



# Kas İskelet Elastografi Uygulamaları

Halit Nahit Şendur , Cem Yücel 

## ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Elastografi teknikleri
- Teknik noktalar
- Kaslarda elastografi uygulamaları
- Tendonlarda elastografi uygulamaları
- Ligamentler ve sinirlerde elastografi uygulamaları
- Tümörlerde elastografi uygulamaları

Şendur HN, Yücel C. Kas İskelet Elastografi Uygulamaları. Trd Sem 2019; 7: 63-74.

## Giriş

Kas iskelet sistemine yönelik ultrasonografi (USG) incelemelerinin sıklığı, teknolojik gelişmelerle birlikte zaman içerisinde artmış ve USG, bu sisteme ait çeşitli patolojik durumların değerlendirmesinde, MR incelemeler ile karşılaştırılabilir sonuçları sayesinde günlük kullanıma girmiştir [1, 2]. USG'nin düşük maliyet, kolay ulaşılabilirlik, göreceli olarak kısa inceleme süresi, kontrateral taraf ile dinamik gerçek zamanlı karşılaştırma olanağı gibi kendine özgü avantajları kas iskelet sistemi incelemeleri için kullanımını kolaylaştırmıştır [3].

Elastografi, dokuların biyomekanik özelliklerinin USG aracılığıyla niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Bu görüntüleme yöntemi, B-mod incelemenin sağladığı akustik empedans ve Doppler incelemenin sağladığı vasküler akım bilgilerinden bağımsız olarak dokuların sertliği hakkında bilgi verir [4, 5].

Sonoelastografinin kullanıma girmesi kas iskelet sistemi incelemelerine farklı bir boyut kazandırmış ve sürekli bir gelişim gösteren bu görüntüleme yönteminin, tanısal doğruluk, güvenilirlik ve tekrar edilebilirliği üzerine çok sayıda çalışma literatürde yerini almıştır. Bu yazıda, kas iskelet sistemi incelemelerinde kullanılan temel sonoelastografi teknikleri genel hatlarıyla ele alınacak ve bu tekniklerin kas iskelet sistemi üzerindeki uygulamalarından ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

## Elastografi Teknikleri

EFSUMB (European Society of Ultrasound in Medicine and Biology)'un 2013 yılında sonoelastografinin klinik uygulamalarına ilişkin yayınladığı kılavuzda, kas ve tendon yapısının değerlendirilmesinde kompresyon elastografi ve shear wave elastografi tekniklerinin kullanılabileceği belirtilmiştir [6]. Bu iki tekniğin de farklı fizik prensiplerine bağlı olarak

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

✉ Halit Nahit Şendur • hsendur@gmail.com

© 2019 Türk Radyoloji Derneği.  
Tüm hakları saklıdır.

doi: 10.5152/trs.2019.708  
turk radyolojiseminerleri.org

avantajları, artefaktları, kısıtlamaları ve de bazı spesifik klinik uygulamalar için uygunlukları bulunmaktadır [6, 7].

### Kompresyon (Strain) Elastografi

Kompresyon elastografi tekniği, kompresyon uygulanan dokuda strain (gerinim, yer değiştirme) oluşması temeline dayanmaktadır. Sert dokularda yer değiştirme (strain) daha az iken, yumuşak dokularda daha fazladır. Kompresyon uygulaması öncesi ve sonrasında elde edilen eko verileri karşılaştırılarak dokuların yer değiştirme oranları hesaplanır. Kompresyon elastografi sistemlerinde, uygulanan baskının miktarı ekranda bir gösterge ile gösterilir. Bu görüntüleme tekniğinde, dokuların yer değiştirme bilgisinin konvansiyonel B-mod görüntüleri üzerine eklenmesi ile oluşturulan, yer değiştirme dağılım haritası olarak ifade edebileceğimiz, “elastogram” görüntüleri elde edilir. Bu görüntülerde niteliksel değerlendirme yapılabilir. Çoğunlukla mavi renk sert dokuları, kırmızı renk yumuşak dokuları, yeşil ve sarı renkler ise orta sertlikte dokuları kodlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, strain oranı (strain ratio) olarak isimlendirilen ve değerlendirilmek istenilen doku ile referans bir dokunun (genellikle cilt altı yağ doku) ROI değerlerini oranlayarak yarı-niceliksel (semi-kantitatif) bir ölçüm değeri elde edilebilir [4, 5, 7].

