

Rainer Berthold¹

Elastografie an Sehnen, Muskeln, Faszien

Nur „bunte Bilder“ oder eine aussagekräftige Untersuchung?

Elastography of tendons, muscles, fascia

Just „colorful pictures“ or serious examination?

Zusammenfassung: Welchen Stellenwert hat die Elastografie in der MSK-Sonografie aktuell? Als Varianten unterscheidet man Strain-, Arfi- und Shear-wave-Elastografie. Publikationen finden sich für die Achillessehne, Rotatorenmanschette, Patellarsehne, Epicondylopathie, Faszien und die Muskulatur. Pathologische Gewebeveränderungen sind mit allen Methoden erfassbar – quantitativ verlässlich sind Strain-Histogramm und Shear-wave. Die praktische Anwendung an der Achillessehne bei Diagnostik und Therapiekontrolle wird demonstriert. Nur wenige Studien untersuchen bisher Krankheitsverlauf und therapeutische Konsequenzen – die Literatur wächst jedoch zur Zeit stetig.

Schlüsselwörter: Elastografie, Sehnen, Muskel, Faszien, Achillodynie, Strain, Shear-wave

Zitierweise

Berthold R: Elastografie an Sehnen, Muskeln, Faszien. Nur „bunte Bilder“ oder eine aussagekräftige Untersuchung?
OUP 2018; 7: 048–053 DOI 10.3238/oup.2018.0048–0053

Summary: How important is elastography in MSK sonography? Strain, arfi and shear wave elastography can be distinguished as variants. By all of these methods pathological tissue changes can be detected. Quantitatively reliable are the strain histogram and shear wave method. Already some publications for the Achilles tendon, rotator cuff, patellar tendon, epicondylopathy, fascia and musculature have been published. In this paper the practical application on the Achilles tendon during diagnosis and therapy control is demonstrated. So far only a few studies have examined the course of the disease and therapeutic consequences. But the literature is currently growing.

Keywords: elastography, tendons, muscle, fascia, achillodynia, strain, shear-wave

Citation

Berthold R: Elastography of tendons, muscles, fascia. Just „colorful pictures“ or serious examination?
OUP 2018; 7: 048–053 DOI 10.3238/oup.2018.0048–0053

Einleitung

Seit über 10 Jahren ist die Elastografie (EL) in der Ultraschalluntersuchung der Schilddrüse, der Mamma und des Abdomens nicht mehr wegzudenken. Das Verfahren lieferte visuelle Eindrücke oder Messwerte der mechanischen Eigenschaften des Gewebes. Im muskuloskelettalen Ultraschall ist der Stellenwert dieser Methode aktuell noch nicht gesichert. Außerdem bieten zurzeit nur wenige Geräte eine sinnvolle Ausstattung für die Elastografie am Bewegungsapparat.

Wie belastbar ist eine veränderte, schmerzhaft Achillessehne? Welche Ausdehnung hat eine Muskelverletzung

beim Sportler? Findet sich wirklich kein Korrelat für die chronischen Rückenschmerzen? Auf diese Probleme hat häufig weder die Darstellung im B-Bild noch die zusätzliche Untersuchung mit Power/Farbdoppler eine sichere Antwort.

Was ist Elastografie?

Mit dieser Ultraschalltechnik lassen sich zusätzliche Informationen über mechanische Eigenschaften der Gewebe gewinnen. Es gibt aktuell 2 Arten des Verfahrens:

Bei der Strain-Elastografie (ST) handelt es sich um eine mechanische Palpa-

tion – der Untersucher drückt mit einer vorgegebenen Frequenz auf das zu untersuchende Gewebe. Bei hartem Gewebe sind die dadurch entstehenden Verschiebungen („strain“ des Gewebes) kleiner als bei weichem.

Als Sonderform gilt die ARFI (acoustic radiation force impulse) – eine Untergruppe der Strain-Elastografie. Hierbei wird ein Ultraschall-Impuls zur Verformung des Gewebes mit anschließender Analyse ähnlich wie bei der ST verwendet.

