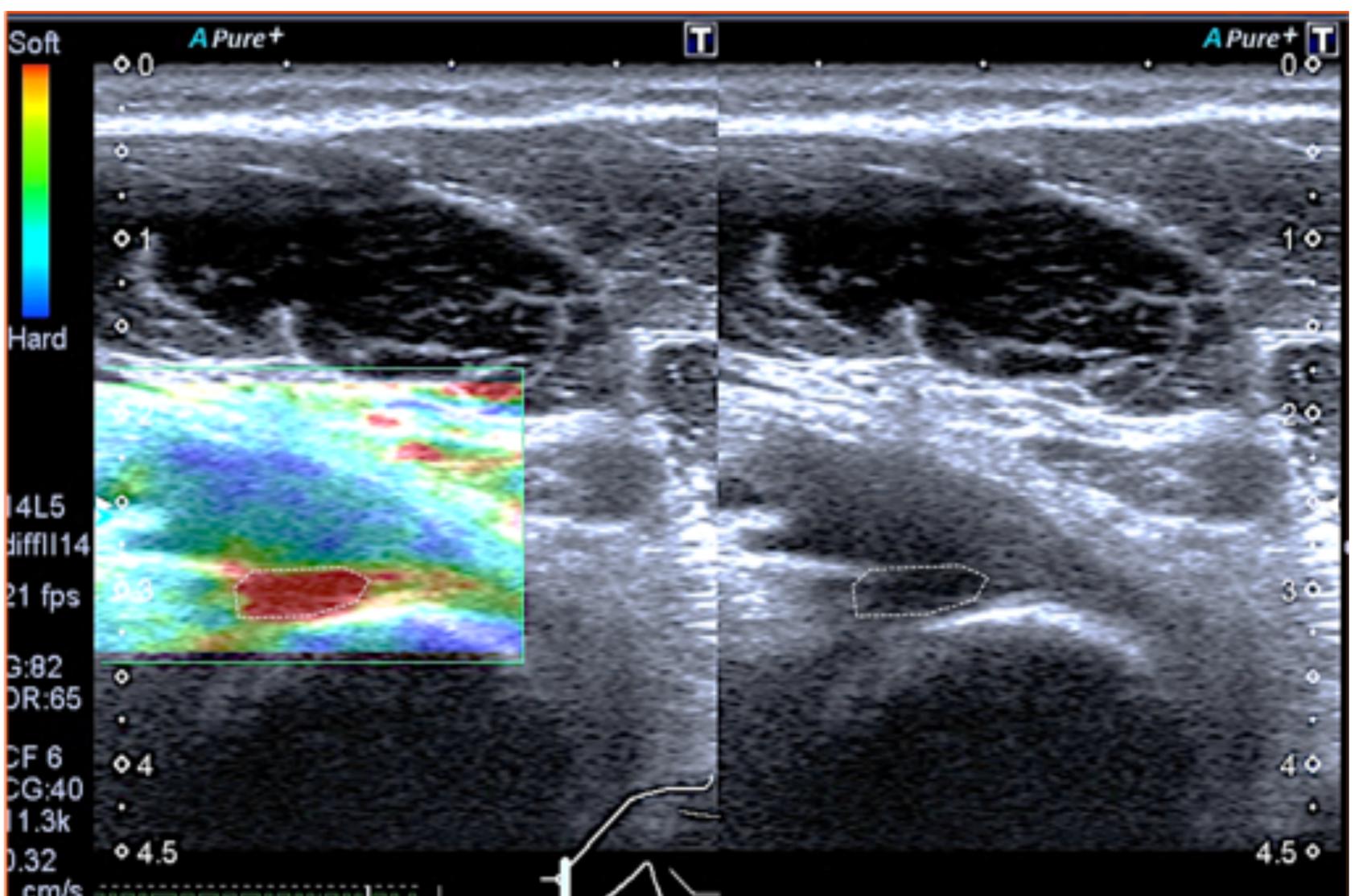


ROTURAS:

Aunque las *roturas* tendinosas son fácilmente detectables por ecografía en ocasiones por la disposición del tendón (anisotropía) o por su localización profunda que nos impide realizar una compresión adecuada, nos cuesta distinguir tendinopatía de rotura del tendón.

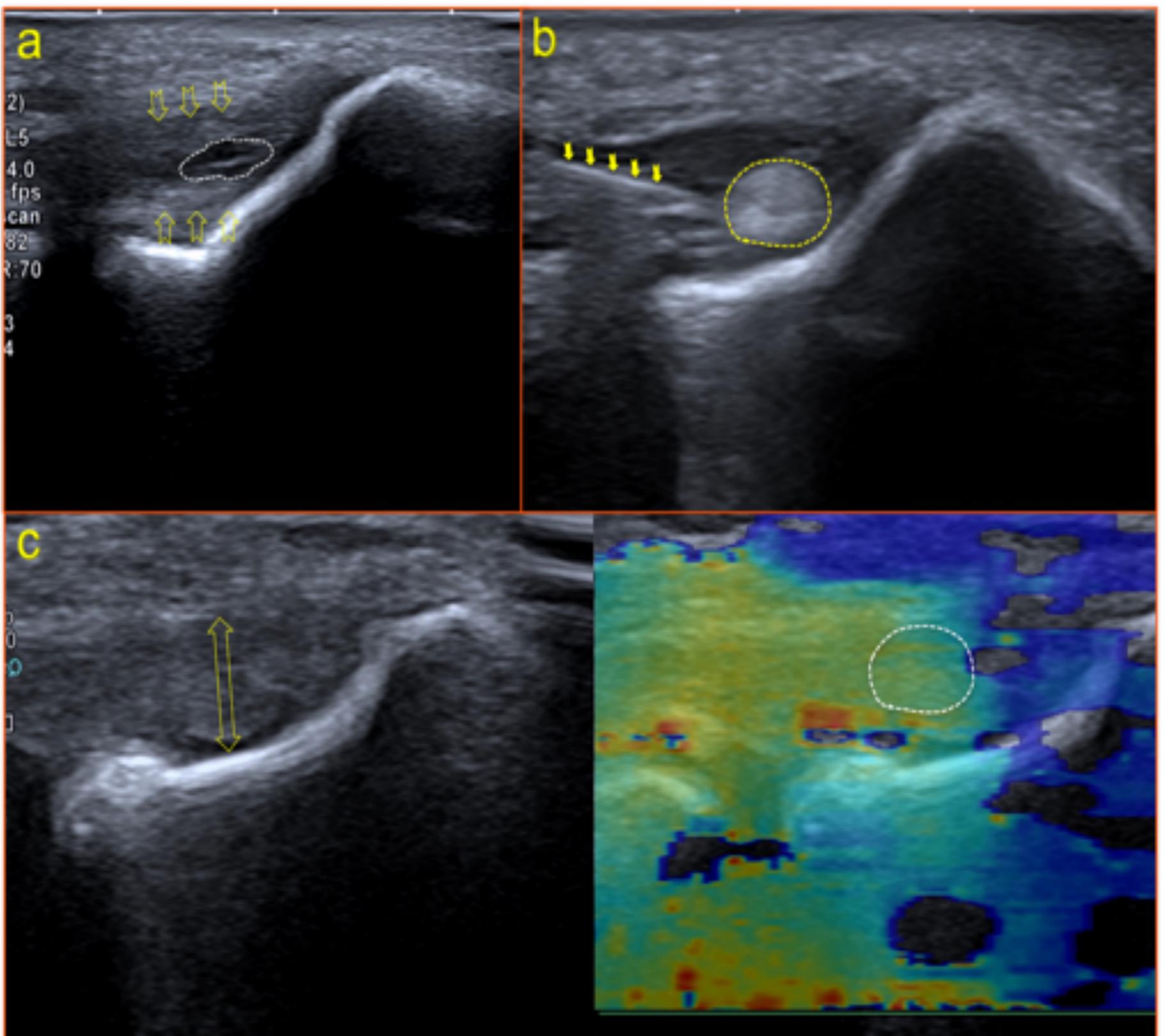
En estos casos la elastografía nos resulta de gran ayuda al detectar una zona de marcado “reblandecimiento” como en la imagen que vemos a continuación.

