

# Kas-İskelet Sistem Uygulamalarında Ultrason Elastografi

## Ultrasound Elastography for Musculoskeletal Applications

<sup>1</sup>Zeynep İlerisoy Yakut, <sup>2</sup>Aynur Turan, <sup>1</sup>Mehmet Akif Teber

<sup>1</sup>Ankara Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyoloji A.D., Ankara  
<sup>2</sup>Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyoloji A.D., Ankara

### Özet

Ultrason Elastografi (UE), dokunun mekanik özelliklerini değerlendiren bir metod olup, dokudaki yer değiştirmenin ultrasonografi (US) ile belirlenmesi esasına dayanır. Pek çok UE metodu olmakla birlikte klinik uygulamada gerilim elastografi (GE) en sık kullanılanıdır ve dokunun gerçek zamanlı incelenmesine imkan sağlar. UE'nin kas-iskelet sisteminin(KİS) değerlendirilmesindeki önemi, patolojilerin erken teşhisine yardımcı olması ve tedaviyi yönlendirmesi açısından giderek artmaktadır. Bu derleme, klinikte kullanılan UE teknikleri, UE'nin kas-iskelet sisteminde kullanımlarına ilişkin yayınlanmış makaleler, teknik ile ilgili sınırlılıklar ve gelecek ile ilgili görüşleri içermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kas iskelet sistemi, ultrason elastografi.

### Abstract

Ultrasound elastography (EUS) is a method to assess the mechanical properties of tissue, by applying stress and detecting tissue displacement using ultrasound. There are several EUS techniques used in clinical practice; strain (compression) EUS is the most common technique that allows real-time visualisation of the tissue. The importance of EUS in evaluation of musculoskeletal system is increasing since it helps out early diagnosis of diseases and guide the therapy. This review includes the various EUS techniques available for clinical use, presents the published reports on musculoskeletal applications of EUS and discusses the technical limitations and future perspectives of this method in the assessment of the musculoskeletal system.

**Key words:** Musculoskeletal system, ultrasound elastography

### GİRİŞ

UE, yakın zamanda geliştirilen US temelli bir teknik olup, dokunun mekanik özelliklerini kalitatif, görsel ya da kantitatif olarak belirler (1,2). İlk olarak 1987 yılında Krouskop ve ark.larınca uygulanmıştır (3). Bu US tekniği, B-mod incelemedeki gibi akustik empedansı ya da renkli Doppler ultrasonografideki (RDUS) gibi vasküler kan akımını ölçmez. Dokunun sertliği ile ilgili bilgi sağlaması sayesinde US görüntülemeye yeni bir boyut getirmiştir. GE en sık kullanılan yöntem olup pek çok doku ve organda başarılı bir şekilde uygulanmıştır (4-8). Dışardan basınç uygulanınca yumuşak dokular fazla, sert dokular daha az deforme olur. Bu bilgi ekranda renkli olarak kodlanır. Çoğu UE sisteminde mavi; sert, kırmızı; yumuşak ve yeşil de; ara renk olarak kodlanır. KİS hastalıklarında, dokunun biomekanik özelliklerinde değişiklikler olur. Kas ve tendonların elastografi ile invitro incelenmesi 1990'ların başlarında yapıldı. Elastografinin ticari ultrason sistemlerine girişi ile birlikte klinik araştırmalar artarak devam etmektedir (9-29).

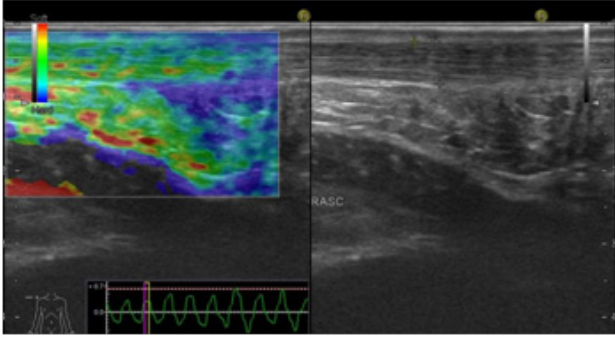
### Ultrason Elastografi teknikleri

UE teknikleri, basıncın uygulanma biçimine, dokudaki yer değiştirme özelliklerine ve görüntü oluşturma yöntemine göre farklılıklar göstermektedir (2). Klinik uygulamada başlıca gerilim (kompresyon), shear-wave, transiyent ve akustik radyasyon force elastografisi kullanılmaktadır (2-9).