Bei der Shear-wave-Elastografie (SW) sendet der Schallkopf Wellen aus mit höherer Intensität sowie längerer Dauer als die normaler US-Wellen. In den Sendepausen relaxiert das Gewebe. Dabei

¹ Wetzlar, Kursleiter Stufe III DEGUM; Bewegungsorgane, stellv. Sprecher des AK Bewegungsorgane, DEGUM; stellv. Sprecher AK Orthopädie&Unfallchirurgie

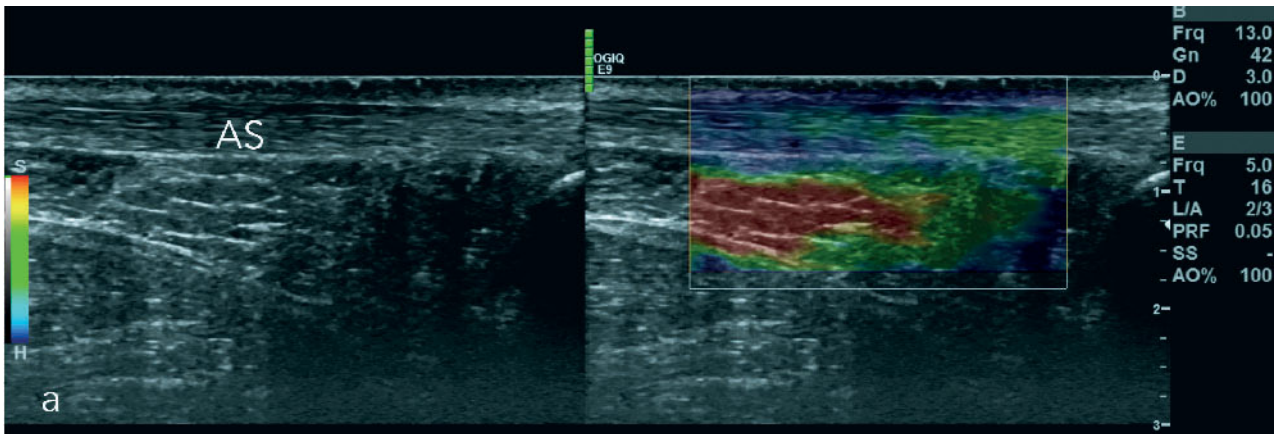


Abbildung 1a Normalbefund der Strain-Elastografie einer Achillessehne (GE E9, Matrix-Sonde Linear, 9–15 MHz) mit vorwiegend grünen bis blauen Arealen (medium bis hard) in der Sehne (AS). Die Muskulatur unter der Sehne wird rot (soft) dargestellt.

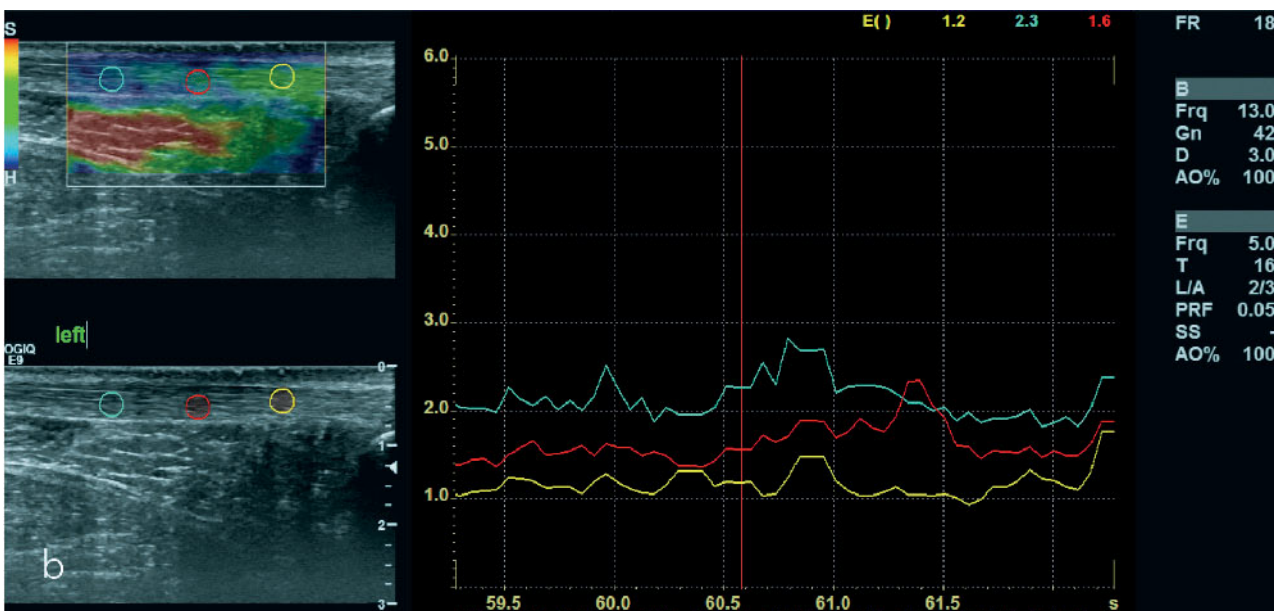


Abbildung 1b Histogramm der Strain-Ratio (SH) – der Wert E zeigt die Relation des Messfelds in der Sehne (linke Bildhälfte) zum Mittelwert des Messfensters. Das Fenster entspricht mindestens dem 3-fachen des gemessenen Sehnen-Areals. E liegt um den Wert 2 bei unauffälliger Sehnenstruktur.