El tendón distal del bíceps está hipoecogénico de forma difusa pero la elastografía (de compresión) nos muestra zona roja (blanda), situada en profundidad que corresponde a un foco rotura parcial, confirmado por RM.



Otra de las utilidades de la elastografía será el **seguimiento** y **monitorización** de las lesiones tendinosas, aporta un valor añadido a la ecografía pues el hecho de demostrar una recuperación de la rigidez nos indicará un tendón más sano.

En la imagen inferior de un paciente con epicondilitis y rotura intrasubstancia tratado con plasma rico en plaquetas (PRP) podemos ver en el control al mes cómo el tendón recuperó grosor y rigidez.



a) Tendón extensor común hipoecogénico y adelgazado con un área anecogénica (círculo blanco) correspondiente a una rotura intrasubstancia. b) Inyectamos PRP, podemos ver la aguja (flechas blancas) y la rotura rellena de PRP (círculo amarillo). c) Control al mes. No hay rotura y el tendón recuperó grosor (flecha doble) y rigidez (círculo blanco)

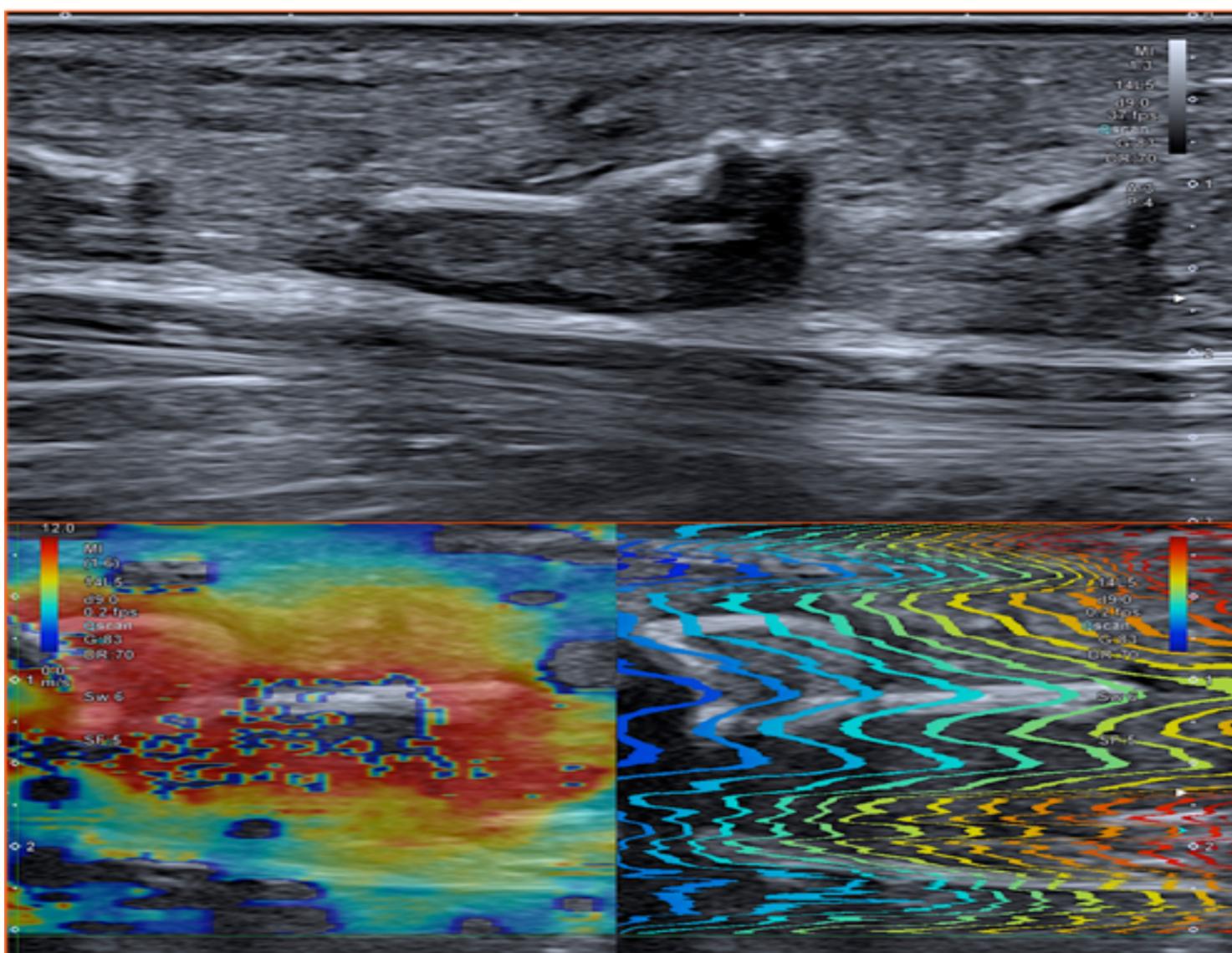
La elastografía también desarrolla una función importante en la valoración del **tendón operado**.

Los cambios postquirúrgicos nos impiden determinar qué parte de la alteración de la ecoestructura se debe a la cirugía y cuáles a la propia tendinopatía.

En el siguiente caso vemos un tendón de Aquiles operado en el que sería muy importante determinar si ha recuperado sus características biomecánicas, al tratarse de un futbolista profesional.

Podemos ver los cambios postquirúrgicos de un tendón operado (engrosamiento, hilos de sutura...) pero es difícil determinar si el tendón está reparado.

En la parte inferior de la imagen vemos que, en la elastografía, el tendón ha recuperado su rigidez (rojo) y lo podremos considerar curado, apto para reincorporarse a la actividad deportiva.



MÚSCULO

El empleo de la elastografía en la patología muscular crece imparablemente dado que permite la valoración en tiempo real de la rigidez muscular durante el movimiento lo que nos permitirá detectar situaciones patológicas previamente a que sean visibles con las técnicas de imagen convencionales.