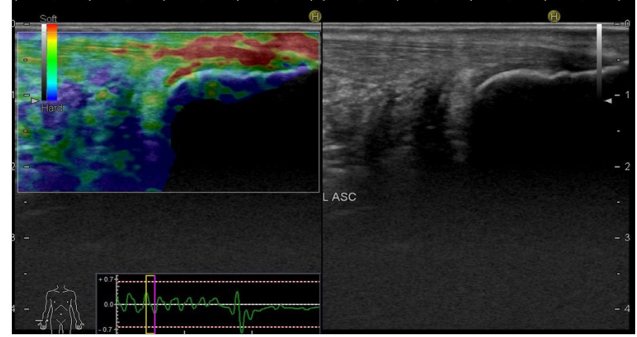
**1.Gerilim (kompresyon) Elastografisi:** En sık kullanılan yöntemdir Bu yöntemde elle ultrason probuna ritmik hareketlerle kuvvet uygulanır ya da incelemede dokunun yeri uygunsa (tiroid gibi) damar

atımı ve solunum gibi fizyolojik hareketler kullanılabilir. Uygulanılan kuvvet dokuda aksiyel yer değiştirmeye neden olur ve bu da bası öncesi ve sonrası oluşan ekolar karşılaştırılarak hesaplanır. Hooke kuralına göre geliştirilmiş Young'ın elastik modülü, doku sertlik ölçüm birimidir. Uygulanan basıncın ölçülen gerilime oranıdır ( $E=\text{basınc}/\text{gerilim}$ ). Gerilim, kuvvetin neden olduğu boyut ya da şekil değişikliğidir. GE ile bir dokudaki gerilim diğer dokudakine oranlanarak ekranda B-mod görüntünün yanında renk haritası olarak gösterilir. Bu yöntemde elle uygulanan basınç farklılıkları, doku derinliği ve probun doğru uygulanımı gibi faktörler dokuda yer değiştirme oranlarında farklılıklara neden olmaktadır. Genellikle sert dokular; mavi, yumuşak dokular; kırmızı ve ara sertlikteki dokular; sarı/yeşil olarak kodlanır. Bu yöntemde elastisite ölçümü kalitatif ya da yarı kantitatif (2). Elastogram görsel olarak değerlendirilebileceği gibi yarı-kantitatif olarak incelenen alandaki gerilimin, referans alanına (yağ doku gibi) oranı değerlendirilebilir. Literatürde GE meme, prostat, karaciğer, pankreas, tiroid, serviks ve lenf nodlarında kanser alanını ve varlığını ortaya koymak için kullanılmıştır (4-8). Son zamanlarda GE KİS'de kullanılmaya başlanmıştır(9-29).

**2.Akustik Radyasyon Force Impuls(ARFI):** GE'nin bir çeşidi olup dokuya dışarıdan bası uygulamak yerine içerden bir ultrason pulsu ile uyarılır. Kısa zamanlı puls ekolarının uygulanmasıyla dokuda yer değişikliği oluşur. Bunun da referans görüntü ile karşılaştırılması ARFI'nin temelini oluşturur (9-30). Bu teknikle elastogram gri ya da renkli kodlanabilir. Dokunun sertliği hakkında kalitatif bilgi verir. Dışarıdan elle basıncın uygulanması derin dokuların da incelenmesini sağlar (9-30).



**Şekil 1.** Ultrason elastografide aşil tendonu mavi ve yeşil alanlar içeren inhomojen görünümde uzun bantlar şeklinde izlenmekte.