entstehen „Scherwellen“ – ähnlich wie bei einem ins Wasser geworfenem Stein. Die Laufgeschwindigkeit dieser Wellen ist in weicherem Gewebe langsamer als in hartem.

Die Quantifizierung der Steifigkeitswerte der Gewebe oder der pathologischen Veränderungen ist bei der SW-Elastografie somit leicht möglich [2].

Bei der Strain-Elastografie wird durch einen Vergleich von 2 benutzerdefinierten Arealen eine semiquantitative Messung der Elastizitätsunterschiede dargestellt – die sogenannte Strain-Ratio (SR). Eine ähnlich gute Quantifizierung wie bei der SW erreicht man mit der

Analyse der Strain-Ratio in einer Cine-Loop von mehreren Sekunden – dem Strain-Histogramm (SH).

Die einfache ST-Elastografie ist für diagnostische Aussagen mit therapeutischen Konsequenzen nicht zuverlässig genug [11].

Verfahrensbedingt unterscheiden sich ST und SW: Bei der ST liegt der Fokus auf der Steifigkeit der Läsion, bei der SW auf der Steifigkeit der Umgebung der Läsion! Alle Verfahren mit externer Anregung wie Shearwave oder ARFI sind weitgehend anwenderunabhängig durchführbar. Allerdings sind aktuell nur wenige Schallköpfe mit höherer

Frequenz als 10–12 MHz verfügbar, bisher keine Matrix-Sonden. Damit wird die Auflösung bei oberflächlichen Strukturen geringer, wie z.B. bei der Achillessehne. Gegebenenfalls sind Vorlaufstrecken notwendig, um das Auswertungsfenster mit der ROI (region of interest) in Deckung zu bringen.

Die ST ist weiter verbreitet und auch bei hochauflösenden mehrzeiligen oder Matrix-Sonden verfügbar. Die SR oder das SH ist noch nicht bei allen Herstellern verfügbar. Ohne suffiziente Auswertungs-Software für diese Methoden ist die Aussagekraft nur eingeschränkt. Auf jeden Fall sollte ein Indikator für die kor-

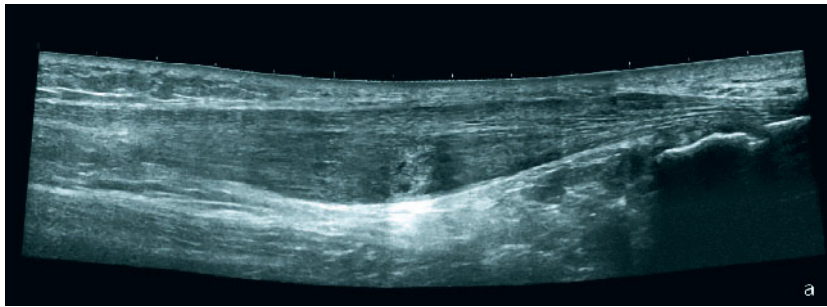


Abbildung 2a Fallbeispiel einer ausgeprägten Achillessehnen-Tendopathie (Panorama-Scan) mit partiellen Läsionen im mittleren Bereich bei extrem aufgetriebener Sehne.