### Shear-Wave Elastografi (SWE)

Dinamik elastografi olarak da adlandırılan bu görüntüleme yöntemi, kas iskelet sisteminin değerlendirildiği incelemelerde giderek artan sıklıkta kullanılmaktadır. Doku elastisitesinin, kullanıcının deneyiminden bağımsız ve niceliksel olarak ölçülmesine olanak tanıyan bir görüntüleme yöntemidir. Kısaca bu görüntüleme yönteminin fizik temelini açıklamak gerekirse; konvansiyonel ultrason dalgalarının akustik yayılım kuvveti, ses dalgalarının doku ile etkileşimi sırasında ultrason dalgalarına dik olarak transvers planda yayılım gösteren ve dokularda küçük yer değiştirmelere yol açan dalgalar (shear wave) oluşturur. Özel algorit-

malar kullanılarak (speckle tracking algorithm) dokuların yer değiştirme haritaları elde edilir. Bu haritalar da dokuların metre/saniye (m/s) ya da kilopaskal (kPa) cinsinden elastisite değerlerinin elde edilmesinde kullanılır. Sert dokularda daha hızlı, yumuşak dokularda ise daha yavaş hareket eden bu dalgaların (shear waves) hızı, longitudinal planda hareket eden konvansiyonel ultrason dalgalarına göre yaklaşık 1000 kat daha yavaş iken attenüasyonları ise yaklaşık 10000 kat daha hızlıdır. Kompresyon elastografi ile karşılaştırıldığında daha nesnel ve tekrar edilebilirliğinin daha iyi olmasının yanında, elle yapılan kompresyona gereksinim duyulmaması en önemli avantajları arasında yer almaktadır [2, 4, 8].

### Teknik Noktalar

Ultrason elastografide, inceleme tekniğinin elde edilecek görüntüler ve ölçümler üzerine önemli etkileri olabilmektedir. İncelemelerin güvenilirliğini ve tekrar edilebilirliğini arttırmak için bazı noktalara dikkat etmek gerekir.

Kompresyon elastografi tekniğinde incelenen dokuya dik olarak uygulanmayan kompresyon, elastisite değerlendirmesinde yanılmalara yol açabilir. Bu nedenle ultrason probu, her zaman incelenen dokuya dik olarak tutulmalıdır. Çok fazla ya da çok az kompresyon uygulamaktan kaçınmak gerekir. Tek bir statik elastogram görüntüsü üzerinden değerlendirme yapmak yerine en az üç kompresyon-relaksasyon fazını içeren sine-görüntü kaydedilmeli ve B-mod-elastogram görüntülerin en uyumlu olduğu an seçilerek değerlendirme yapılmalıdır. Bası kuvvetinin daha dengeli ve eşit dağılımını sağlayabilmek için incelenen doku, elastogram penceresinin ortasında yer almalıdır. Elastogram, her dokunun elastisitesini, elastogram penceresi içinde yer alan diğer dokulara göreceli olarak göstermektedir. Bu nedenle elastogram penceresinin boyutları, renk dağılımı ve buna bağlı olarak da değerlendirme üzerine etki edebilir. Yüzeysel dokuların değerlendirmesinde prob ve incelenen doku arasında belli bir mesafe (genellikle 3 mm) olması gerekmektedir [7]. Bu durumlarda jel pedler kullanılarak