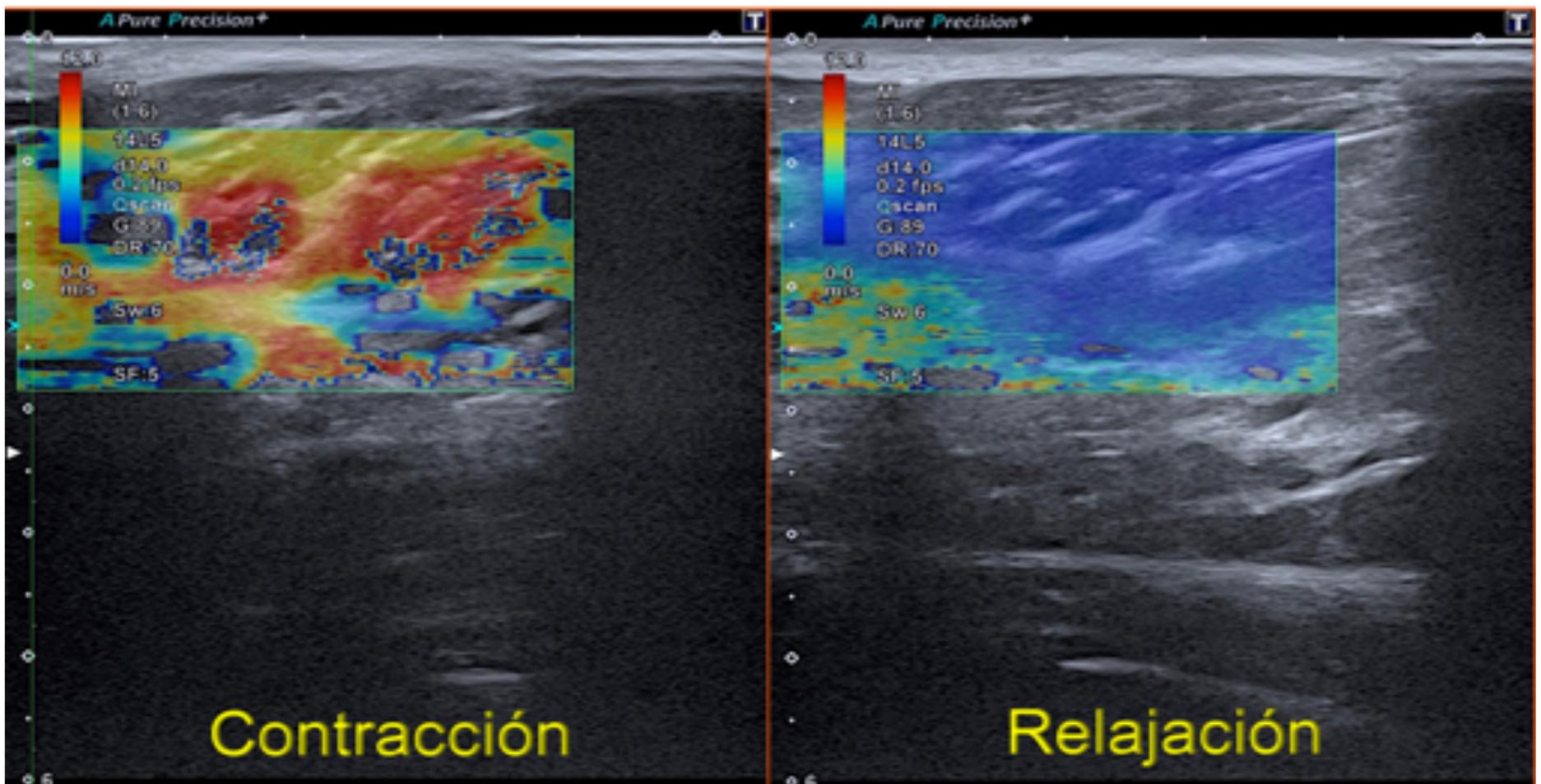
Se ha descrito su posible papel en la valoración de la espasticidad (ictus, lesión medular, miopatías...), lesiones, miopatías así como dolor miofascial.

Permite una valoración del músculo tanto en relajación como en contracción así como la posibilidad de comparar ambos lados.

Como ya se ha dicho referido al tendón, queda pendiente superar la limitación de la heterogeneidad del tejido así como los límites anatómicos (profundidad, estructuras óseas adyacentes...).

En este caso también es fundamental emplear planos perfectamente paralelos o perpendiculares a la estructura muscular que estemos estudiando.

Como podemos ver en la imagen siguiente el músculo relajado es blando (azul) y al contraerse se vuelve rígido (rojo).

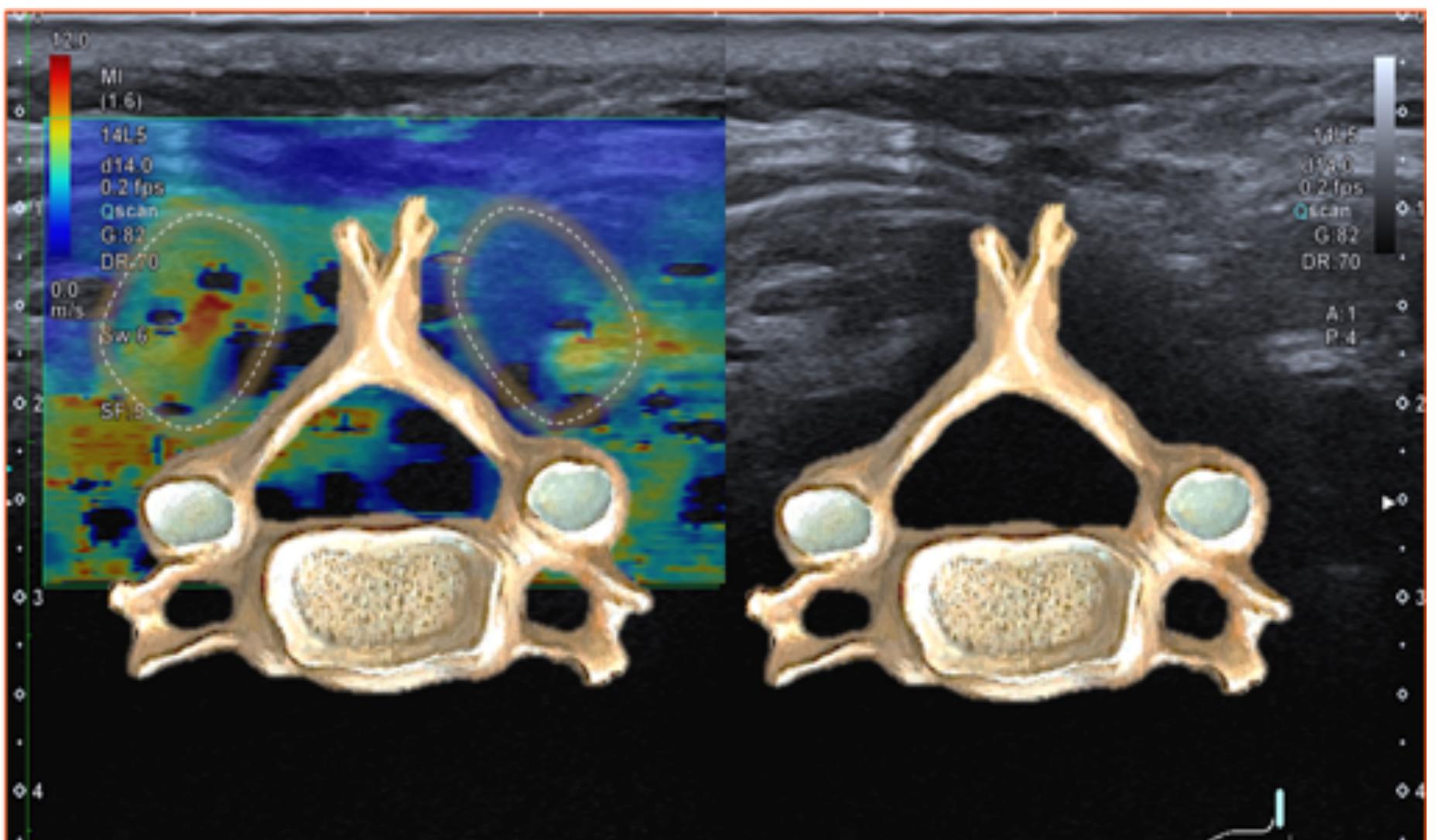


Esto ya nos aporta una herramienta objetiva para la valoración de las *contracturas* musculares, hallazgo clínico no visible por ecografía, al tratarse de un músculo anatómicamente normal, que suele ser una respuesta a una patología subyacente de carácter articular, neurológico, inflamatorio, relacionado con el sobreesfuerzo... y que puede ser el paso previo a la lesión muscular.

