Elastografia w obrazowaniu ścieżgien i mięśni
Ultrasound elastography for imaging tendons and muscles

Elena Drakonaki

University Hospital Heraklion, Stavrakia, Heraklion, Grecja
Adres do korespondencji: Elena Drakonaki, MD, PhD, PostDoc, Geronimaki 70,
PCODE 71307, Heraklion, Crete, Greece

Streszczenie
Elastografia ultrasonograficzna jest nową techniką obrazowania ultrasonograficznego, umożliwiającą ocenę jakościową i ilościową właściwości elastycznych tkanek. Najpopularniejszą techniką elastografii jest metoda uciskowa/statyczna (free hand strain – tzw. obrazowanie z wolnej ręki), polegająca na ręcznym uciskaniu tkanek głowicą ultrasonograficzną w celu uzyskania, w czasie rzeczywistym, map rozkładu elastyczności tkanek, które są kodowane kolorem i nałożone na obrazy w sekwencji B-mode. Istnieje coraz więcej dowodów na przydatność elastografii ultrasonograficznej w praktyce klinicznej jako badania uzupełniającego klasyczne badanie ultrasonograficzne w rozpoznawaniu patologii tkanek miękkich, w tym ścieżgien i ścieżgien. Na podstawie wstępnych danych do potencjalnych klinicznych zastosowań elastografii należą: wczesna diagnostyka i ocena zaawansowania zmian chorobowych, monitorowanie zabiegów pod kontrolą ultrasonografii w chorobach struktur mięśniowo-ścięgnościowych i nerwowo-mięśniowych, a także monitorowanie procesu rehabilitacji. Elastografia może również służyć poznaniu procesów biomechanicznych i patofizjologicznych chorób mięśniowo-ścięgnościowych. Pomimo wielkiego zainteresowania liczba doniesień na temat elastografii jest znikoma. Przyczyną może być szereg problemów technicznych ograniczających jej powtarzalność, wynikających z obecności artefaktów i braku standaryzacji. W artykule przedstawiono przegląd dotychczasowej wiedzy nt. potencjalnych możliwości statycznej metody elastografii w ocenie układu mięśniowo-szkletowego, omówiono kwestie techniczne, perspektywy rozwoju tej metody, jak również podkreślono potrzebę standaryzacji oraz dalszych badań.
Wstęp

Elastografia ultrasonograficzna (EUS) jest metodą służącą do oceny właściwości mechanicznych tkanek\(^{(1-3)}\). Została wprowadzona początkowo, w latach 90. XX wieku, w badaniach \textit{in vitro}, by po latach znaleźć zastosowanie również w badaniach \textit{in vivo}\(^{(4-5)}\). EUS wykorzystuje właściwości elastyczne tkanek\(^{(1-3)}\), które mogą być oceniane różnymi technikami\(^{(1-3)}\). Najpopularniejszą jest metoda \textit{free hand strain}, tzn. obrazowanie z wolnej ręki (metoda uciskowa/statyczna), wykrywane głównie w onkologii\(^{(6-12)}\).

Ponieważ zmiany degeneracyjne i pourazowe mięśni i ścięgien wiążą się z upośledzeniem ich czynności biomechanicznych, od czasu wprowadzenia EUS po- szukiwano potencjalnych klinicznych zastosowań tej metody także w diagnostyce chorób narządu ruchu, na etapie wczesnej diagnozy, monitorowania terapii, prognozowania ryzyka uszkodzeń u sportowców oraz oceny efektywności fizjoterapii lub treningu zarówno w zdrowej, jak i w objętej procesem chorobowym tkance mięśniowo-ścięgiennej\(^{(13-29)}\).

W pracy przedstawiono główne wskazania do elastografii narządu ruchu opracowane na podstawie publikowanych danych, omówiono trudności techniczne i ograniczenia tej metody, a także dalsze perspektywy rozwoju techniki EUS pod kątem oceny układu mięśniowo-szkieletowego.

Introduction

Ultrasound elastography (EUS) is an ultrasound-based method for the assessment of the mechanical properties of tissue\(^{(1-3)}\). The method was initially introduced \textit{in vitro} in the ’90s and later evolved into an imaging tool for \textit{in vivo} applications\(^{(1-5)}\). EUS is based upon the principle that stress applied to tissue causes changes within it, which depend on the elastic properties of tissue\(^{(1-5)}\). There are several approaches of EUS, depending on the method to assess elasticity\(^{(1-3)}\). Free hand strain (compression) EUS is the commonest technique that has been employed mainly in the field of oncology\(^{(6-12)}\).

Degenerative and traumatic muscle and tendon disease results in biomechanical changes. Since the commercial availability of EUS, there has been a lot of interest for potential clinical applications of the method, such as for early diagnosis of muscle and tendon disease, for guiding and monitoring therapy, for predicting the risk of injury in athletes and for assessing the effect of physiotherapy or training in healthy and diseased musculotendinous tissue\(^{(13-29)}\).