**Şekil 3.** Aşil tendonunda UE'de yumuşak alanları temsil eden kırmızı renk kodları görülüyor.

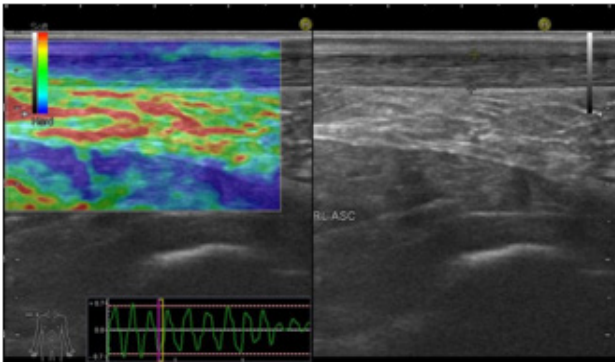
**3. Shear Wave (makaslama) Elastografi:** Ultrason pulsunun oluşturduğu aksiyel yer değiştirmeye dik makaslama dalgası oluşur ve konvansiyonel US'ye göre 10000 kat daha atenuedir (31). Bu makaslama dalga hızı kullanılarak dokunun elastisitesi ölçülebilir.  $E = 3 \times V^2$  formülü ile hesaplanır. E, kPa cinsinden Young modülü ve V, cm/sn cinsinden makaslama (shear-wave) hızıdır. Bu yöntemde doku basısına gerek olmadığından ve dokunun elastisitesi kPa cinsinden kantitatif ölçülebildiğinden daha avantajlıdır. Ancak makaslama dalgasının oluşması için belli bir derinlik gerekmektedir olup çok yüzeysel dokularda kullanılması ile ilgili sınırlılık vardır (9-31).

**Transient Elastografi:** Vibrasyon elastografi olarak da bilinir ve shear-wave elastografinin bir çeşididir. Ancak burada dışarıdan titreşim uygulayan bir cihaz vardır. Bu yöntemde dokudaki makaslama hızı ölçülür (32). Dokuda oluşan yansıyan dalgaları öncül dalgalardan ayırt etmek için titreşim kısa süreli verilir. Daha çok karaciğer incelemelerinde kullanılmaktadır (9-32).

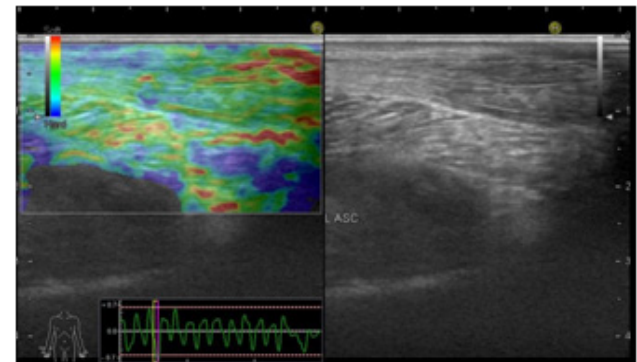
#### **Tendon İncelemelerinde Elastografi**

İskelet-kas incelemelerinde GE ile yapılan çoğu çalışma aşil tendonunda yapılmıştır. 50 sağlıklı aşil tendonunun incelendiği bir