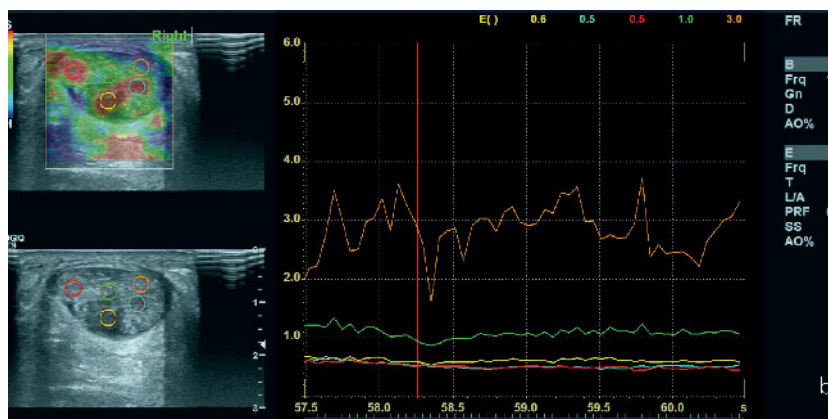


Abbildung 2b Die Elastografie des Querschnitts der AS im mittleren Sehnenanteil zeigt im SH der auffälligen echoarmen Regionen des B-Bilds Werte für E überwiegend 0,5–1,0 sklerosiertem Randbereich mit E = 3,0.

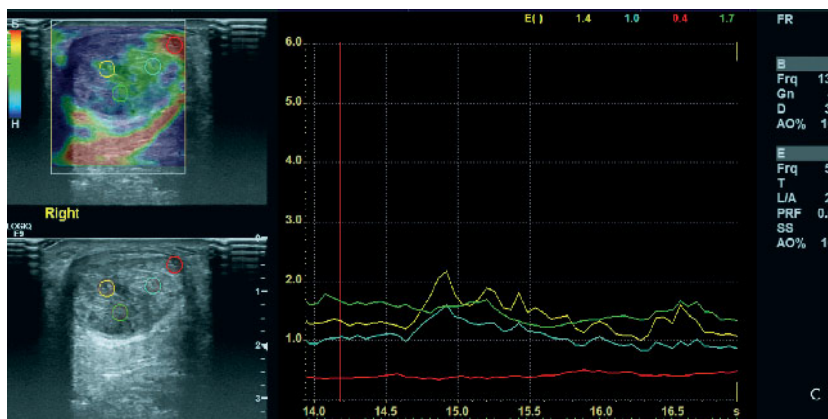


Abbildung 2c Kontrolle der Therapie nach Entlastung der Sehne mit Variabil®-AS-Stiefel für 8 Wochen. Das Binnenmuster der AS im B-Bild zeigt einen Rückgang der großen echoarmen Areale und eine deutliche Erhöhung der E-Werte in den normalen Bereich. Der niedrige Wert von 0,4 liegt im Randbereich und ist bei miterfasstem peritendinösem Gewebe nicht verwertbar.

rekte Durchführung der EL auf dem Bildschirm vorhanden sein.

Die Strain-Elastografie liefert nur gute Ergebnisse mit korrekter „Vibrations-Technik“. Die Kompression des Gewe-

bes sollte mit 2–4 Hz mit einer Amplitude von ca. 3 mm erfolgen. Das ROI-Fenster sollte 2– bis 3-mal so groß sein wie der zu untersuchende Bezirk. Die Kompression erfolgt am besten nur mit den

Fingern, nicht mit dem ganzen Handgelenk. Die Dekompression ist die wirklich elastische Phase. Die Kurve stabilisiert sich nach ca. 30 Kompressionen, erst dann ist eine Auswertung möglich. Eine Darstellung in 2 Ebenen ist wie in allen bildgebenden Verfahren sinnvoll (Abb. 1a).

Sollte keine Software zur Auswertung vorliegen, ist lediglich eine Beurteilung nach folgenden Scores möglich: Vergleich der Läsion mit dem Hintergrund-Strain-Kontrast oder Muster der Strain-Verteilung.

Wesentlich zuverlässiger ist die Auswertung einer Strain-Ratio (SR) während einer Video-Schleife – der Strain-Histogramm-Analyse (SH – wie in Abb. 1b gezeigt).

Voraussetzung für alle Verfahren ist eine sorgfältige Justierung des Geräts mit einem System-Techniker. Meistens ist die Software von Herstellerseite für Schilddrüse oder Mamma ausgelegt und nicht ohne Korrektur der Parameter auf Muskeln und Sehnen übertragbar [6, 19].

Praktische Anwendung

Achillessehne

Für die Achillessehne (AS) liegen die meisten Publikationen vor. Deutliche Veränderungen der Elastizität sind mit der klinischen Untersuchung und der Ultraschalldiagnose korrelierbar. Nach meinen Erfahrungen sind auch diskrete Veränderungen der Sehne bei Verwendung von Sonden mit hoher Auflösung feststellbar. Nach den EFSUMB-Guidelines (EFSUMB: European Federation of Societies for Ultrasound Medicine and biology) wird die Elastografie als zusätzliche Untersuchung zum konventionellen Ultraschall empfohlen, um die Zuverlässigkeit in der Diagnose der Achilles-Tendopathie zu erhöhen. Auch wenn im B-Mode noch keine wesentlichen Veränderungen zu finden sind, können mit der Elastografie durch die höhere Sensitivität pathologische Prozesse gefunden werden. Allerdings ist die aktuell verfügbare Literatur zu diesem Thema noch relativ spärlich, insbesondere bezüglich der Shear-wave-Elastografie.