This review aims at presenting the main indications of EUS for muscle and tendon disease based on the published evidence, at presenting the technical difficulties and limitations of the method and finally at discussing the future perspectives of EUS for assessing the musculoskeletal system.
Elena Drakonaki

Free hand strain (compression) EUS

Depending on the way of stress application and displacement detection, there are several EUS techniques, including strain EUS, shear wave EUS, transient EUS and acoustic radiation force EUS\(^{(2,3,14)}\). The most commonly used method is free-hand strain EUS, also found in the literature as compression elastography, sonoelastography, and real-time elastography\(^{(17–22)}\). This is performed by manually compressing the tissue using the hand-held US transducer\(^{(17–22)}\).

Strain EUS is based upon Hook’s law for the calculation of Young’s elastic modulus \((E)\), which is a physical quantity measuring elasticity\(^{(1)}\). By assuming that the applied stress is uniform, the elastic moduli are inversely proportional to the measured strain.

Akwizycja statyczna (inaczej kompresyjna, tzw. obrazowanie z wolnej ręki)

Istnieje kilka technik EUS. Rozróżnia się je pod względem sposobu zastosowanego ucisku wykrywania przemieszczeń, m.in.: strain EUS (metoda do oceny półjakościowej i półjakościowej odkształceń względnych), shear wave EUS (elastografia fali poprzecznej), transient EUS (elastografia impulsowa) oraz acoustic radiation force EUS (elastografia impulsu akustycznego)\(^{(2,3,14)}\). Najczęściej używaną metodą jest free hand EUS (obrazowanie z wolnej ręki), które w literaturze występuje pod nazwą elastografia statyczna, sonoelastografia, elastografia czasu rzeczywistego (real-time elastography, RTE)\(^{(17–22)}\). Badanie wykonuje się, uciskając głowicą USG badaną okolicę/tkankę\(^{(17–22)}\).

Fig. 1. Longitudinal (a, c) and transverse (b, d) strain elastograms of the middle third of asymptomatic Achilles tendons (T) showing two distinct EUS patterns: type 1 tendons (c, d) appear homogenously stiff (green/blue); type 2 tendons (a, b) appear considerably inhomogenous with soft (red) areas, which do not correspond to any changes in B-mode US. The retroachilles fat (F) appears as a mosaic of green, red and blue. Note the red areas at the lateral and medial sides of the tendon in the transverse plane (b, d) which correspond to artifacts, secondary to difficulty in stabilizing the transducer.
Ultrasound elastography for imaging tendons and muscles

Elastografia odkształceń względnych (strain EUS) jest oparta na prawie Hooka i wyznaczaniu modułu sprężystości Younga (E), który jest wielkością fizyczną służącą do pomiaru elastyczności (1). Zakładając, że przyłożony ucisk jest jednolity, modular sprężystości jest odwrotnie proporcjonalny do mierzonego odkształcenia (E = naprężenie/odkształcenie) (2). Odkształcenie jest mianem deformacji, którą można obliczyć jako iloraz różnicy wzajemnych odległości między dwoma punktami (przesunięcie) do odległości początkowej (3). Główną zasadą tej techniki EUS jest uzyskanie pod wpływem ucisku glowicy osiowego odkształcenia, które jest większe w tkankach miękkich, a mniejsze w tkankach twardych (4-5). Dane o odkształceniu są podstawą tworzenia map dystrybucji, czyli elastogramów (6-7). Elastogram jest widoczny w skali szałowej lub kolorowej i nałożony na obraz w sekcji B-mode w czasie rzeczywistym. Zarówno skala szałowa, jak i kolorowa są wybierane przez użytkownika, chociaż umownie przyjête, iż kolor czerwony oznacza tkankę miękką, niebieski – twardą/szytynną, a żółty/zielony – tkankę o pośredniej twardości. Elastogram jest obrazem odkształceń względnych, tj. obrazującym odkształcenie danego obszaru w odniesieniu do odkształceń innych sąsiadujących tkank w obszarze zainteresowania (region of interest). Istnieje również półpomiowa metoda pomiaru (wskaźnik odkształcalności, strain ratio), określająca proporcję odkształcenia w obszarze zainteresowania (ROI) do odkształcenia w obszarze tkanki referencyjnej o tych samych wymiarach (głównie tkanki tłuszczowej) (ryc. 1).