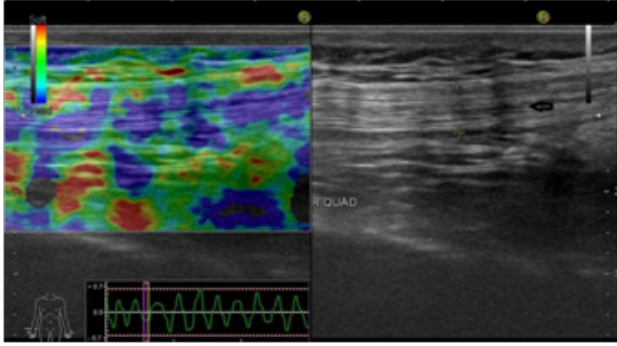
çalışmada normal aşil tendonunun iki ayrı elastografik patern gösterdiği ortaya kondu (12). Çoğu olguda (%62) tendonlarda inhomojenlik mevcuttu. Tendonda B-mod US ya da RDUS ile korele edilemeyen uzun bantlar ya da spotlar şeklinde yumuşak alanlar mevcuttu (Şekil 1). Tendonların az bir kısmı ise homojen sert olarak izlendi(12) (Şekil 2). Aynı grubun normal (asemptomatik) ve anormal (septomatik) tendonlarla yaptığı bir diğer çalışmada farklı olarak normal tendonlar % 86-93 olguda homojen sert, % 7-12 olguda hafif yumuşak (sarı) ve %0-1.3 olguda belirgin yumuşak (kırmızı) bulundu. Semptomatik tendonların %57'si belirgin yumuşak, %11'i hafif yumuşak % 32'si sert bulundu. Normal tendonlardaki farklılık genellikle orta kesimde mevcut olup US bulguları ile bağlantılı değildi. Hafif yumuşak (sarı) alanlar da US ile ilişkisiz bulundu. Belirgin yumuşak alanlar (kırmızı) US 'de patoloji izlenen alanlardı. Sonuçta yazarlar aşil tendonunda sadece belirgin yumuşak alanların anormal olduğu sonucuna vardılar (13,14)(Şekil 3). Normal tendonlarda elastografideki farklılıklar tam olarak anlaşılammıştır. UE'nin erken dönemde hasarlanma alanlarını gösterdiği ya da dokunun kollajen arayüzleri arasındaki nonaksiyel hareketine bağlı olabileceği iddia edilmiştir (12-15). Henüz histopatolojik inceleme ya da takip



**Şekil 2.** Tendon yapıları ultrason elastografide homojen sert olarak da (mavi) izlenebilir.



**Şekil 4.** Aşil tendonu düzeyinde muskulotendinöz bileşkede tendon yapısı daha sert(mavi-yeşil) olarak izlenirken, kas dokusu mozaik inhomojen alanlar olarak izleniyor.



**Şekil 5.** Uygulama yüzeye tam dik olarak gerçekleştirilmezse anizotropi (artefakt) oluşur.

çalışmaları yapılmadığından bu öngörüler netlik kazanamamıştır. Zordo'nun çalışmasından farklı olarak GE ile aşil tendonlarında yapılan başka bir çalışmada aşil tendinopatisi olan 12 olguda normale göre artmış sertlik bulundu (16). Benzer şekilde aşil tendonunda tam kat rüptür sonrası cerrahi onarım yapılan 16 olgulu bir çalışmada doku sertliğinin arttığı ortaya kondu (33). Bu sonuçlar öncekilerin tam tersi olup hala bu konuda yeni araştırmalara olan ihtiyacı göstermektedir. Lateral epikondiliti olgularında yapılan bir çalışmada anormal ekstensör tendonlarda belirgin yumuşama izlendi ve elastografinin klinik ve US korelasyonu oldukça iyi idi (17). Shear-wave ve transient elastografi ile ilgili çalışmalar olsa da (34) klinik uygulamada bu teknikler yaygın olarak kullanılmamaktadır. Normal aşil ve patella tendonları shear wave elastografide homojen olarak sert olup gerilim elastografeye göre daha az fluktuasyon içermekte idi. Masseter, gastrocnemius, supraspinatus kasları ve aşil tendonlarının normal elastisite değerleri ile ilgili sadece bir çalışma bulunmaktadır (35).