prob ile incelenecek doku arasındaki mesafe arttırılabilir. Kas iskelet sistemi ultrasonografi incelemelerinde, dokular üzerine uygulanan basıncı azaltmak için bol miktarda jel kullanılır. Ancak elastografi incelemeleri gerçekleştirirken, elastogram penceresi içinde ultrason jelinin yer almamasına, değerlendirme üzerine önemli etkileri olabileceği ve dokuların daha sert olarak yorumlanmasına yol açabileceği için özellikle dikkat edilmelidir. İncelenecek bölgelerin anatomisine bağlı olarak da kısıtlamalar ve zorluklarla karşılaşılabilir göz önünde bulundurulmalıdır [4, 7]. Ayrıca, shear wave elastografi incelemeleri esnasında, kas ve tendonların prob ile uygulanabilecek basınç ile deformasyona uğrayabileceği ve buna bağlı olarak da shear wave elastografi ölçümlerinin etkilenebileceğini unutmamak gerekir [8].

### Kaslarda Elastografi Uygulamaları

Çeşitli kas dokularının elastisite özelliklerini belirlemeyi amaçlayan ve bazı değişkenlerin, kaslardan elde edilen elastisite ölçümleri üzerine etkilerini araştıran çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Botar-Jid ve ark. [9], myosit olgularında kompresyon elastografinin etkinliğini araştırdıkları çalışmalarında, elastografinin myosit olgularında yararlı olabileceğini göstermişlerdir. Elastografinin, konjenital muskuler tortikollis olgularında ultrasonografiye katkısının araştırıldığı bir çalışmada [10], özellikle sternokleidomastoid kasının izoekoik olduğu olgular için, değerlendirmeye elastografinin eklenmesinin taniya yardımcı olduğu bildirilmiştir.

Niitsu ve ark. [11], kasların sertlik düzeylerinde egzersiz sonrası ortaya çıkan değişiklikleri göstermeyi amaçladıkları çalışmalarında, egzersiz öncesinde ve sonrasında fleksör grup dirsek kaslarına ait sertlik ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, araştırmacılar egzersiz sonrasında ölçülen değerlerin, egzersiz öncesine göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığını bildirmişlerdir.

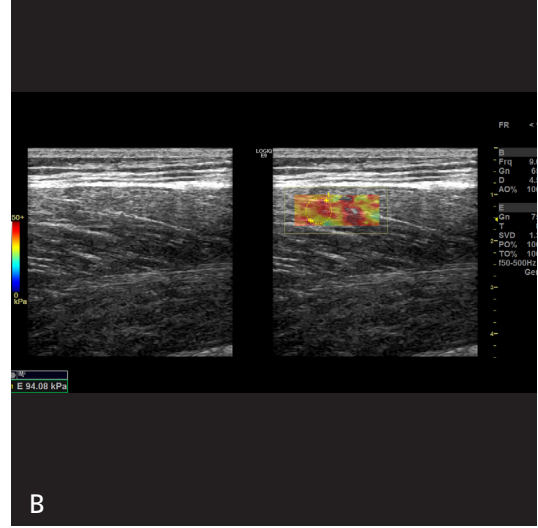
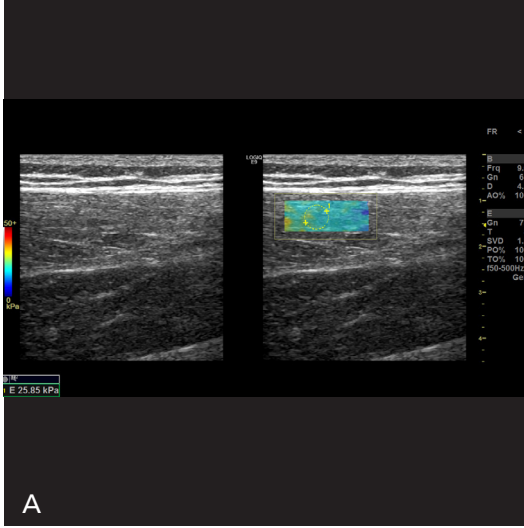
Lacourpaille ve ark. [12], shear wave elastografi görüntüleme yöntemini kullanarak Duchenne muskuler distrofinin (DMD), kasların

sertliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada yazarlar, 6 farklı kasın elastisite ölçümlerini yapmış ve abduktör digiti minimi kası dışındaki diğer beş kasta (gastrokinemius kası medial başı, tibialis anterior, vastus lateralis, biceps brakii, triceps brakii) DMD tanılı hastaların elastisite değerlerinin kontrol grubunun elastisite değerlerine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Öte yandan, Brandenburg ve ark. [13], serebral palsili hastalarda, üç farklı dorsifleksiyon konumunda, gastrokinemius kası lateral başının SWE tekniği ile elastisite ölçümlerini yapmışlar ve her üç pozisyonda da serebral palsili hastalarda elastisite değerlerinin daha yüksek bulunduğunu ortaya koymuşlardır.

Roskopf ve ark. [14], supraspinatus kasının elastografi incelemesinin güvenilirliğini değerlendirmeyi, supraspinatus kasının normal elastisite değerlerini belirlemeyi ve bulguların tendon bütünlüğü ile korelasyonunu araştırmayı amaçladıkları çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışmada, araştırmacılar, supraspinatus kasının incelenmesinde shear wave elastografinin tekrar edilebilir olduğu, normal supraspinatus kasının ortalama shear wave hız değerinin  $3,0 \pm 0,5$  m/sn olduğu ve bu değerinkastaki artan yağ içeriğine sekonder azaldığı ancak yağlı infiltrasyonun son evresinde ise arttığı sonuçlarına ulaşmıştır.

Akagi ve ark. [15], rektus femoris, gastrokinemius lateral başı ve soleus kaslarının, shear wave elastografi tekniği ile yaşa bağlı olarak gösterdikleri elastisite değişimlerini araştırmışlardır. Rektus femoris kası ve gastrokinemius kası lateral başı elastisite ölçümlerinin yaşlı bireylerde gençlere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede azaldığını, ancak soleus kasında elastisite değerlerinde yaşa bağlı olarak anlamlı değişim olmadığını bildirmişlerdir. Yazarlar, bu çalışmada elde ettikleri verilerden yola çıkarak rektus femoris ve gastrokinemius kası lateral başındaki elastisite değerlerindeki değişimin, yaşlı bireylerde alt ekstremite kas kuvvetinde azalma ve düşme riskinde artış ile ilişkili olabileceği sonucuna varmışlardır.

Masseter kasının sağlıklı gönüllülerde shear wave elastografi ile değerlendirildiği ve komp-



Resim 1. A, B. Rektus femoris kasının istirahat halinde (A) ve kasılma anında (B) shear wave elastografi ile yapılan elastisite ölçümleri arasındaki farklılık izlenmektedir.

resyon elastografi ile karşılaştırıldığı bir çalışmada [16], shear wave elastografinin gözlemci içi ve gözlemciler arası tekrar edilebilirliği daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Bu çalışmada normal masseter kasının elastisite değerleri, istirahat halinde  $42,82 \pm 5,56$  kPa ve çene sıkıca kapatıldığında ise  $53,36 \pm 8,46$  kPa olarak bildirilmiştir.

Biceps brakii kasının egzersiz öncesi ve sonrası değişimlerinin kompresyon elastografi ile değerlendirildiği bir çalışmada [17], “strain ratio” değerlerinin egzersizden 30 dakika sonra, egzersiz öncesi değerlere döndüğü bildirilmiştir. Bunlara ek olarak kasların, kontraksiyon konumundaki elastisite ölçümlerinin, istirahat halindeki ölçümlerine göre daha yüksek olduğu akılda tutulmalıdır (Resim 1 A, B) [2].