La elastografía nos permitirá confirmar de forma objetiva la existencia de dicha contractura. En la imagen inferior de una ecografía a nivel cervical de un paciente con contractura cervical (hemos superpuesto la imagen de la vértebra para facilitar la orientación).

Podemos ver que en la ecografía (dcha.) la musculatura paravertebral no presenta hallazgos patológicos, es simétrica con volumen y ecoestructura normal.

Sin embargo la elastografía comparativa de ambos lados (círculos blancos) muestra rigidez (rojo) en el lado derecho (izda. de la imagen), que confirma la contractura, mientras que el lado sano, a la dcha. de la vértebra, el músculo es blando (azul).

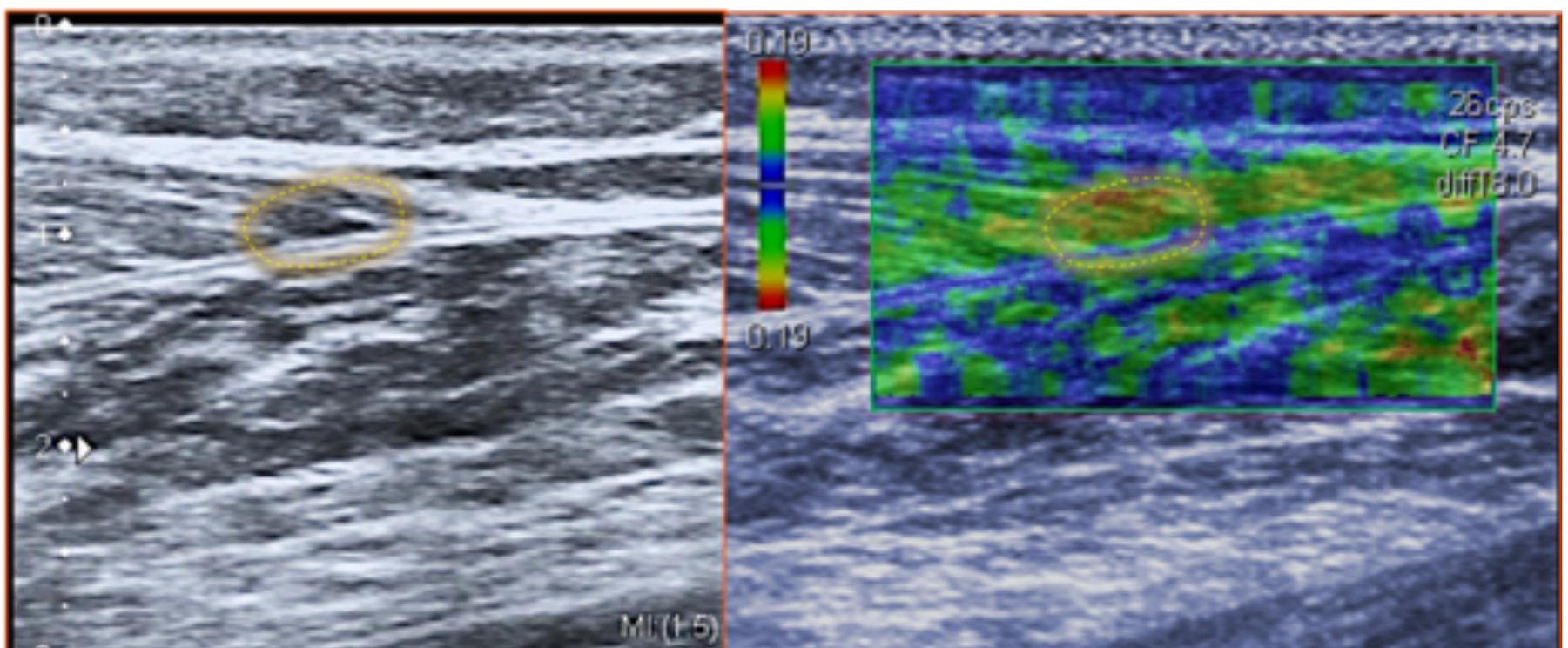


ROTURAS FIBRILARES:

Se presentan como áreas de “reblandecimiento” elastográfico como podemos ver en la imagen siguiente.

Se trata de un paciente que acude por dolor brusco en la pantorrilla durante un partido de tenis y presenta un área hipoecogénica, de pérdida del patrón ecográfico muscular en la unión miotendinosa del gemelo (círculo amarillo), que corresponde a la rotura fibrilar (pierna de tenista o *tennis leg*).

La elastografía de compresión muestra falta de rigidez (amarillo-rojo) en la zona de la lesión.

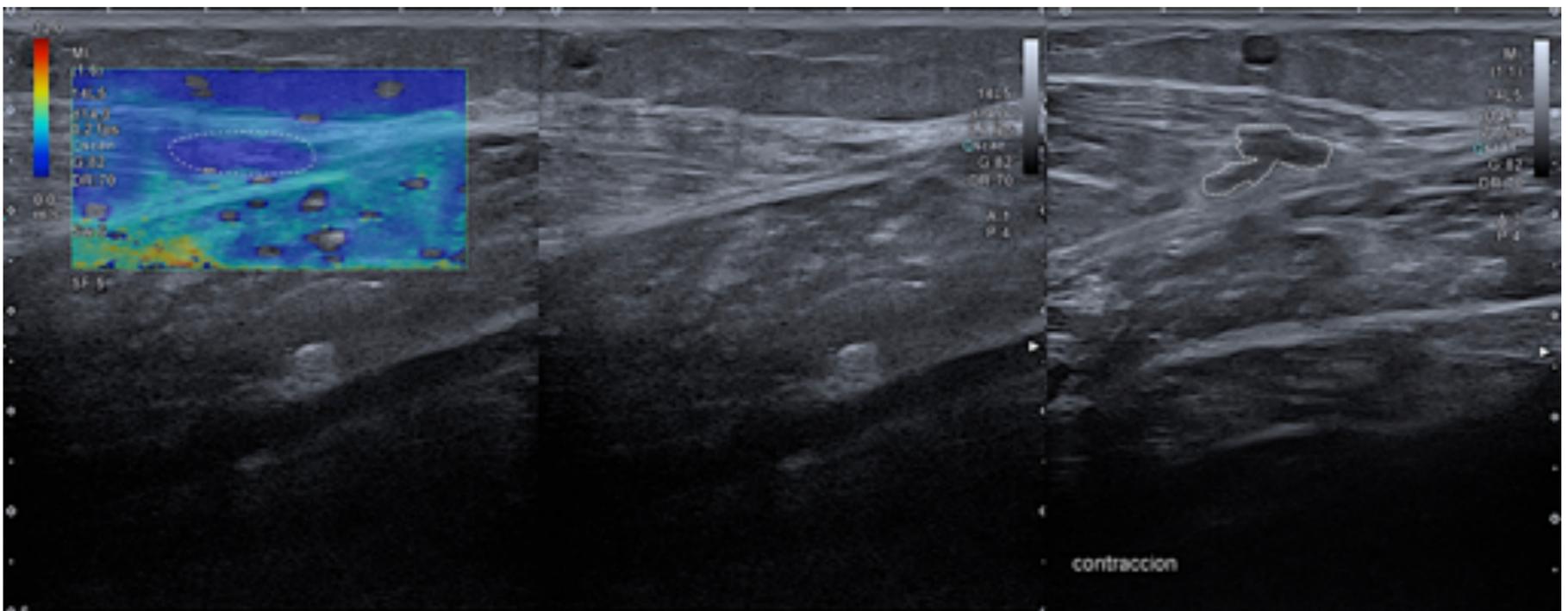


Lógicamente si la lesión es visible por ecografía la elastografía no nos aportará nada en el diagnóstico, lo que esperaremos de esta técnica es que nos permita detectar lesiones incipientes, dudosas o no visibles con ecografía.