### **Kas incelemelerinde Ultrason Elastografisi**

Normal ve patolojik kasların elastografisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Normal kasların elastografik özellikleri detaylı olarak çalışılmamıştır. Ancak gevşek pozisyonda kas özellikle periferinde yumuşak ve sert alanların dağıldığı (yeşil/sarı ya da mavi renkte) mozaik inhomojen izlendi (21,22) (Şekil 4). GE'nin egzersiz sırasında normal kasın elastisite haritasını doğru olarak oluşturduğu gösterildi (18). Yine literatürde normal masseter kas elastisitesinin cinsiyetlere göre farklılığını gösteren bir çalışma mevcuttur. Benzer şekilde periorbital rektus medialis ve lateralis kas elastisiteyi değişik pozisyonlarda incelenmiş ve pozisyonel farklılıkları gösterilmiştir (19,20). Bununla birlikte renklerdeki değişiklik neye dayanıyor ya da değişik kaslarda ve değişik kişilerde renk paterni benzer mi henüz netlik kazanamamıştır. Patolojik kaslarla ilgili çalışmalar dejeneratif ve nöromusküler hastalıkları içermektedir. Enflamatuar miyozit olgularında etkilenen kasta fibrozise bağlı artmış elastisite ya da yağlı infiltrasyona bağlı azalmış sertlik izlendi. GE bulguları ile serum değerleri arasında bağlantı bulundu. Sonuçta enflamatuar miyozitin tanı, evreleme ve takibinde UE'nin faydalı olabileceği ortaya kondu (21). Konjenital Bethlem miyopatisi ile ilgili bir olgu bildirisinde UE'nin kastaki distrofik değişiklikleri US ve manyetik rezonans görüntülemeye (MRG) göre daha erken gösterdiği ortaya kondu (22). Başka bir çalışmada vibrasyon elastografisi ve RDUS miyofasiyel tetik noktalarını objektif olarak belirlediği ve tedavi için hedef

noktaları ortaya koyduğu gösterildi (23).

Serebral palsili çocuklarda yapılan bir çalışmada UE'nin kontrakte kasın elastisitesindeki değişiklikleri göstererek botulinum toksin enjeksiyonu için optimal yeri bulmanın sağlanabileceği belirtildi (24). Belirtilen tüm bu çalışmalarda UE'nin distrofik, miyopatik ve spastik kaslarda erken teşhis, evreleme ve tedaviyi yönlendirmede rolü olduğu gösterilmektedir. Rotator kas atrofi ve yırtıklarının UE ile erken teşhis ve evrelemesi ile ilgili yayınlanmış makaleler bulunmasına karşın (36) yayınlanmış hiç vaka-kontrol çalışması bulunmamaktadır.

### **Romatolojik Hastalıklarda Ultrason Elastografisi**

Enflamatuar Hastalıklarda UE'nin kullanımına ilişkin sınırlı veri bulunmaktadır. Yine bir olgu çalışmasında polimiyaljiya romatikanın ayırıcı tanısında önemli olan bursit ile B-modda tanınamayan sert supraspinatus kası ayırımının UE ile mümkün olduğu ortaya kondu (25). Sistemik sklerozda UE, dermisdeki kalınlaşmanın en bariz olduğu ön kolda deri tutulumu gösterildi (27). Vaka seri çalışmasında UE ile daha sert olan romatoid nodülleri tofusten ayırmanın mümkün olduğu gösterildi (28). Enflamatuar sinovit orta derece sertken, enfeksiyöz sinovit (tüberküloz) daha yumuşak olarak bulundu. Yağlı villöz proliferasyon ve pigmentte villosoduler sinovit, sinovyal sarkoma göre daha yumuşak bulundu (10). Boyun yumuşak doku kitleleri ile yapılan bir çalışmada, lipom, vasküler malformasyonlar ve tiroglossal kist yumuşak bulunurken; nörojenik tümör, dermoid ya da seboreik kistler daha sert bulundu. Apseler yoğun içerikleri nedeniyle ara sertlikte bulundu (29). Yakın zamanda yapılan ankilozan spondilitli olguların aşil tendon elastografilerinin normal olgularla karşılaştırıldığı bir çalışmada sağlıklı olanlara göre aşil tendonunun distalının daha fazla etkilendiği ve bu durumun tendon kalınlaşması ile ilişkili olduğu ortaya kondu (37).