Elastografia w diagnostyce ściegienia

Większość badań klinicznych dotyczących układu mięśniowo-szkieletowego dotyczy patologii ściegienia Achillesa. Badania te wykazały, że obraz prawidłowego ściegienia piętowego u zdrowych ochotników jest w EUS niejednorodny i wykazuje obecność dwóch typów tkaneń różniących się elastycznością, tj. jednorodnie twardej oraz niejednorodnej, z elastycznymi obszarami położonymi w długiej osi ściegienia (podłużne pasma lub plamy) (8). Obszary różniące się elastycznością (twardością) mogą nie manifestować się w badaniu B-mode ani w badaniu dopplerowskim (9). Zostało to potwierdzone w dwóch badaniach porównujących ściegienia prawidłowe i zmienione chorobowo (10): ściegina zdrowa w większości przypadków były twarda (86–93%), u pozostałych osób (1,3–12%) obserwowano dyskretnie obszary kosowane na pomarańczowobrązowo w czerwono, oznaczające na tkanki elastyczne (10–20). Ściegina objawowe w większości przypadków zawierały obszary dyskretne miękkie (57%) i obszary (E = stress/strain) (11). Strain represents the amount of deformation and can be calculated as the change in distance between two points (displacement) divided by the initial distance (12). So the main principle of strain (compression) EUS is that a compressive force (stress) is applied to tissue causing axial tissue displacement, which is lower in hard tissue and higher in softer tissue (11–14). The displacement data are used to construct strain distribution maps (elastograms) (fig. 1) (11–14). The elastogram is superimposed on the conventional B-mode image as a gray scale or color-coded image, displayed next to the conventional B-mode image on the screen in real time. Although the gray/color scale encoding is elective by the user, usually red is used for encoding soft tissue, blue for hard tissue and yellow/green for tissue of intermediate stiffness (fig. 1). The elastogram is a relative image, where the strain of each area is displayed relative to the strain of other tissues within the region of interest. There is also a semi-quantitative measurement method (the strain ratio), which represents the ratio of the strain of the area of interest (ROI) to an equally measuring area in the reference tissue (usually fat).

US elastography for the evaluation of tendons

Most of the clinical research on musculoskeletal applications of strain EUS focuses on the Achilles tendon. It has been found that the normal Achilles tendons in healthy volunteers may present with two distinct EUS appearances: They may be either homogeneously hard structures or, in the majority of cases (62%), they may be considerably inhomogenous with soft areas parallel to the long axis of the tendon (longitudinal bands or spots) (fig. 1) (11). The areas of distinct softening may not correspond to any changes in B-mode or Doppler US (12). The above findings are confirmed by two studies comparing normal (asymptomatic) and abnormal (symptomatic) tendons (13–20). The majority of asymptomatic tendons were hard (86–93%), however, in 1.3–12% cases there was mild or discrete softening (orange or red areas) (13–20). On the contrary, asymptomatic tendons were characterised by discrete softening in 57% and mild softening in 11% (13). Mild softening (yellow) did not correlate to B-mode US abnormalities, whereas discrete softening (red) was found mainly in cases with US pathology (14,20). Therefore, it has been suggested that only discrete soft areas (red) in Achilles tendon should be considered as abnormal (15,20) (fig. 2). It is not yet clear what the alterations in asymptomatic and sonographically normal tendons represent; it is suggested that they may either correspond to clinical changes or to false positive findings, possibly secondary to tissue shifting at interfaces between...
umiarkowanie miękkie (w 11%) (18). Te drugie (żółte na elastogramach) nie odpowiadały żadnym patologicznym zmianom w badaniu B-mode, podczas gdy dyskretne podwyższenie elastyczności (w kolorze czerwonym) w większości korelowało ze zmianami patologicznymi w klasycznym badaniu USG (19,20). Z tego względu stwierdzono, że czerwone obszary na elastogramach osób objawowych mogą wskazywać na patologię ściegnia (19,20) (ryc. 2). Wciąg jednak nie wiadomo, jak je interpretować w przypadku osób bezobjawowych, niewykazujących zmian w badaniu USG B-mode. Możliwe, że świadczą o zmianach przedklinicznych lub są przypadkami fałszywie dodatnimi, wynikającymi z przesunięć tkankowych na granicach włókien kolagenowych (17–20).

Sprzeczne z przedstawionymi wynikami dane uzyskano w pracy analizującej obrazy nieprawidłowych ściegnień Achillesa u 12 sportowców (21). Na podstawie porównania badania B-mode, EUS i rezonansu magnetycznego stwierdzono, iż nieprawidłowe ściegna wykazują zwiększoną sztywność. Ze względu na rozbicie wyków konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań.

Fig. 2. Longitudinal free hand strain elastogram of a 34-year-old recreational runner with healed Achilles tendon injury. There is hypo-echogenicity at the superficial half of the Achilles tendon at the area of the healed partial injury. The abnormal area appears softer (yellow with red areas) compared to the stiffer (blue/green) normal-appearing remaining tendon. The Kager’s fat appears as a mosaic of various levels of stiffness.
Besides Achilles tendon disease, lateral epicondylitis has also been evaluated in a single study, which showed significant softening in the abnormal extensor tendons with strong correlation with US and clinical findings[22]. Further applications of EUS for tendon disease based on preliminary data and the authors’ personal experience include patella tendinopathy, regenerated tendons after harvesting and rotator cuff tendinopathy and tears; however, there are no case-controlled studies available in the published literature on these applications yet (figs. 3, 4)[30-32].

**US elastography for the evaluation of muscles**

There are limited data available on the use of strain SEL for normal and diseased skeletal muscle. EUS is a feasible and accurate means to produce muscle elasticity maps and evaluate normal skeletal muscle[23]. Normal relaxed muscle is found to be an inhomogeneous mosaic of intermediate stiffness (green and yellow colors) with scattered softer and harder areas especially at the periphery near boundaries (fig. 5)[28,27]. However, it has not been investigated yet what the color variation depends on. A few studies have showed differences in the elasticity (strain index) of the masseter muscles between sexes as well as differences in elasticity of periocular rectus medialis and lateralis muscles in various gaze positions[24,25].