En el caso siguiente, otro paciente con la misma lesión podemos ver que en la ecografía en posición neutra no se observan signos claros de rotura.

Sin embargo la elastografía muestra una zona “blanda” que nos hace sospechar la existencia de lesión, hallazgo que confirmamos con la ecografía al contraer el músculo, en la imagen de la dcha. (líneas de puntos).

Vemos que la rotura se corresponde con la zona sospechosa en la elastografía.

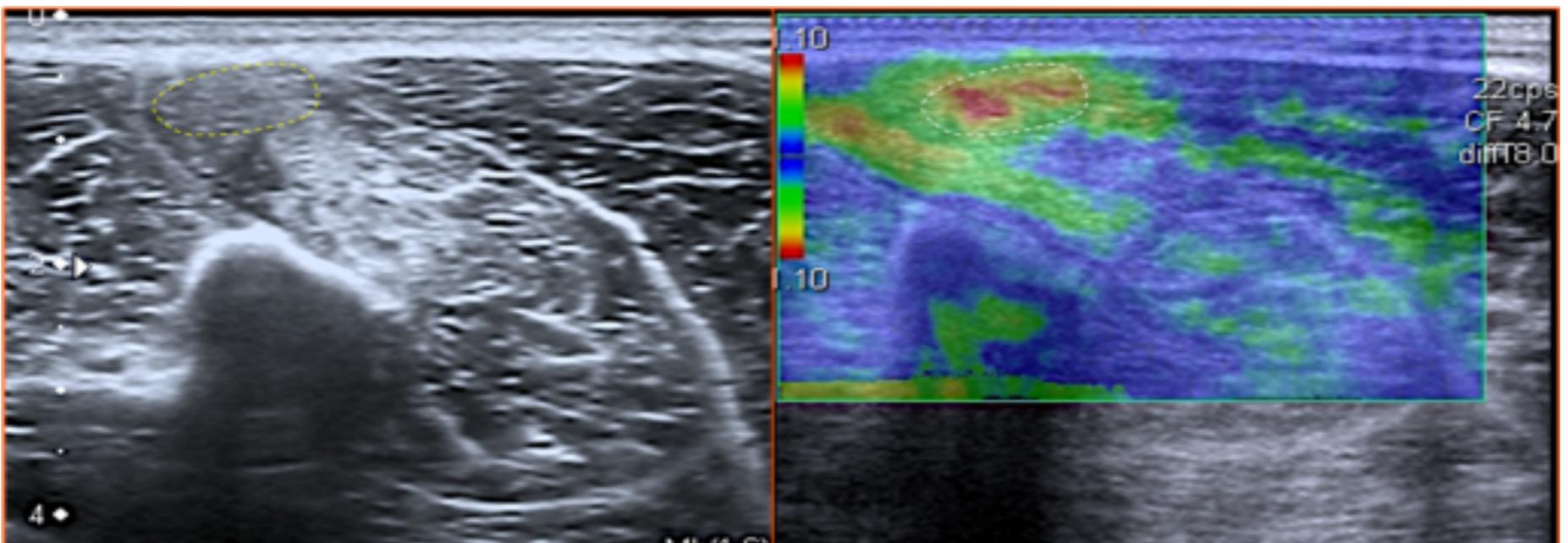


La aportación de la elastografía va a ser muy relevante para detectar lesiones no identificables claramente por ecografía.

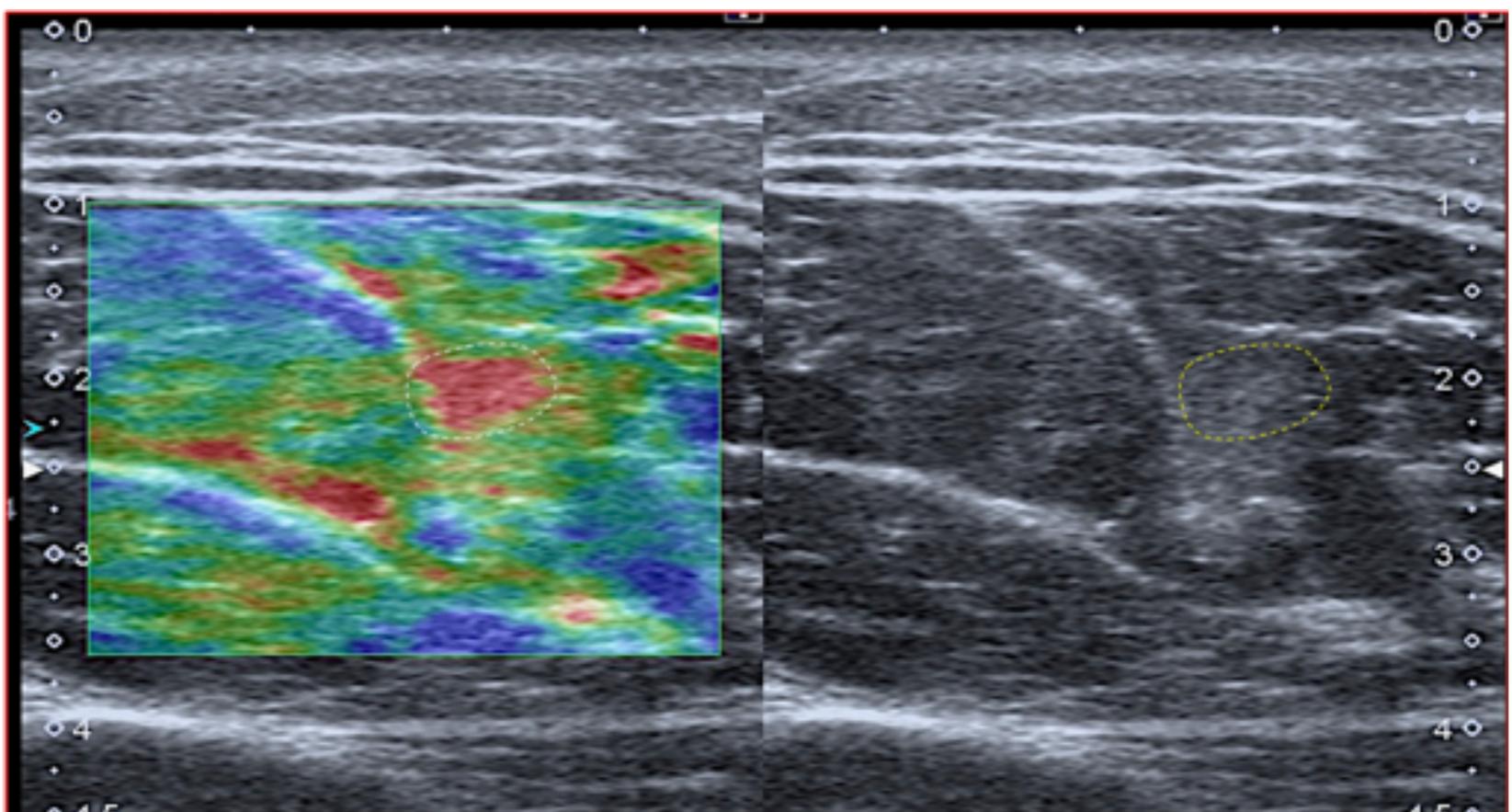
Este hecho será muy importante, sobre todo en deportistas de alto nivel o trabajadores, pues el hallazgo elastográfico nos permitirá parar al deportista o trabajador antes de que se lesione seriamente, con el consiguiente beneficio tanto de salud como económico.