Nach den Empfehlungen der EFSUMB für die Strain-Elastografie soll das

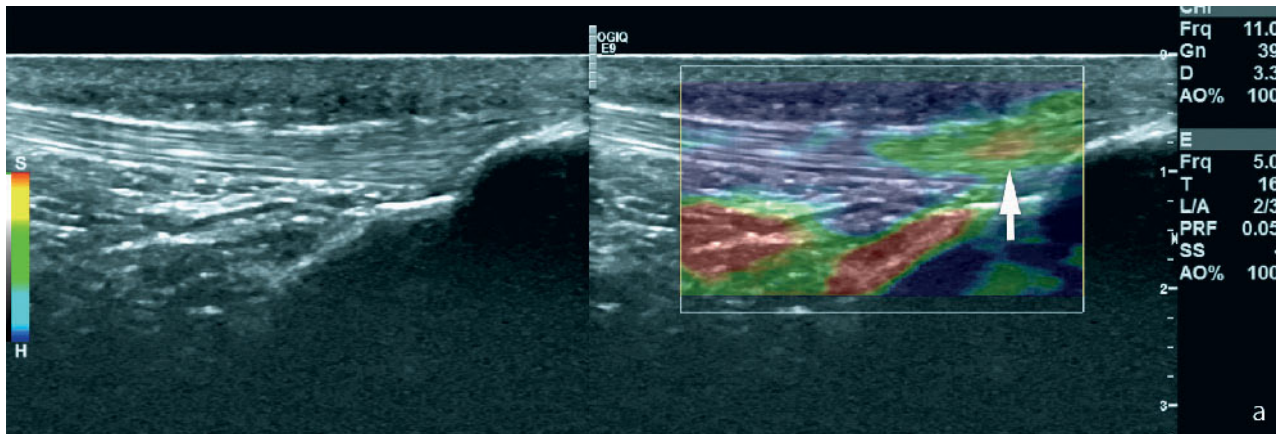


Abbildung 3a Sonografie der Patellarsehne bei unklaren infrapatellaren Beschwerden – klinisch Zeichen eines distalen Patellarsehnensyndroms. Im B-Bild (links) noch keine erkennbaren Veränderungen, in der Elastografie weichere Bezirke (gelb-rot) in der distalen Patellarsehne (Pfeil).

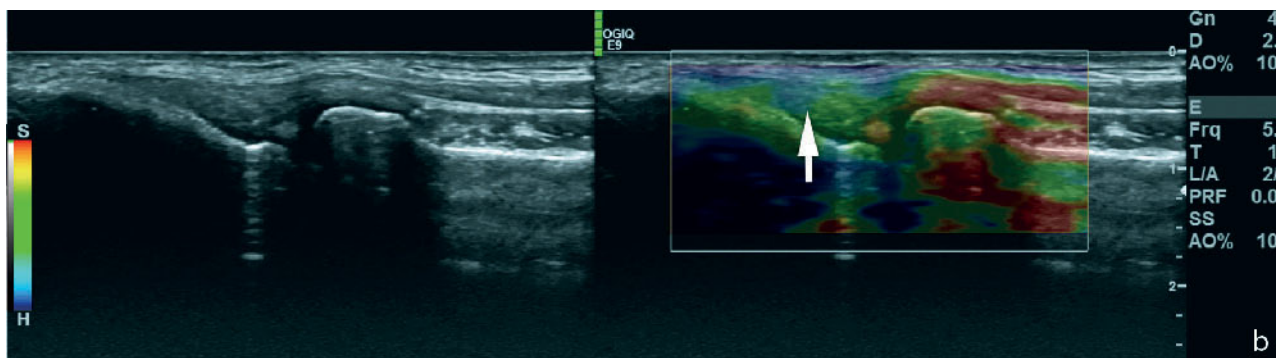


Abbildung 3b Longitudinales normales B-Bild (links) und Elastografie des Epicondylus radialis am rechten Ellenbogen mit Matrix-Sonde Linear 9–15 MHz (GE E9). Der Ansatz der Unterarm-Extensoren (Pfeil) erscheint in der Elastographie mittelhart (grün), die Muskulatur weich (rot).