Degenerative and neuromuscular disease has been studied using strain EUS. A study on inflammatory myositis showed changes in elasticity of the affected muscles (increased or reduced stiffness, due to fibrosis or fatty infiltration respectively)[26]. A correlation

---

**Elastografia w diagnostyce patologii mięśni**

Pojedyncze prace poświęcione roli elastografii odkształceń względnych (strain EUS) w ocenie zdrowych...
i chorobowo zmienionych mięśni szkieletowych. Mapa elastyczności (czyli elastogram) uzyskana w EUS[23] pokazuje, że prawidłowy mięsień w fazie spoczynku jest niejednorodną mozaiką kolorów, co świadczy o jego pośredniej elastyczności (kolory zielony i żółty), z rozproszonymi obszarami o większej i mniejszej elastyczności, szczególnie na obwodzie brzuszców (ryc. 5) [26,27]. Wciąż nie wiemy, z czego wynika ta niejednorodność kolorów. W kilku badaniach wykazano różnice elastyczności mięśni zwątce (strain index) zależne od płci, jak również różnice elastyczności mięśnia proste- go przyśrodkowego i prostego bocznego oka w zależności ustawienia galki ocznej[24,25].

between quantitative strain EUS parameters and elevated serum markers was also found and the study concluded that EUS may be helpful in staging and monitoring inflammatory myopathies[26]. Similar findings are reported in a case study of a patient with congenital Bethlem myopathy, where exact correlation between EUS and US/MR imaging findings was found[27]. EUS also detected changes which were not evident on US and MR, possibly indicating increased sensitivity for myopathic changes[27]. A study using vibration and Doppler signal alterations reported that EUS could be used for depicting myofascial trigger points[28]. In cases of cerebral palsy spasticity, EUS
Przy użyciu elastografii odkształceń względnych badano również choroby zwyrodnieniowe i nerwowo-mięśniowe. Badania zapalnie zmienionych mięśni wykazywały różne zmiany w ich elastyczności (podwyższenie lub obniżenie), z powodu, odpowiednio, zwłóknięcia lub nacieków tłuszczowych (26). Ponieważ stwierdzono zależność pomiędzy parametrami ilościowej oceny EUS a podwyższonymi markerami zapalenia w surowicy, wysunięto wniosek, że EUS może być pomocna w ocenie stopnia zaawansowania i monitorowania miopatii zapalnych (26). Ponadto w EUS wykryto zmiany elastyczności, wskazujące na możliwość większą czułość EUS w wykrywaniu miopatii, przy prawidłowym obrazie USG i MR (27). Badanie z użyciem propagacji drgań i signalu Dopplera sugeruje, że EUS mogłaby być użyteczna w obrazowaniu mięśniowo-powieżliowych punktów spustowych (28). W przypadku spastyczności w przebiegu mózgowego porażenia EUS okazała się przydatna w diagnostyce zmian w spastycznych mięśniach oraz w typowaniu miejsc do wstrzykiwania toksyny botulinowej (29).

Although there are preliminary reports on the use of EUS for diagnosis and staging of rotator cuff muscle atrophy and for depicting and staging muscle injury, there is no published evidence yet (30–32).

**Technical issues, limitations and artifacts of EUS**

One of the major issues lies in the fact that there are various EUS techniques and processing algorithms available, therefore, the findings as well as the artifacts or limitations may be highly dependent on the technique used and may be specific to a certain system. Most of the experience on technical problems and ways to overcome them has resulted from the use of free-hand compression EUS. Compression EUS is technically very challenging in terms of producing...
Opierając się na przedstawionych danych, można sądzić, że EUS jest metodą użyteczną we wczesnym rozpoznaniu i ocenie zmian dystroficznych, miopatycznych i spastycznych mięśni oraz w monitorowaniu interwencji pod kontrolą obrazu USG. Jednak mimo wstępnych doniesień dotyczących wykorzystania EUS w diagnostyce i ocenie zaawansowania atrofii ściegien pierścienia rotatorów i w ocenie urazów mięśni, publikacje na ten temat nie są znane.\(^{30–32}\)

**Kwestie techniczne, ograniczenia i artefakty w EUS**

Jednym z głównych problemów dotyczących elastografii jest różnorodność technik EUS i algorytmów postępowania. Z tego powodu wyniki badania, na które wpływają artefakty i inne ograniczenia danej metody, mogą być specyficzne dla konkretnego systemu. Większość problemów technicznych i sposobów ich rozwiązania poznano, analizując elastografię z wolnej ręki. Metoda ta stanowi pod względem technicznym wyzwania dla stworzenia wolnych od artefaktów pętli zamkniętych cykli kompresyjno-dekompresyjnych. Główny problem stanowi użycie odpowiedniej siły uciśku, która powinna być umiarkowana (zbyt duża lub zbyt mała powoduje, że elastyczne właściwości tkanki stają się nielinieowe, a tym samym obliczenie odkształceń jest nieprawidłowe).\(^6\) Większość systemów EUS prezentuje informacje o odpowiedniej sile nacisku na ekranie aparatu USG w czasie rzeczywistym. Aby zminimalizować różnice ocen elastogramów przez danego badającego (intraobserver variability), stopnie lub pomiary powinny opierać się na obiekcie (elsogramów) pochodzących z całego pętli pamięci\(^{17–20}\). Innym istotnym problemem w EUS jest brak pomiarów ilościowych, co prowadzi do konieczności użycia alternatywnych metod, takich jak: pomiary pólścio- we, pomiary za pomocą wbudowanego oprogramowania (współczynnik odkształcenia)\(^{17}\), zewnętrznego komputera\(^{21,25,26}\) lub jakościowej oceny wizualizacji elastogramów\(^{17–20}\). Powyższe ograniczenia są przyczyną małej powtarzalności pomiarów oraz trudności w porównywaniu wyników badań.