Kasların ultrason elastografi ile değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar genel olarak umut verici olsa da tekrar edilebilirliği ve standardizasyonuna ilişkin çekinceler de mevcuttur. **Kas aktivitesine bağlı olarak ölçümlerde değişiklikler olmasının yanında, aktiviteden bağımsız olarak da elastisite ölçümlerinde, hastanın ve probun pozisyonuna göre ya da gözlemci içinde ve gözlemciler arasında önemli farklılıklar olabildiği akılda tutulmalıdır.** Değerlendirmeler arasında mümkün olduğunca standart bir relaksasyon/kontraksiyon döngüsünün sağlanabilmesi gereklidir. Anizotropi, kaslarda in-

celemeyi olumsuz etkileyecek bir durum olup, prob oryantasyonunun farklı kasları değerlendirirken hep aynı planda tutulması gerekmektedir. Bu etkenler, ultrason elastografi incelemelerini yaparken karşılaşılan güçlükleri ortaya koymaktadır [8, 18].

### Tendonlarda Elastografi Uygulamaları

Tendonlar, son dönemde ultrason elastografi araştırmalarına giderek artan sıklıkta konu olmakla birlikte, bugüne dek tendonların elastisite özelliklerine ilişkin bilgilerimizin büyük çoğunluğu Aşil tendonu ile yapılmış çalışmalardan kaynaklanmaktadır.

De Zordo ve ark. [19], sağlıklı gönüllülerde 80 asemptomatik Aşil tendonunu kompresyon elastografi ile değerlendirdikleri çalışmada, elastogramları renk kodlarına göre üç gruba (mavi ve yeşil - sert, sarı - orta, kırmızı - yumuşak); tendonları da proksimal, orta ve distal bölge olarak üç bölgeye ayırmış ve Aşil tendonlarının %86,7'lik bir oranda sert doku özellikleri gösterdiğini bildirmiştir.

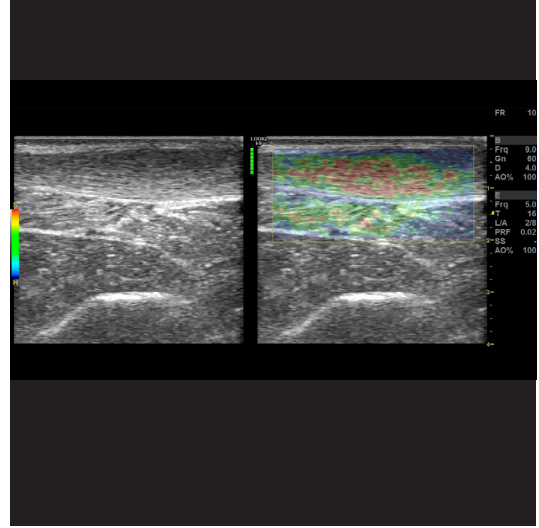
Arda ve ark. [20], 127 sağlıklı gönüllüde shear wave elastografi yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada, normal Aşil tendonunun elastisite değeri longitudinal planda ortalama  $74,4 \pm 45,7$  kPa, transvers planda ise  $51,5 \pm 25,1$  kPa olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada, Aşil

tendonunun elastisite değerlerinde, longitudinal planda yapılan ölçümlerde kadınlar ve erkekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirtilmiş, ancak transvers planda yapılan ölçümlerde cinsiyetler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

SWE yöntemini kullanarak, Aşil tendonunun elastisite özelliklerinde yaşlanmaya sekonder değişiklikler oluşabileceğini gösteren çalışmalar [21] olduğu gibi yaşlanma ile Aşil tendonu elastisite ölçümlerinde anlamlı korrelasyon olmadığını bildiren çalışmalar da mevcuttur [22].