ROI-Fenster mindestens das Dreifache der Sehnengröße umfassen und möglichst standardisiert sein. Die Sonde sollte wie beim B-Bild senkrecht auf der Sehne stehen, um Anisotropie zu vermeiden. Optimal ist die Auswertung des besten Elastogramms aus 3 Zyklen.

Die erhaltenen numerischen Werte entsprechen im Falle der Strain-Elastografie mit Histogramm dem Verhältnis des gemessenen Gewebes zum Durchschnitt der Steifigkeit im gesamten Untersuchungsfenster.

Artefakte können bei Verschiebung des Schallkopfs während der Untersuchung entstehen – ferner auch im Randbereich des Schallkopfs. Abhilfe kann hier eine Untersuchung in 3 Segmenten mit Überlappung der Auswertungs-Fenster schaffen.

Wertvoll erscheint die Elastografie auch bezüglich der Verlaufsbeurteilung einer Therapie bei schwerer Achillodynie mit partiellen Läsionen/Sehnennekrosen (Abb. 2a). Hier hilft insbesondere

der Seitenvergleich oder der Vergleich mit im B-Bild unauffälligen Arealen weiter, um die Belastungsfähigkeit der Sehne abzuschätzen. Neben den mehrfachen Kompressionszyklen erscheint hier auch die Darstellung der Sehne im Querschnitt wichtig (Abb. 2b).

Die Literatur zur Verlaufsbeurteilung und klinischen Relevanz der Befunde fehlt weitgehend – hier besteht weiterer Bedarf an Studien, auch bezüglich der Shear-wave-Elastografie [7, 17].

Als Beispiel sei hier die Vorlaufkontrolle der AS einer Patientin mit therapieresistenter Achilles-Tendopathie im Rahmen einer generellen Enthesiopathie vor und nach Behandlung mit PRP-Injektionen und Ruhigstellung im AS-Stiefel gezeigt (Abb. 2c).

Patellarsehne

Die Sehne sollte in 30° Beugung untersucht werden. Der Normalbefund zeigt

im Gegensatz zur Achillessehne vorwiegend elastische Strukturen. Asymptomatische SportlerInnen tendieren zu höherer Steifigkeit der Sehne [16, 20]. Bei diesen Studien wurde die Elastizität jedoch über einen visuellen Score beurteilt – nicht als SR oder SH. Bei Verwendung der Shear-wave-Technik fand sich jedoch eine eindeutige Korrelation der Messwerte mit der Testung des isolierten Präparats im mechanischen Prüfstand [24] und eine Reproduzierbarkeit bei In-vivo-Messungen bei Probanden. Nach Closed-wedge-Osteotomie oder partieller Entnahme der Patellarsehne bei VKB-Plastik finden sich kontraktere und steifere Patellarsehnen [1, 5]. Gefördert wird der Effekt durch Rauchen. Patellarsehnen-Syndrome bei Sportlern lassen sich durch Verdickung der Sehne und weichere Elastografie-Werte im US darstellen. Es besteht eine Korrelation mit schmerzhaften Sehnen und auffälliger Elastografie, nicht aber mit B-Bild Veränderungen [18] (Abb. 3a–b).

Schulter

Diverse Studien, sowohl in vivo als auch in vitro bestätigen die Aussagekraft sowohl für die Strain- als auch Shear-wave-Elastografie an der Rotatorenmanschette und der Schultermuskulatur [10, 12, 15, 22]. Dabei ist die Aussagefähigkeit und Zuverlässigkeit bei Untersuchungen der oberflächlich gelegenen Supraspinatus-Sehne besser als in tieferen Regionen. Beurteilbar ist auch der M. Supraspinatus im einsehbaren Bereich in der Fossa supraspinata.

In einer experimentellen Studie an Präparaten konnte die quantitative Beurteilbarkeit der mechanischen Eigenschaften des Deltamuskels gezeigt werden [9]. Auch am Schultergelenk stehen weitere Studien aus, welche die gefundenen Ergebnisse in Korrelation zu pathologischen Prozessen setzen und zu therapeutischen Konsequenzen führen.

Ellenbogen

Sowohl ST als auch SW liefern additive Informationen zur B-Bild und Power-Doppler-Sonografie z.B. bei Epicondylitis. Es fand sich eine pathologisch niedrige Sehnen-Elastizität in mehr als 2/3 der Patienten mit normalem B-Bild und PW-Doppler. Die Sensitivität zum Nachweis pathologischer Veränderungen bei Tendopathien lässt sich so steigern [8] (Abb.4).