Podczas badania ukladu mięśniowo-szkieletoowego metodą EUS trzeba również wziąć pod uwagę inne czynniki. Należy unikać anizotropii, ponieważ dane z obrazowania B-mode są następnie wykorzystywane do analizy w EUS\(^{18–20}\). Ponadto w badaniu EUS ściegna Achillesa lepsze są przechwytywane niż poprzeczne, z powodu artefaktów na bocznych częściach obrazu wynikających z niejednorodnego nacisku na całą powierzchnię obrazowaną.\(^{17}\) Można ich uniknąć, podczas badania struktur podłużnych (np. ściegna artifact-free cineloops of decompression-compression cycles. A major issue is the correct amount of pressure to be applied, which ideally should be moderate, as in high or low levels of pressure the elastic properties of tissue become non-linear; and thus the calculation of strain is not correct.\(^6\) Most EUS systems now provide an on-screen indicator providing real-time feedback on the appropriate amount of pressure. To minimize intraobserver variation, the scoring or measurements should be based on evaluation of images derived after reviewing entire cineloops\(^{17–20}\). Another major problem in strain EUS is the lack of quantitative measurements, leading to the need of alternative methods for the evaluation of the elastograms, including semi-quantitative measurements either using the built-in software (strain ratio)\(^{17}\) or using external computer software\(^{21,25,26}\) or qualitative visual evaluation of elastograms\(^{17–20}\). This has led to lack of reproducibility and difficulty in comparing the results among different studies.

When using EUS for examining musculoskeletal tissue, special issues should be taken into consideration. Anisotropy should be avoided, as the B-mode appearance influences the acquisition of EUS data\(^{18–20}\). When examining the Achilles tendon, longitudinal images are of better quality than transverse images, because of artifacts at the medial and lateral sides of the image\(^{17}\). When examining a long structure (e.g. the Achilles tendon), overlapping images should be acquired, to overcome the problem of artifacts at the borders of the elastogram caused by inhomogeneous pressure\(^{17–20}\). For the evaluation of soft tissue masses, EUS may be challenging in cases of superficial protonerubant masses, where the application of uniform compression may be difficult.

The size of the elastogram should be taken into consideration when comparing elastograms. The elastogram is a relative image where the elasticity of each tissue is displayed compared to the mean elasticity of all tissues. This fact is not a major issue in breast, as the surrounding tissue is fairly homogenous (fat and glandular tissue). In musculoskeletal EUS though, the elastogram may include tissues with wider elasticity differences (fat, tendon, bone, muscle), and thus wider scatter in acquired elasticity data. For the Achilles tendon, the suggested, but not universally applied, standard size is a depth of 3 times the tendon and about 3/4 of the screen in longitudinal scans. In transverse scans the paratenon should be included in the elastogram\(^{20}\).

In many musculoskeletal applications (e.g. Achilles tendon), the tissue of interest is very superficial.
Achillesa), jeżeli obrazy EUS będą na siebie zachoǖdźi(17-20). Z tego samego powodu trudna będzie oceńna tkanek miękkich w przypadku obecności powierzchnich i wypukłych mas.

Podczas porównywania elastogramów należy także wziąć pod uwagę ich rozmian. Jak wspomniano, elastogram to obraz odkształceń wtórych, w którym sprężystość badanej tkanki jest porównywana do średniej sprężystości wszystkich tkanek. W badaniach zmian ogniskowych w piersiach, dla przykładu, tkanki otaczające są homogenne (łuszczk., tkanka gruczołową). Z kolei w EUS układ mięśniowo-szkieletowego elastogram może obejmować tkanki wykazujące różnorodność pod względem elastyczności (tkanka tłuszczowa, ścięgna, kostna i mięśniowa), a tym samym otrzymane jest szerokie rozproszenie lub zróżnicowanie danych i informacji o elastyczności. Dla ścięgna Achillesa sugerowany, choć niestosowany powszechnie, standardowy wymiar obrazowania obejmuje głębokość sięgającą do trzech szerokości ściegna i długość wypełniającą około 3/4 ekranu. Na przekrojach poprzecznych ścięgna Achillesa w elastogramie powinno być zawarte ścięgno(20).