Payne ve ark. [23] kompresyon elastografi ile ardışık günlerde Aşil tendonu için elastisite değerlendirmeleri yaptıkları çalışmalarında, kompresyon elastografinin tekrar edilebilirliğinin düşük düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Aynı yazar grubu, Aşil tendonunun elastisite değerlendirmesinde SWE ölçümlerinin tekrar edilebilirliğini araştırdıkları bir diğer çalışmalarında [24], longitudinal planda yapılan ölçümlerin daha güvenilir ve gözlemciler arası tekrar edilebilirliğinin yüksek düzeyde olduğunu bildirmişlerdir.

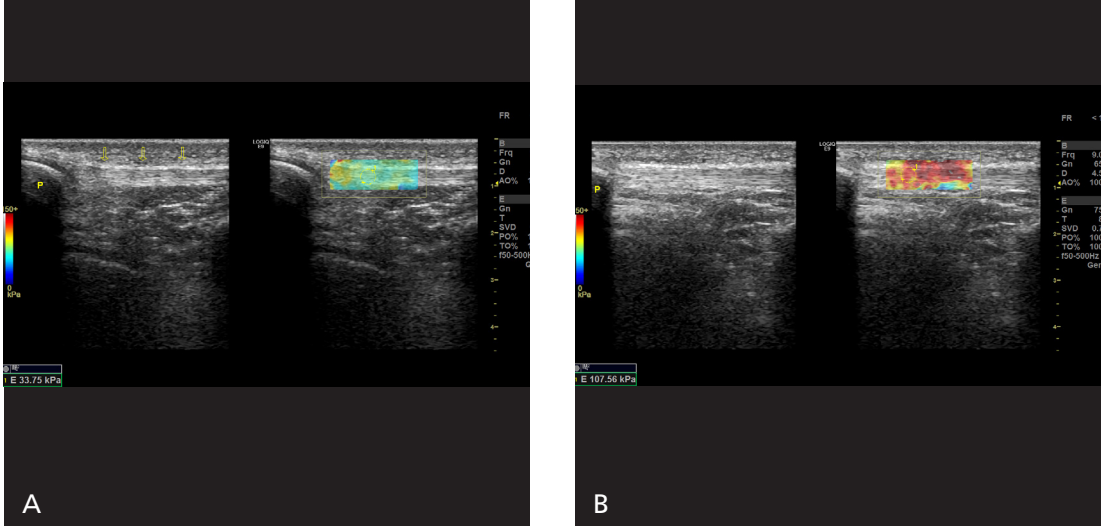
Sporcuların yoğun fiziksel aktivitelerinin Aşil tendon elastisitesi üzerinde etkileri olduğunu ve tendonların elastisite özelliklerinin patolojik durumları öngörmeye yararlı olabileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır. Asemptomatik futbolcular üzerinde Aşil tendonu yaralanmalarını öngörmekte ultrason ve elastografinin önemini araştıran bir çalışmada [25], sezon öncesinde ultrason ve/veya sonoelastografide anormal bulguları olan olguların %27,3'ünün sezon sonunda semptomatik duruma geldiği belirtilmiş ve tendon kalınlığındaki artış ya da elastogramda tendon içinde yumuşak olarak değerlendirilen alanlar bulunmasının, futbolcular için semptomatik duruma gelmek yönünden risk artışı ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bir diğer çalışmada [26], maraton koşucularının, koşu öncesi ve sonrasında Aşil tendonlarındaki elastisite değişiklikleri ve koşu öncesi var olan Aşil tendon bulgularının koşu sonrasındaki ağrı semptomu ile ilişkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada yazarlar, maraton koşusunun Aşil tendon elastisitesinde koşu öncesine göre anlamlı azalmaya yol açtığı



**Resim 2.** 56 yaşında erkek hasta, Aşil tendon düzeyinde şişlik nedeniyle gerçekleştirilen incelemede, Aşil tendon bütünlüğünün korunduğu, ancak bu düzeyde fokal kalınlık artışı ve kompresyon elastografide, tendinopati ile uyumlu şekilde yumuşak doku özelliklerini yansıtan ağırlıklı olarak kırmızı renk kodlaması gözlenmektedir (mavi-sert, kırmızı-yumuşak).