En el caso siguiente podemos ver a la dcha. la elastografía de un futbolista con dolor persistente en la cara anterior de la pierna que muestra falta de rigidez en la zona dolorosa, sin embargo ni retrospectivamente vemos nada en la ecografía (línea de puntos) .

Tras el reposo desapareció la clínica y la imagen elastográfica.



En el siguiente caso vemos un área “blanda” de las fibras adyacentes al septo (círculo de puntos), en un paciente con clínica a ese nivel pero con escasos hallazgos ecográficos. El hallazgo elastográfico nos indica la existencia de lesión.



COMPLICACIONES:

Por otro lado la elastografía es una buena herramienta complementaria en la valoración de las complicaciones de las lesiones musculares.

Las más frecuentes son la recidiva, la aparición de cicatriz blanda (soft scar), la miositis osificante y el hematoma organizado.

La *recidiva* es debida a que las lesiones cicatriciales favorecen la aparición de nuevas roturas debido a que la zona de fibrosis es menos elástica que el tejido muscular normal. No la analizaremos puesto que su planteamiento diagnóstico es similar a la de una lesión aguda sin factor predisponente.

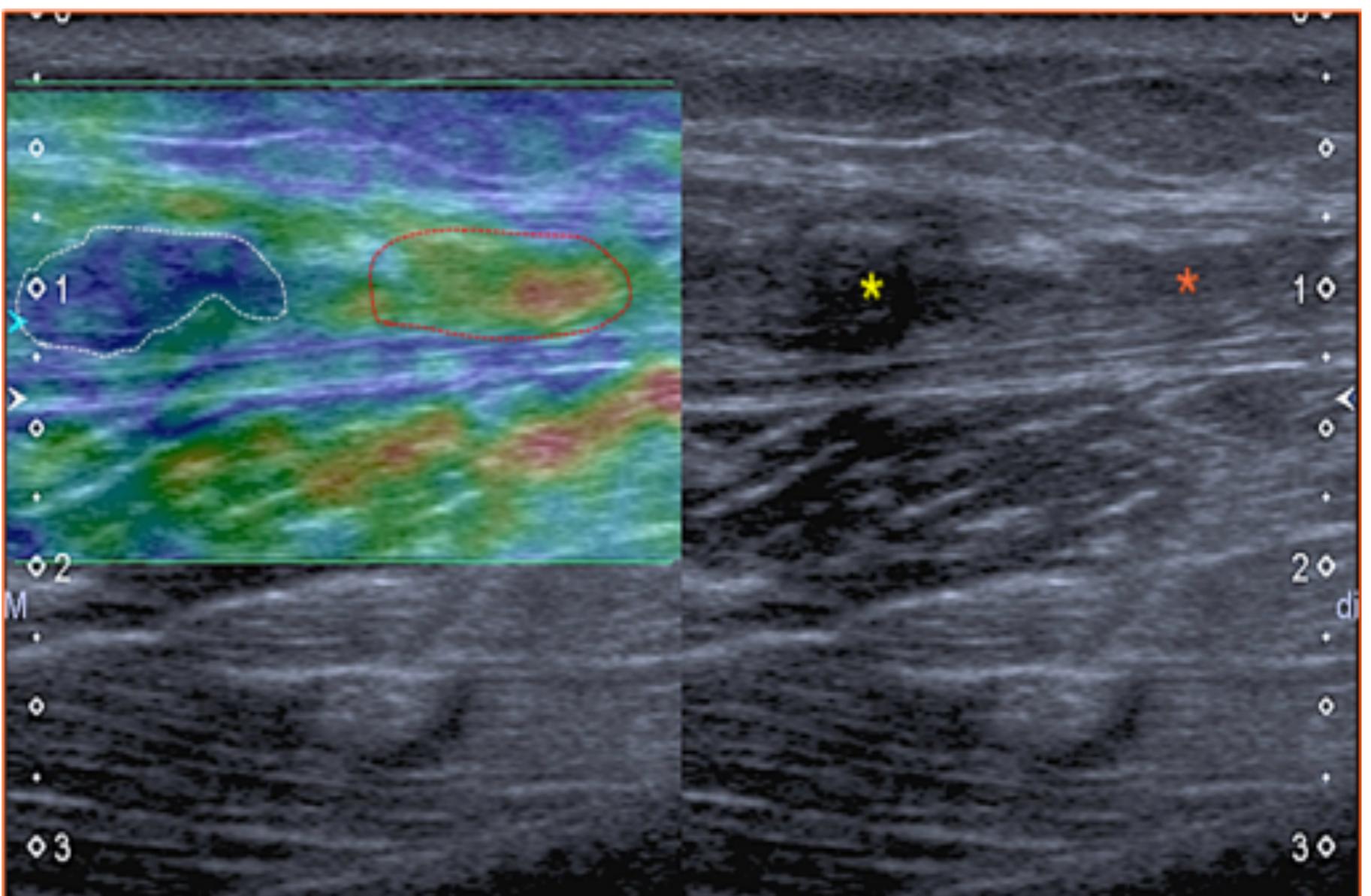
La *cicatriz blanda* es una complicación relativamente frecuente de las lesiones musculares y es causa de sintomatología (dolor y limitación funcional) así como de recidiva frecuente.

Desde el punto de vista ecográfico suele sospecharse cuando la cicatriz es hipoecogénica (habitualmente es hiperecogénica). No obstante esto no siempre sucede así, como podremos ver en el siguiente caso, y obtener información sobre la rigidez de la lesión nos puede indicar si se trata de una zona de fibrosis bien conformada o de una cicatriz blanda.