Podczas oceny wielu struktur mięśniowo-szkieletowych (w tym ścięgna Achillesa) obszar zainteresowania znajduje się powierzchniowo. W większości urządzeń USG z opcją elastografii istnieje istotna mocność zachowania minimalnej odległości (zwłaszcza około 1 mm) od powierzchni/skóry. W przypadku mniejszej odległości należy korzystać z żelowych nakładek(18-21). Powszechną praktyką w konwencjonalnym obrazowaniu elastografii, bez żelu jest stosowanie żelu bez, które jest otrzymane jest szerokie rozproszenie lub zróżnicowanie danych i informacji o elastyczności. Dla ścięgna Achillesa sugerowany, choć niestosowany powszechnie, standardowy wymiar obrazowania obejmuje głębokość sięgającą do trzech szerokości ściegna i długość wypełniającą około 3/4 ekranu. Na przekrojach poprzecznych ścięgna Achillesa w elastogramie powinno być zawarte ścięgno(20).

Podczas oceny wielu struktur mięśniowo-szkieletowych (w tym ścięgna Achillesa) obszar zainteresowania znajduje się powierzchniowo. W większości urządzeń USG z opcją elastografii istnieje istotna mocność zachowania minimalnej odległości (zwłaszcza około 1 mm) od powierzchni/skóry. W przypadku mniejszej odległości należy korzystać z żelowych nakładek(18-21). Powszechną praktyką w konwencjonalnym obrazowaniu elastografii, bez żelu jest stosowanie żelu bez, które jest otrzymane jest szerokie rozproszenie lub zróżnicowanie danych i informacji o elastyczności. Dla ścięgna Achillesa sugerowany, choć niestosowany powszechnie, standardowy wymiar obrazowania obejmuje głębokość sięgającą do trzech szerokości ściegna i długość wypełniającą około 3/4 ekranu. Na przekrojach poprzecznych ścięgna Achillesa w elastogramie powinno być zawarte ścięgno(20).

In most US systems a minimum distance from surface (usually about 1 mm) is needed to place the elastogram, so the use of gel pads or probe adaptors is necessary in such cases to increase the distance between the skin and probe(18-21). In conventional musculoskeletal imaging, the use of large amounts of gel is common practice in order to create an even surface and to reduce the amount of pressure on the tissue. However, when performing EUS for musculoskeletal applications, care should be taken not to include the gel in the elastogram, as it results in dramatic changes in the elastogram, making the tendons appear considerably stiffer compared to the gel (fig. 6).

Several artifacts may lead to misinterpretation of the images. These include fluctuant changes at the edges of the elastogram(17-19), red (soft) lines around calcifications, behind dense bone, at the superficial margin of homogenous lesions(20) and at the interfaces between tissues (e.g. between adjacent muscles). Characteristic artifacts are also associated with cystic masses, which appear as a mosaic of all levels of stiffness and with lesions adjacent to major vessels present, due to pulsations. The above artifacts should be excluded from the qualitative or quantitative scoring of the elastograms.

**Future perspectives**

EUS probably represents the most important technical development in the field of ultrasonography since Doppler imaging. The advantages of EUS include the...
niu, układy mięśniowo-szkieletowego jest wykorzystywanie dużych ilości żelu, w celu stworzenia równej powierzchni oraz zredukowania siły nacisku na tkanki. Ilość żelu w badanym obszarze może jednak wpływać na zmianę elastyczności badanych tkanek, obrazując ściśniętą jako struktury o większej sztywności niż żel (ryc. 6).

Artefakty mogą prowadzić do błędnej interpretacji obrazu. Zaliczyć do nich należy zmienną na krawędziach elastogramów (17-19), czerwone (miękkie) linie otaczające zwężenia, obszary znajdujące się za kościami, na granicy zmian jednorodnych oraz w przestrzeni mięszkowej pomiędzy sąsiadującymi mięśniami. Charakterystyczne artefakty dotyczą również zmian torbielowatych, które uwidaczniają się jako mozaika kolorów oraz zmian zlokalizowanych w sąsiedztwie dużych naczyń ze względu na udzieloną od naczyń pulsację. Powyższe artefakty nie powinny być uwzględniane podczas oceny jakościowej i ilościowej elastogramów.

Perspektywy EUS

Elastografia stanowi prawdopodobnie najważniejszy, od momentu wynalezienia badania dopplerowskiego, przelom technologiczny w dziedzinie ultrasonografii. Do zalet EUS należą: niskie koszty, nieinwazyjny charakter i potencjalnie szerszy kliniczny dostęp niż do innych metod służących do oceny elastyczności, takich jak elastografia MR. Wyniki badań wskazują, że EUS może być stosowana do oceny mechanicznych właściwości struktur mięśniowo-szkieletowych w warunkach klinicznych, jak również może być skuteczniej niż MR i klasyczne badanie USG w wykrywaniu subklinicznych zmian mięśni i ścięgien. EUS mogłaby znaleźć zastosowanie we wczesnej diagnostyce, monitorowaniu efektów rehabilitacji oraz jako narzędzie badawcze w ocenie zmian biomechanicznych i patofizjologicznych chorób mięśniowo-ścięgnowych.