Muskulatur und Faszien

Die EL zeigt eine enge Übereinstimmung mit Ultraschall und MRI bei Muskelerkrankungen und Verletzungen. Bei

der Feststellung früher dystrophischer Veränderungen erscheint sie vielfach sensitiver als Ultraschall im Bild oder MRI [19].

Schon seit mehreren Jahren wird die EL zur Verifikation von chronischen Myalgien und „Triggerpunkten“ in der Schmerztherapie eingesetzt. Einige Publikationen scheinen nun den theoretischen Unterbau für diese Anwendung zu liefern: Stecco konnte die pathologischen Veränderungen bei faszialer Dysfunktion mit US im B-Bild nachweisen [23]. Sie fand Verdichtungen und Fibrosierungen bei myofaszialem Schmerz. Weitere Publikationen zeigten die Korrelation der Verdichtung der Faszien mit den begleitenden elastografischen Befunden vor und nach manueller Therapie von „Triggerpunkten“ [14]. Aktuelle Studien [3, 4] weisen mit Elastografie darstellbare strukturelle Veränderungen bei chronischem „unspezifischen“ Rückenschmerz und neurogenen Entzündungsreaktionen an Triggerpunkten nach. In Anbetracht der Relevanz dieser Erkrankung mit häufig therapieresistentem Verlauf eröffnen sich hier möglicherweise neue Dimensionen in der Diagnostik und Therapie myofaszialer Schmerzen.

Weichteil-Tumore

Maligne Tumore erscheinen generell steifer als benigne Tumore. Es können jedoch auch Regionen ohne Farbgebung auftauchen (Black Sign) – sie korrelieren eher mit malignen Läsionen [13]. Nach Riishede et al. [21] ist der Unterschied zwischen mittlerer Strain-Ratio von gutartigen und malignen Tumoren signifi-

kant. Die mittlere Strain-Ratio für maligne Tumoren betrug 1,94 und die entsprechende für gutartige Tumoren 1,35. Es zeigten sich keine relevanten Unterschiede zwischen Strain-Histogrammen und visueller Bewertung. Bei Liposarkomen fanden sich niedrigere mittlere Werte für Strain-Ratios, Strain-Histogramme und visuelle Bewertungen als bei anderen malignen Tumoren.

Fazit

Die Elastografie ergänzt die bisherigen Ultraschalluntersuchungen mit B-Bild und Farb-/Powerdoppler am muskuloskeletalen System um eine weitere Facette. Nur mit der EL lassen sich aktuell Aussagen über die Konsistenz und Elastizität von Muskeln, Sehnen oder Faszien treffen. Die Methode ist nicht invasiv und wird durch die aktuelle Weiterentwicklung der Shear-wave-Technik einfacher zu erlernen sein. Diese Variante liefert auch physikalische Messwerte.

Schon jetzt sind pathologische Sehnen- und Muskelveränderungen sicher nachweisbar und der Therapieerfolg objektivierbar. Es fehlen jedoch noch langfristig angelegte Verlaufs-Studien: z.B. über die Belastbarkeit veränderter Sehnen oder die prognostische Wertigkeit von pathologischen Befunden bei Sportlern. OUP

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

Dr. med. Rainer Berthold
Spilburgstraße 4
35578 Wetzlar
dr.rainer.berthold@t-online.de

Literatur

- Akkaya S, Akkaya N, Agladioglu K, Gungor HR, Ok N, Özçakar L: Real-time elastography of patellar tendon in patients with auto-graft bone-tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016; 136: 837–42.
- Bamber J, Cosgrove D, Dietrich CF et al.: EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Ultrasound Elastography. Part 1: Basic Principles and Technology. *Ultraschall in Med* 2013; 34: 169–84.
- Bauermeister W, Radmann P: Die Bedeutung der Strain-Elastografie für die Diagnose unspezifischer Rückenschmerzen. *Ultraschall in Med* 2017; 38 (S 01): S1–S65.
- Baumeister W, Radmann P: Nachweis von Neurogenen Entzündungen beim Myofaszialen Schmerzsyndrom mittels Strain-Elastografie und Validierung durch Algometrie. *Ultraschall in Med* 2017 38 (S 01): S1–S65.
- Botanlioglu H, Kaynak G, Kantarci F et al.: Length, thickness, and elasticity of the patellar tendon after closed wedge high tibial osteotomy: a shear wave elastographic study. *Journal of Orthopaedic Surgery* 2016; 24: 194–7.
- Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J et al.: EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Ultrasound Elastography. Part 2: Clinical Applications. *Ultraschall in Med* 2013; 34: 238–53.
- De Zordo T, Chhem R, Smekal V et al.: Real-Time Sonoelastography: Findings in Patients with Symptomatic Achilles Tendons and Comparison to Healthy Volunteers. *Ultraschall in Med* 2010; 31: 394–400.
- De Zordo T, Lill S et al.: Wertigkeit der Echtzeit-Sonoelastografie in der Diagnostik des Tennisellenbogens: Ver-