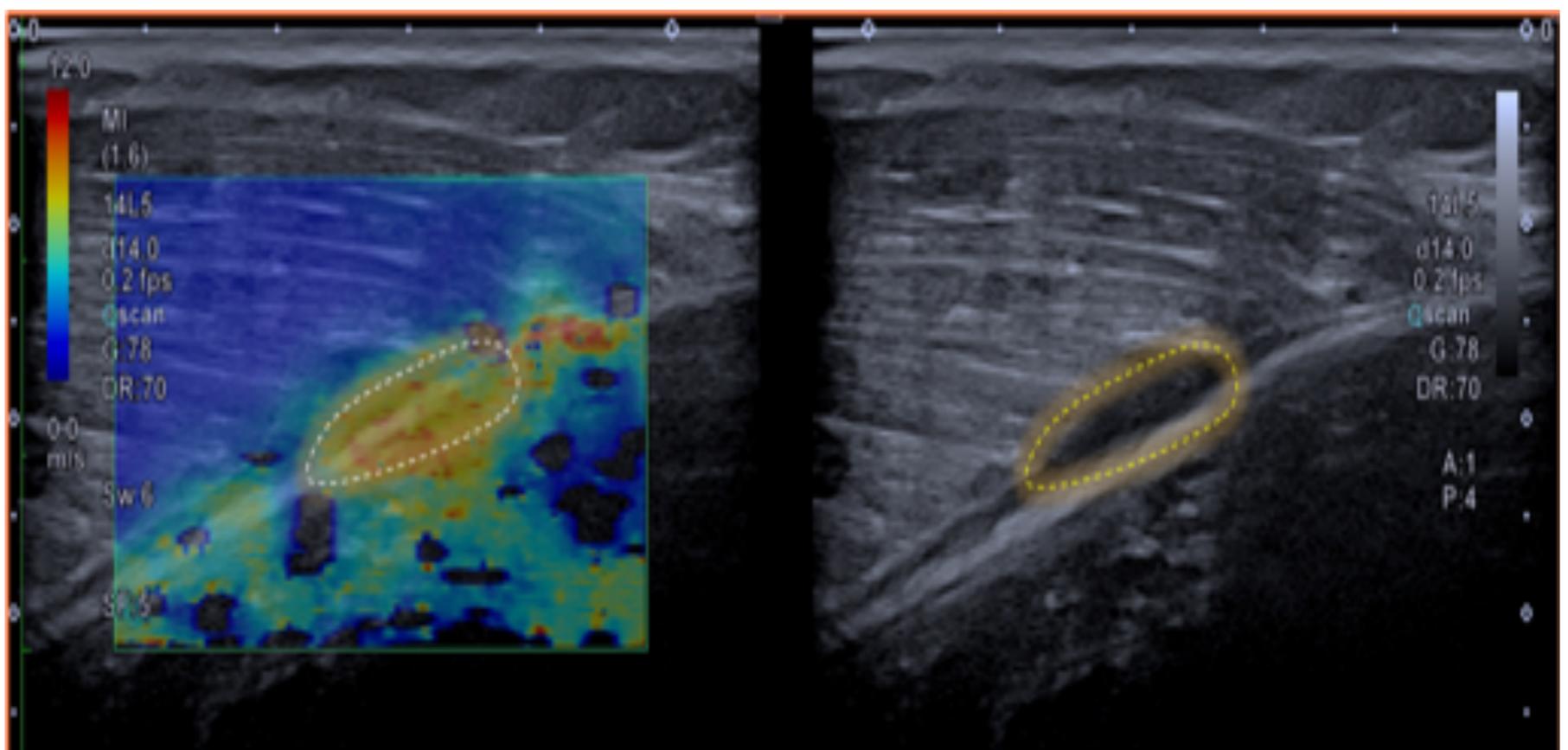
La siguiente imagen corresponde a un paciente con lesión muscular previa que acude por sospecha de **cicatriz blanda**.

Podemos ver en la imagen ecográfica un área hipoecogénica (asterisco amarillo) y una hiperecogénica (asterisco naranja).

Desde el punto de vista ecográfico podríamos pensar que la primera corresponde a una cicatriz blanda y la otra a un área de fibrosis bien conformada. Sin embargo la elastografía de compresión nos demuestra todo lo contrario, el área hipoecogénica es dura (línea blanca) y corresponde a una cicatriz normal mientras que la otra zona es blanda (línea roja) y corresponde a una cicatriz blanda.



En el siguiente caso, durante el seguimiento de un deportista con lesión previa del tríceps sural (tennis leg), observamos una imagen fusiforme hipoecogénica entre el gemelo y el sóleo que sugeriría cicatriz blanda desde el punto de vista ecográfico. Sin embargo la elastografía muestra que se trata de un tejido duro (rojo) lo que implica una cicatriz bien conformada por lo que el paciente podría reanudar su actividad deportiva.



La ***miositis osificante*** es una complicación relativamente frecuente de las lesiones musculares, fundamentalmente las producidas por contusión.

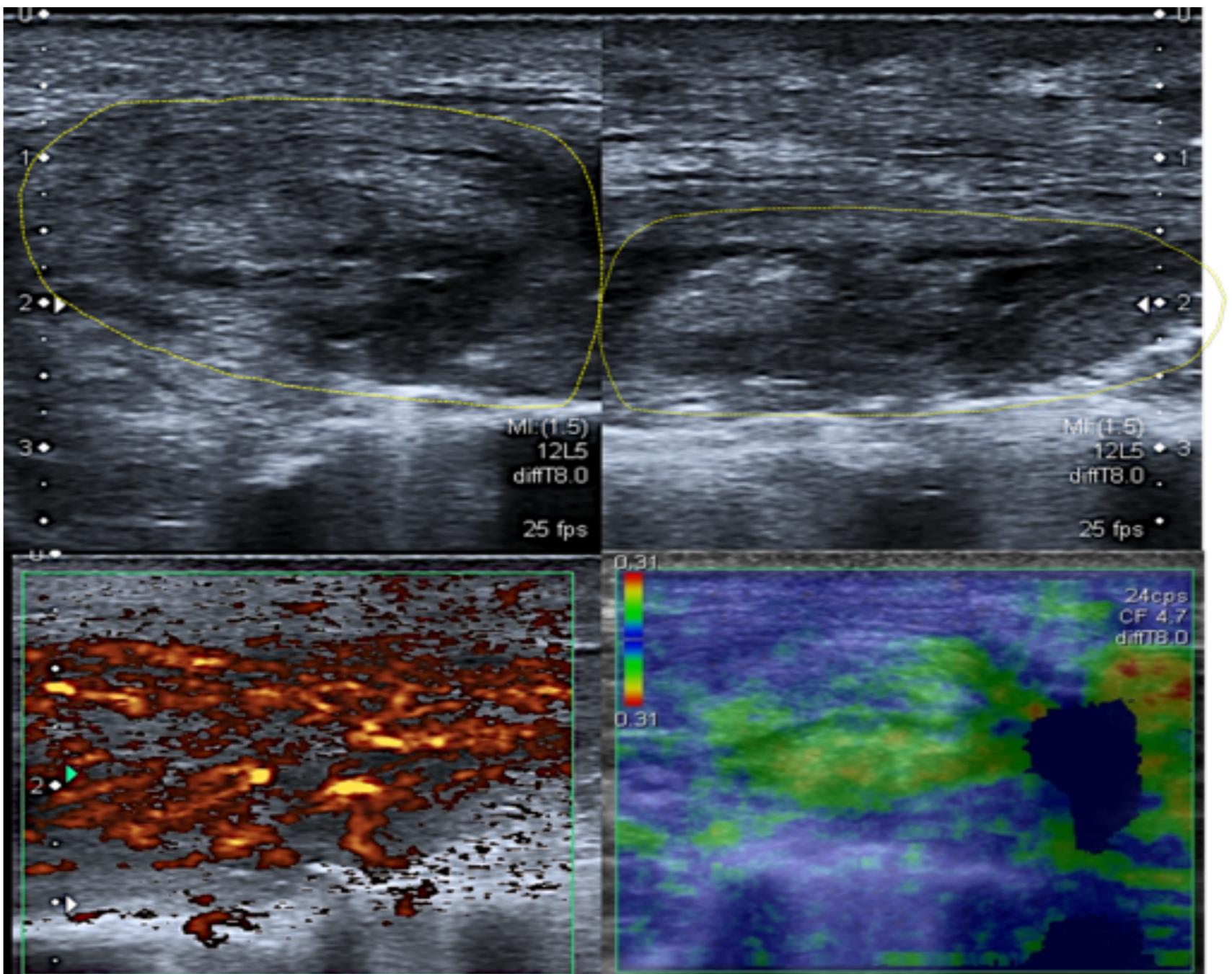
Habitualmente no crea problemas diagnósticos y pasa desapercibida hasta ver una cicatriz residual o calcificaciones.

No obstante en ocasiones se presenta como una masa de aparición brusca y el paciente no siempre se recuerda el traumatismo previo que nos oriente hacia esta posibilidad, lo que planteará el diagnóstico diferencial con un sarcoma.

El problema añadido es que el diagnóstico diferencial, desde el punto de vista histológico, de ambas lesiones con frecuencia es difícil. En ambos aparecen osteoblastos atípicos, en un caso reactivos y en otro neoplásicos.

Por ello es importante tener la sospecha clínica para evitar realizar una biopsia que puede obtener un resultado erróneo que conduzca a actitudes innecesariamente agresivas.