Ograniczenia metody są tematem pojedynczych publikacji i obejmują powtarzalność wyników, brak oceny ilościowej, artefakty, różnice w technikach stosowanych przez różnych autorów. Co więcej, przydatność kliniczna EUS nie jest do końca udokumentowana. W większości przypadków EUS potwierdza zmiany widoczne w konwencjonalnym badaniu USG lub badaniu dopplerowskim. Zmiany uwidocznione w EUS, a niewidoczne w standardowym badaniu USG, były nieme klinicznie.

Z uwagi na powyższe kontrowersje metoda elastografii wymaga systematycznej analizy, a zwłaszcza standaryzacji nabлюдzeń, zgodnie z normami zaoferowanymi przez założycieli tej metody.

Low cost, and non-invasiveness and the potential of wider clinical availability than other methods of elasticity such as MR elastography. So far there is promising evidence that EUS can be used to assess the mechanical properties of musculoskeletal tissues in the clinical setting and that EUS may even be more sensitive than MR or US in detecting subclinical changes of muscle and tendon. Therefore EUS could potentially be valuable for early diagnosis, for monitoring during rehabilitation medicine and as a research tool for biomechanics and pathophysiology of musculotendinous disease.

Limitations include the limited amount of published evidence available and several technical issues limiting the reproducibility of the method, including lack of quantification, artifacts and variation in the application of the technique between users. Moreover, considerable criticism focuses on its potential clinical utility, as in most cases EUS showed changes already evident on conventional US or Doppler imaging, whereas EUS changes not evident on conventional imaging were clinically occult.

For all the above reasons, we think that a more systematic approach for the investigation of this new diagnostic tool should be undertaken, including standardization of EUS for soft tissue applications, selecting the proper indications for research and exploring newer software algorithms. Standardization is of paramount importance in order to achieve consistency in the application of the technique, which would allow for comparisons between findings. The indications for EUS should be established and would ideally focus on symptomatic but non-US evident disease or very early stages of disease, in order to investigate whether EUS is more sensitive than conventional imaging. Newer algorithms such as shear wave EUS or ARFI and quantitative EUS should be evaluated in comparison to strain EUS.

Conclusion

EUS in its current form remains a highly subjective technique with debatable clinical value, due to lack of standardization and limited evidence. Further multi-center controlled studies are needed including large populations and long term follow up together with correlation with histology, conventional imaging, biomechanical and clinical data, in order to describe the pattern and clinical significance of EUS findings. With proper standardization and further structured research, EUS may become a valuable supplementary tool in the investigation of musculoskeletal disease.
zacji w badaniu tkanek miękkich, ustalenia wskazań do badania oraz propozycji algorytmu postępowania diagnostycznego z uwzględnieniem EUS. Ujednolicone techniki badania EUS pozwoliły na porównywanie wyników. W celu porównania przydatności EUS ze standardowym badaniem B-mode wskazane były kolejne przepróbowanie badań porównawczych u pacjentów objawowych, ze zmianami niewidoczonymi w standardowym badaniu USG lub z wczesnymi stadium chorób. Z elastografią odkładając względów należy porównać nowsze techniki, takie jak elastografia fali poprzecznej (shear wave EUS) czy elastografia impulsu akustycznego (ARFI) i ilościowe badania EUS.

Wnioski

Elastografia w swojej obecnej formie pozostaje wysoce subiektywną techniką, o nieznanym jeszcze znaczeniu klinicznym, głównie z powodu braku standaryzacji metody oraz niedostatecznej liczby badań. Konieczne są dalsze długoterminowe i wielośrodowodowe badania na dużej liczbie osób i ich porównanie z obrazem histologicznym, tradycyjnym obrazowaniem B-mode oraz parametrami biochemicznymi i klinicznymi. Jeżeli warunki te zostaną spełnione, EUS może stać się cennym narzędziem uzupełniającym dotychczasowe badania patologii układu mięśniowo-szkieletowego.