- gleich zwischen Patienten und Normalprobanden. *Ultraschall in Med* 2009; 30: V5_05
9. Hatta T, Giambini H et al.: Quantified Mechanical Properties of the Deltoid Muscle Using the Shear Wave Elastography: Potential Implications for Reverse Shoulder Arthroplasty. *PLoS ONE* 2016; 11: e0155102
 10. Hatta T, Yamamoto N, Sano H, Itoi E: In Vivo Measurement of Rotator Cuff Tendon Strain With Ultrasound Elastography An Investigation Using a Porcine Model. *Journal of ultrasound in medicine* 2014, 33. 1641
 11. Havre RF, Waage JR, Gilja OH, Ødegaard S, Nesje LB: Real-Time Elastography: Strain Ratio Measurements are influenced by the Position of the Reference Area: *Ultraschall in Med* 2011, published online
 12. Ishikawa S, Muraki T, Morise S et al.: Changes in stiffness of the dorsal scapular muscles before and after computer work: a comparison between individuals with and without neck and shoulder complaints. *European Journal of Applied Physiology* 2016; 10.1007/s00421-016-3510-z
 13. Kim SJ, Park HJ, Lee SY: Usefulness of strain elastography of the musculoskeletal system. *Ultrasonography*. 2016; 35: 104–9
 14. Luomala T, Pihlman M, Heiskanen J, Stecco C: Case Study: Could ultrasound and elastography visualize densified areas inside the deep fascia? *J Bodywork & Movement Therapies* 2014; 18: 462–8
 15. Muraki T, Ishikawa H, Morise S et al.: Ultrasound elastography-based assessment of the elasticity of the supraspinatus muscle and tendon during muscle contraction. *J Shoulder Elbow Surg*. 2015; 24: 120–6
 16. Netanel Berko, Kim M, Schulz J: Normal Range of Patellar Tendon Elasticity in Young Asymptomatic Individuals Using Ultrasound Elastography. *Society Skeletal Radiology*, Online published 2016 – E-Poster #17
 17. O Bamidele J, Dietrich CF, Horn R et al.: Muskuloskeletal Elastography: AchillesTendon EFSUMB – 17–02–2015 – Case of the Month – published online efsumb.org
 18. Ooi CC, Richards PJ, Maffulli N et al.: A soft patellar tendon on ultrasound elastography is associated with pain and functional deficit in volleyball players. *J Sci Med Sport*. 2016; 19: 373–8
 19. Pedersen M, Fredberg U, Langberg H: Sonoelastography as a Diagnostic Tool in the Assessment of Musculoskeletal Alterations: A Systematic Review; *Ultraschall in Med* 2012; 33: 441–6
 20. Porta F, Damjanov N, Galluccio F, Iagnocco A, Matucci-Cerinic M: Ultrasound elastography is a reproducible and feasible tool for the evaluation of the patellar tendon in healthy subjects. *International Journal of Rheumatic Diseases* 2014; 17: 762–6
 21. Riishede I, Ewertsen J, Carlsen MM et al.: Strain Elastography for Prediction of Malignancy in Soft Tissue Tumours – Preliminary Results, *Ultraschall in Med* 2015; 36: 369–74
 22. Saltykova V: Shear Wave Elastography in diagnostics of supraspinatus tendon. *ECR 2013 – EPOS – 10.1594/ecr2013/C-2168* Publikation online
 23. Stecco C: Fasziale Dysfunktionen: MWE Aktuell 02/2016: 7–9
 24. Zhang ZJ, Fu SN: Shear Elastic Modulus on Patellar Tendon Captured from Supersonic Shear Imaging: Correlation with Tangent Traction Modulus Computed from Material Testing System and Test–Retest Reliability. *PLoS ONE* 2013; 8: e68216. doi:10.1371/journal.pone.0068216