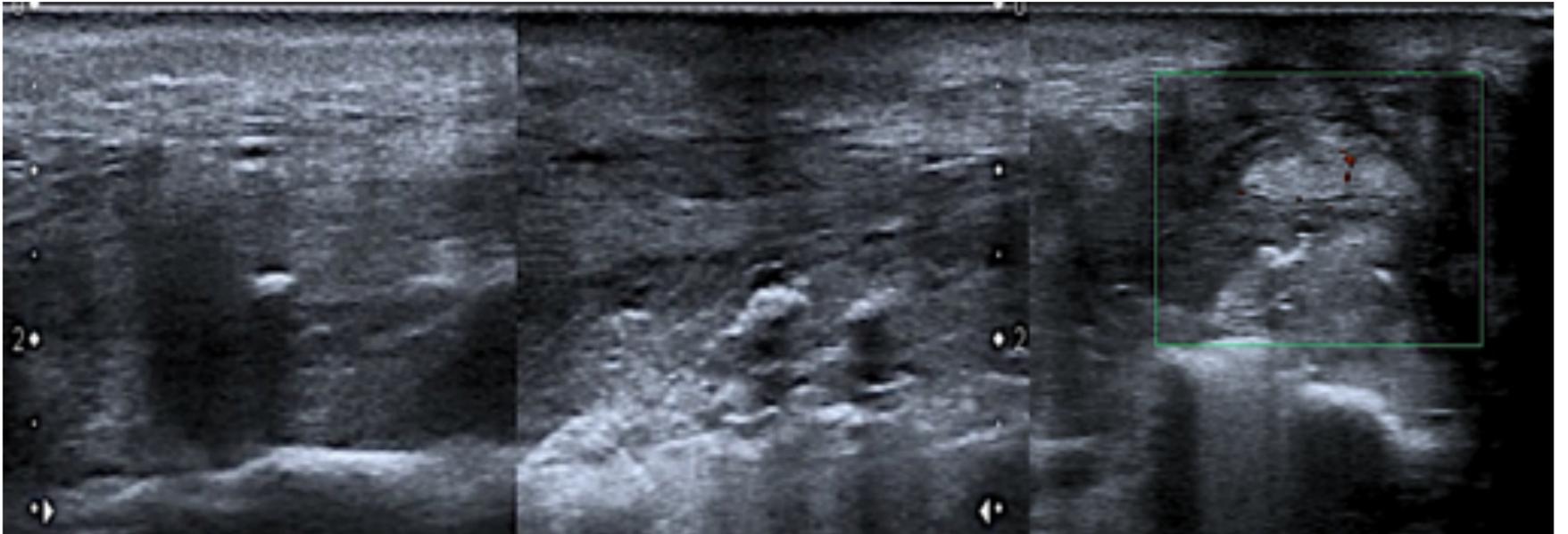
A continuación podemos ver el caso de un futbolista remitido para realización de biopsia ecoguiada de una masa de rápido crecimiento en la cara anterolateral de su pierna, sin recordar un claro antecedente traumático.



La masa (línea amarilla) es marcadamente heterogénea aunque su ecoestructura recuerda mucho a la del músculo.

El Doppler muestra llamativo aumento de la vascularización que apoyaría la sospecha de neoplasia. No obstante la elastografía de compresión indica tejido marcadamente “blando” (verde).

El hallazgo elastográfico nos hizo sospechar miositis osificante y adoptar una actitud conservadora. Se recomendó control en dos semanas.



En el siguiente control la masa había disminuido claramente su volumen, no mostraba vascularización y comenzaban a aparecer calcificaciones lo que confirmó nuestra sospecha diagnóstica de miositis osificante.

Este diagnóstico de sospecha evitó la realización de una biopsia cuyo resultado podría ser confuso y conducir al paciente a una cirugía agresiva.

LIMITACIONES:

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

Por otro lado existen unas limitaciones específicas de la técnica, fundamentalmente la falta de protocolos y medidas establecidos.

PERSPECTIVAS DE FUTURO:

Se resumirían en superar las limitaciones:

1.- Disminuir la influencia del operador con el avance de la tecnología.

De hecho la SWE es menos operador dependiente que la de compresión.

2.- Establecer protocolos e indicaciones de la técnica.

3.- Disponer de tablas de medidas cuantitativas y mapas de color.

4.- Avances tecnológicos: Elastografía 3D, fusión...

RECOMENDACIONES:

1.- Si disponemos de elastografía hemos de usarla siempre que tengamos ocasión.

Adquiriremos experiencia con la técnica, para disminuir la dependencia del operador, y aunque no dispongamos de estándares de medidas, mapas de color y protocolos podemos ir estableciendo los nuestros.

2.- Extremar el protocolo técnico:

- Transductor paralelo o perpendicular al tejido
- Emplear maniobras dinámicas
- Evitar presión previa
- Realizar varias medidas

3.- Correlacionar los hallazgos elastográficos con los ecográficos y la clínica.

4.- Mejor usar las velocidades, que es la magnitud que se mide directamente, en lugar de la presión que se calcula a partir de esta mediante la densidad, que no es homogénea.

CONCLUSIONES:

- 1.- Como la ecografía es una técnica segura, accesible y asequible.
- 2.- La elastografía musculoesquelética aún está en una fase inicial de investigación y desarrollo.
- 3.- La elastografía tendrá infinidad de aplicaciones en musculoesquelético.
- 4.- Gran potencial en el diagnóstico precoz, pronóstico y seguimiento de las lesiones.
- 5.- Es herramienta complementaria de la ecografía, como el Doppler.
- 6.- Es un arma cargada de futuro...

BIBLIOGRAFÍA:

1. Creze M, Nordez A, Soubeyrand M, Rocher L, Maître X, Bellin MF. Shear wave sonoelastography of skeletal muscle: Basic principles, biomechanical concepts, clinic applications and future perspectives. *Skeletal Radiol* 2018; 457-471.
2. Dirrichs T, Quack V, Gatz M, Tingart M, Kuhl CK, Schradling S. Shear wave elastography for the evaluation of patients with tendinopathies. *Academic Radiology* 2018; 23 (10): 1204-1213.
3. Domenichini R, Pialat JB, Podda A, Aubry S. Ultrasound elastography in tendon pathology: state of the art. *Skeletal Radiol* 2017; 46: 1643-1655.
4. Klauser AS, Faschingbauer R, Jaschke WR. Is Sonoelastography of Value in Assessing Tendons? *Semin Musculoskelet Radiol* 2010; 14: 323-333.
5. Ooi CC, Malliaras P, Schneider ME, Connell DA. "Soft, hard or just right?" Applications and limitations of axial-strain sonoelastography and shear-wave elastography in the assessment of tendon injuries. *Skeletal Radiol* 2014; 43: 1-12
6. Prado-Costa R, Reblo J, Monteiro-Barroso J, Preto AS. Ultrasound elastography: compresion elastography and shear-wave elastography in the assessment of tendon injury. *Insights into Imaging* 2018; 9: 791:814
7. Sigrist RMS. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. *Theranostics* 2017; 7(5): 1303-29
8. Taljanovic MS, Gimber LH, Becker GW, Latt LD, Klauser AS, Melville DM, Gao L, Witte RS. Shear-wave Elastography: Basic Physics and Musculoskeletal Applications. *Radiographics* 2017; 37: 855-870
9. Washburn N, Onishi K, Wang JHC. Ultrasound elastography and ultrasound tissue characterisation for tendon evaluation. *Journal of Orthopedic Translation* 2018; 15: 9-20