### **UE'nin Sınırlılıkları:**

UE uygulamalarındaki ana sorun teknik farklılıklardır. Bulgularda olduğu gibi artefakt ve sınırlılıklar da büyük oranda tekniğe bağlıdır. GE kullanıcıya bağlı bir yöntem olduğundan uygulayıcıya göre farklılıklar oluşabilmektedir. Dokuya çok yüksek ya da düşük basınç uygulanmamalıdır. Çoğu UE sisteminde görsel olarak yeterli basınç uygulayıp uygulanmadığını gösteren ekran barı bulunmaktadır. Geçici dalgalanmaların önüne geçmek için, elastografi ölçümleri tek statik görüntüler yerine tüm sine görüntülerin incelenmesi ile yapılmalıdır (12,15,29). En az üç kompresyon-relaksasyon döngüsünden alınan görüntüler incelenerek elastografi değerlendirilmelidir. Döngünün ortasından alınan kompresyon fazı seçilmeli döngünün baş ya da sonundan elastografi ölçümleri yapılmamalıdır (13,15). Başka bir problem GE'de kantitatif ölçümlerin olmamasıdır. Yarı kantitatif ölçümler (gerilim oranları) (12) ve elastografi paternlerinin görsel değerlendirilmesine dayanan kantitatif ölçümler gibi değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlarda ticari olarak hazır software programları kullanılmaktadır [20, 21]. GE tüm bu nedenlerden dolayı tekrarlanabilirliği az, yorumlamasında güçlük ve farklılık olabilen bir yöntemdir. Elastografi ile KİS inceleyeceğinde; özellikle alttaki dokuları (bursalardaki ve sinovyal kavitelelerdeki sıvıları) etkilememek için olabildiğince hafif basınç uygulanmalı uygulama yüzeye dik olarak gerçekleştirilmeli anizotropiden kaçınılmalıdır (13,15,33) (Şekil 5).

Tendonlar incelendiğinde özellikle longitudinal düzlemdeki görüntülerin alınmasına dikkat etmek gerekir. Çünkü aşil tendonuyla yapılan bir çalışmada; probun bir tarafına fazla basınç uygulanmasına ya da probun düzlem dışı hareketine bağlı olarak, artefaktların transvers görüntülerde daha fazla izlendiği ortaya kondu (12). Homojen olmayan

basınca bağlı olarak görüntünün kenarlarındaki elastisite değişmektedir (12-15). İncelenen alanın anatomisi ile ilgili zorluk ve sınırlamalar olabilir. Kemiğe komşu yapılar (posterior tibial ve peroneal tendonları malleol seviyesinde incelerken) ve yüzeysel kitlelerin UE ile incelenmesinde her alana eşit basınç uygulamak zordur (29). İncelenen doku alanının çevresindeki dokunun sertliği de elastografiyi etkilemektedir. KİS incelemelerinde farklı elastikliğe sahip dokular (yağ, tendon, kemik, kas) bulunduğundan geniş spektrumda elasto verileri oluşmaktadır. Başka bir sorun da prob ile incelenen doku arasındaki mesafedir. Çoğu KİS uygulamalarında incelenen doku çok yüzeyseldir. Genelde elastogram kutusunu yerleştirmek için deriden minimum 1.2 mm derinlik gerekmektedir. Bunun için zayıf kişilerde prob adaptörü ya da jel petleri kullanılarak deri ve prob arası mesafe artırılmalıdır (13-16).

### Gelecek ile ilgili görüşler

RDUS'den beri US'deki en önemli gelişme UE'dir. Doku sertliğini ölçen MR elastografi gibi yöntemlere göre daha ucuz ve noninvaziv olup geniş kullanım alanına sahiptir. İlk veriler UE'nin kas ve tendonlardaki subklinik değişiklikleri göstermede MR ve B-mod US'den daha hassas olduğunu göstermiştir. UE muskulotendinöz hastalıkların patofizyoloji ve biomekaniklerini göstermede kullanılabilir. UE olan büyük ilgiye rağmen yayıncı sınırlı sayıda olup, çoğu olgu bildirim veya az sayıda olgunun olduğu kontrolsüz çalışmalardır. Kantifikasyon yöntemlerinin yetersizliği, artefaktlar, farklı kullanıcılara bağlı teknik uygulamadaki farklılıklar yöntemin güvenilirliğini sınırlamaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı UE'nin daha sistematik ve yapılandırılmış bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini düşünüyoruz. Öncelikle, yumuşak doku uygulamalarında elastogramın boyutu, adaptör/pet/jel kullanımı, skorlama sistemi gibi parametrelerin standartizasyonu gerekmektedir. Böylece çalışmaları kıyaslamak ve tekniğin uygulanmasını sabitlemek mümkün olabilir. UE'nin yüzeysel dokularda kullanımı ile ilgili teknik zorlukları aşmak için klinik uygulayıcılar ve endüstrisi ile ilgililenler optimize protokoller geliştirmelidir. İkinci olarak, UE'nin kullanım endikasyonları dikkatlice belirlenmelidir. Özellikle klinik olarak semptomatik ve US'de belirgin bulgusu olmayan olgular ya da hastalığın erken evresindeki olgular seçilebilir. UE'nin US'ye göre klinik olarak önemli değişiklikleri göstermede üstün olup olmadığı araştırılmalıdır. Çok merkezli, uzun dönem, kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmalar değişik yaş gruplarından oluşan kalabalık grupları içermeli, uzun dönem takipler yapılmalıdır. UE bulgularını ve bunların klinik önemini tanımlamak için, US, MR ve laboratuvar, biomekanik ve klinikle ilgili korele edilmelidir. Son olarak kantitatif ölçümlere imkan veren shear-wave ya da ARFI gibi daha yeni metodlar kalitatif GE ile karşılaştırılmalıdır.