Piśmiennictwo/References

1. Hall TJ: AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in US: beyond the basics: elasticity imaging with US. Radiographics 2003; 23: 1657–1671.
2. Garra BS: Imaging and estimation of tissue elasticity by ultrasound. Ultrasound Q 2007; 23: 255–268.
3. Garra BS: Elastography: current status, future prospects, and making it work for you. Ultrasound Q 2011; 27: 177–186.
4. Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, Yazdi Y, Li X. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. Ultrasound Imaging 1991; 13: 111–134.
5. Lerner RM, Huang SR, Parker KJ: “Sonoelasticity” images derived from ultrasound signals in mechanically vibrated tissues. Ultrasound Med Biol 1990; 16: 231–239.
6. Itoh A, Ueno E, Tohno E, Kamma H, Takahashi H, Shinya T et al.: Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis. Radiology 2006; 239: 341–350.
7. Pallwein L, Mitterberger M, Struve P, Pinggera G, Horninger W, Bartsch G et al.: Real-time elastography for detecting prostate cancer: preliminary experience. BJU Int 2007; 100: 4194–4200.
8. Dughe M, Bae U, Richardson ML, Dubinsky TJ, Minoshima S, Kim Y: Differential diagnosis of thyroid nodules with US elastography using carotid artery pulsation. Radiology 2008; 248: 662–669.
9. Thomas A, Kümmel S, Gemeinhardt O, Fischer T: Real-time sonoelastography of the cervix: tissue elasticity of the normal and abnormal cervix. Acad Radiol 2007; 14: 193–200.
10. Satozou A, Vilmann P, Hassan H, Gorurencsu F: Analysis of endoscopic ultrasound elastography used for characterization and differentiation of benign and malignant lymph nodes. Ultraschall Med 2006; 27: 535–542.
11. Janssen J, Schlörer E, Greiner L: EUS elastography of the pancreas: feasibility and pattern description of the normal pancreas, chronic pancreatitis, and focal pancreatic lesions. Gastrointest Endosc 2007; 65: 971–978.
12. Friedrich-Rust M, Ong MF, Herrmann E, Dries V, Samaras P, Zeuzem S et al.: Real-time elastography for noninvasive assessment of liver fibrosis in chronic viral hepatitis. AJR Am J Roentgenol. 2007; 188: 758–764.
13. Levinson SF, Shinnagawa M, Sato T: Sonoelastic determination of human skeletal muscle elasticity. J Biomech. 1995; 28: 1145–1154.
14. Li Y, Sneede JK: Elastography: modality-specific approaches, clinical applications, and research horizons. Skeletal Radiol 2011; 40: 389–397.
15. Lathila P, Reddy MC, Reddy KJ: Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience. Korean J Radiol 2011; 12: 365–375.
16. Park GY, Kwon DR: Application of real-time sonoelastography in musculoskeletal diseases related to physical medicine and rehabilitation. Am J Phys Med Rehabil 2011; 90: 875–886.
17. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DF: Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. Clin Radiol 2009; 64: 1196–1202.
18. De Zordo T, Chem R, Smekal V, Feuchtner G, Reinidl M, Fink C et al.: Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendinopathy and comparison to healthy volunteers. Ultraschall Med 2010; 31: 394–400.
19. De Zordo T, Fink C, Feuchtner GM, Smekal V, Reinidl M, Klauser AS: Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons. AJR Am J Roentgenol 2009; 193: W134–W138.
20. Klauser AS, Fischingerbauer R, Jaschke WR: Is sonoelastography of value in assessing tendons? Semin Musculoskelet Radiol 2010; 14: 323–333.
21. De Sponsen LM, Silvestri E, Cimmino MA: Sonoelastography in the evaluation of painful Achilles tendon in amateur athletes. Clin Exp Rheumatol 2010; 28: 373–378.
22. De Zordo T, Lil SR, Fink C, Feuchtner GM, Jaschke W, Bellmann-Weiker R et al.: Real-time sonoelastography of lateral epicondylitis: comparison of findings between patients and healthy volunteers. AJR Am J Roentgenol. 2009; 193: 180–185.
23. Niitsu M, Michiizaki A, Endo A, Takei H, Yanagisawa O: Muscle hardness measurement by using ultrasound elastography: a feasibility study. Acta Phys Med Rehabil 2011; 52: 99–105.
24. Ariji Y, Katsumata A, Hiraizwa Y, Izumi M, Iida Y, Goto M et al.: Use of sonographic elastography of the masseter muscles for optimizing mass-sage pressure: a preliminary study. J Oral Rehabil 2009; 36: 627–635.
25. Detorakis ET, Drakonaki EE, Tsilimbaris MK, Pallikaris IG, Giarmenitis S: Real-time ultrasound elastographic imaging of ocular and periocular tissues: a feasibility study. Ophthalmic Surg Lasers Imaging 2010; 41: 135–141.
26. Botar-Jid C, Damian L, Dudea SM, Vasilescu D, Rednic S, Badea R: The contribution of ultrasound sonography and sonoelastography in assessment of myositis. Med Ultrason 2010; 12: 120–126.
27. Drakonaki EE, Allen GM: Magnetic resonance imaging, ultrasound and real-time ultrasound elastography of the thigh muscles in congenital muscle dystrophy. Skeletal Radiol 2010; 39: 391–396.
28. Sikdar S, Shah JP, Gebrzeab T, Yen RH, Gilliams E, Danoff J et al.: Novel applications of ultrasound technology to visualize and characterize myofascial trigger points and surrounding soft tissue. Arch Phys Med Rehabil 2009; 90: 1829–1838.
29. Vasilescu D, Vasilescu D, Dudea S, Botar-Jid C, Sfrangeu S, Cosma D: Sonoelastography contribution in cerebral palsy spasticity treatment assessment, preliminary report: a systematic review of the literature apropos of seven patients. Med Ultrason 2010; 12: 306–310.
30. Grainger AJ: Highlights of the European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR) annual meeting 2010. Skeletal Radiol 2011; 40: 137–139.
31. Schreiber V, Smekal V, De Zordo T, Fink C, Feuchtner G, Klauser A: Real-time sonoelastography in rotator cuff imaging and comparison to magnetic resonance imaging as gold standard. RSNA 2009, http://rsna2009.rsna.org/search/event_display.
32. Adres: http://www.hitachi-medical-systems.eu/fileadmin/hitachi_en/downloads/hi-rte-publications-and-communications-clinical-abstracts--musculoskeletal-applications-11-08-10.pdf.