Sonuç olarak; standartizasyondaki eksiklik ve araştırmalardaki sınırlılığa bağlı olarak GE'nin klinik değeri tartışmalıdır. Uygun standartizasyon, ileri yapılandırılmış araştırmalarla KİS değerlendirmede değerli bir yöntem olabilir.

### KAYNAKLAR

- Hall TJ. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in US: beyond the basics: elasticity imaging with US. *Radiographics* 2003;23:1657-71.
- Garra BS. Elastography: current status, future prospects, and making it work for you. *Ultrasound Q* 2011;27:177-86.
- Krouskop TA, Dougherty DR, Vinson FS. A pulsed Doppler ultrasonic system for making noninvasive measurements of the mechanical properties of soft tissue. *J Rehabil Res Dev* 1987;24:1-8.
- Itoh A, Ueno E, Tohno E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis. *Radiology* 2006;239:341-50.
- Pallwein L, Mitterberger M, Struve P, et al. Real-time elastography for

- detecting prostate cancer: preliminary experience. *BJU Int* 2007;100:42-6.
- Dighe M, Bae U, Richardson ML, et al. Differential diagnosis of thyroid nodules with US elastography using carotid artery pulsation. *Radiology* 2008;248:662-9.
- Saftoiu A, Vilmann P, Hassan H, Gorunescu F. Analysis of endoscopic ultrasound elastography used for characterisation and differentiation of benign and malignant lymph nodes. *Ultraschall Med* 2006;27:535-42.
- Friedrich-Rust M, Ong MF, Herrmann E et al. Real-time elastography for noninvasive assessment of liver fibrosis in chronic viral hepatitis. *AJR Am J Roentgenol* 2007;188:758-64.
- Li Y, Snedeker JG. Elastography: modality-specific approaches, clinical applications, and research horizons. *Skeletal Radiol* 2011;40:389-97.
- Lalitha P, Reddy MCh, Reddy KJ. Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience. *Korean J Radiol* 2011;12:365-75.
- Park GY, Kwon DR. Application of real-time sonoelastography in musculoskeletal diseases related to physical medicine and rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil* 2011;in press. E-pub ahead of print 16 August 2011.
- Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. *Clin Radiol* 2009;64:1196-202.
- De Zordo T, Chem R, Smekal V, et al. Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendons and comparison to healthy volunteers. *Ultraschall Med* 2010;31:394-400.
- De Zordo T, Fink C, Feuchtner GM, . Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:W134-8.
- Klauser AS, Faschingbauer R, Jaschke WR. Is sonoelastography of value in assessing tendons? *Semin Musculoskelet Radiol* 2010;14:323-33.
- De Sconfienza LM, Silvestri E, Cimmino MA. Sonoelastography in the evaluation of painful Achilles tendon in amateur athletes. *Clin Exp Rheumatol* 2010;28: 373-8.
- De Zordo T, Lill SR, Fink C, Feuchtner GM, Jaschke W, Bellmann-Weiler R, et al. Real-time sonoelastography of lateral epicondylitis: comparison of findings between patients and healthy volunteers. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:180-5.
- Niitsu M, Michizaki A, Endo A, Takei H, Yanagisawa O. Muscle hardness measurement by using ultrasound elastography: a feasibility study. *Acta Radiol* 2011;52: 99-105.
- Ariji Y, Katsumata A, Hiraiwa Y, et al. Use of sonographic elastography of the masseter muscles for optimizing massage pressure: a preliminary study. *J Oral Rehabil* 2009;36:627-35.
- 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;41:135-41.
- Botar-Jid C, Damian L, Dudea SM, Vasilescu D, Rednic S, Badea R. The contribution of ultrasonography and sonoelastography in assessment of myositis. *Med Ultrason* 2010;12:120-6.
- Drakonaki EE, Allen GM. Magnetic resonance imaging, ultrasound and real-time ultrasound elastography of the thigh muscles in congenital muscle dystrophy. *Skeletal Radiol* 2010;39:391-6.
- Sikdar S, Shah JP, Gebreab T, et al. Novel applications of ultrasound technology to visualize and characterize myofascial trigger points and surrounding soft tissue. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90: 1829-38.
- Vasilescu D, Vasilescu D, Dudea S, Botar-Jid C, Sfra'ngueu 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;12:306-10.
- Silvestri E, Garlaschi G, Bartolini B, et al. Sonoelastography can help in the localization of soft tissue damage in polymyalgia rheumatica (PMR). *Clin Exp Rheumatol* 2007;25:796.
- Cimmino MA, Grassi W. What is new in ultrasound and magnetic resonance imaging for musculoskeletal disorders? *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2008;22:1141-8.

27. Iagnocco A, Kaloudi O, Perella C, et al. Ultrasound elastography assessment of skin involvement in systemic sclerosis: lights and shadows. *J Rheumatol* 2010;37:1688–91.
28. Sconfienza LM, Silvestri E, Bartolini B, Garlaschi G, Cimmino MA. Sonoelastography may help in the differential diagnosis between rheumatoid nodules and tophi. *Clin Exp Rheumatol* 2010;28:144–5.
29. Bhatia KS, Rasalkar DD, Lee YP, et al. Real-time qualitative ultrasound elastography of miscellaneous non-nodal neck masses: applications and limitations. *Ultrasound Med Biol* 2010;36:1644–52.
30. Goertz RS, Zopf Y, Jugl V, Heide R, Janson C, Strobel D, et al. Measurement of liver elasticity with acoustic radiation force impulse (ARFI) technology: an alternative noninvasive method for staging liver fibrosis in viral hepatitis. *Ultraschall Med* 2010;31:151–5.
31. Bercoff J, Tanter M, Fink M. Supersonic shear imaging: a new technique for soft tissue elasticity mapping. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 2004;51:396–409.
32. Sandrin L, Fourquet B, Hasquenoph JM, et al. Transient elastography: a new noninvasive method for assessment of hepatic fibrosis. *Ultrasound Med Biol* 2003;29:1705–13.
33. Tan S, Kudaş S, Özcan AS, İpek A, Karaoğlanoğlu M, Arslan H, Bozkurt M. Real-time sonoelastography of the Achilles tendon: pattern description in healthy subjects and patients with surgically repaired complete ruptures. *Skeletal Radiol*. 2012;41(9):1067-72.
34. Gennisson JL, Deffieux T, Mace E, Montaldo G, Fink M, Tanter M. Viscoelastic and anisotropic mechanical properties of in vivo muscle tissue assessed by supersonic shear imaging. *Ultrasound Med Biol* 2010;36:789–801.
35. Arda K, Ciledag N, Aktas E, Aribas BK, Kose K. Quantitative assessment of normal soft-tissue elasticity using shear-wave ultrasound elastography. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197:532–6.
36. 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*; 1 2009.
37. Turan A, Tuğan A, Mercan R, Teber MA, Tezcan ME, Bitik B, Goker B, Haznedaroğlu S. Real-time sonoelastography of Achilles tendon in patients with ankylosing spondylitis. *Skeletal Radiol* 2013;42(8):1113-8.