ve önceden var olan yumuşak tendon bulgularının koşu sonrasında gelişen semptomlar için risk faktörü olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Aşil tendon yapısının ya da bütünlüğünün bozulduğu durumlarda, genel olarak elastografik incelemelerde tendonun daha yumuşak doku özellikleri göstermesi beklenmektedir (Resim 2). Aubry ve ark. [27], SWE tekniğini kullanarak normal ve patolojik Aşil tendonları arasındaki elastisite farklılıklarını araştırmışlardır. Bu çalışmada 30 semptomatik ve 180 asemptomatik tendon değerlendirilmiş, istirahat hali ve gergin konumun her ikisinde de patolojik Aşil tendonlarının normal tendonlara göre daha yumuşak olduğu bildirilmiştir. Dirrichs ve ark. [28], tendinopatilerde shear wave elastografinin tanısal etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, 34 normal Aşil tendonunun ortalama elastisite değeri  $154,2 \pm 28,3$  kPa ve 48 semptomatik Aşil tendonunun ortalama elastisite değeri  $53,4 \pm 23,2$  kPa olarak bildirilmiştir. Chen ve ark. [29], 36 normal ve 14 rupture Aşil tendonunun shear wave elastografi ölçümlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, normal Aşil tendonlarının or-



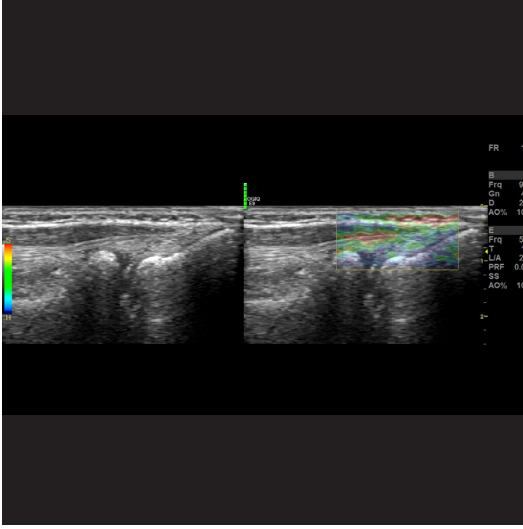
**Resim 3. A, B.** Patellar tendonun istirahat halinde (A) ve dizin maksimal ekstansiyon anında (B) shear wave elastografi ile yapılan elastisite ölçümleri arasındaki farklılık izlenmektedir (P-patella, oklar-patellar tendon).

talama elastisite değerini  $291,91 \pm 4,38$  kPa ve ruptüre Aşil tendonlarının ortalama elastisite değerlerini ise  $56,48 \pm 65,59$  kPa olarak bildirmişler ve bu sonuçlara dayanarak shear wave elastografinin Aşil tendonunun fonksiyonunu değerlendirmede önemli bilgiler sağladığını belirtmişlerdir. Zhang ve ark. [30], tendon ruptürü sonrası opere edilen Aşil tendonlarının cerrahi sonrası iyileşme dönemindeki değişikliklerini SWE ile değerlendirdikleri çalışmada Aşil tendon elastisitesinin zaman içinde arttığını göstermişlerdir.

Aşil tendonu dışında, diğer bazı tendonların elastisite özelliklerine ilişkin benzer çalışma tasarımlarına sahip yayımlar da literatürde yer almıştır. Porta ve ark. [31], sağlıklı gönüllülerde, patellar tendonun kompresyon elastografi ile değerlendirdikleri çalışmalarında, patellar tendonun elastogramlarda baskın olarak yeşil renkte kodlandığını ve hem gözlemci içi, hem de gözlemciler arası tekrar edilebilirlik düzeylerinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Sağlıklı gönüllülerin yer aldığı ve 56 normal patellar tendonun değerlendirildiği bir çalışmada, dizin pozisyonuna göre patellar tendon elastisite ölçümlerinde farklılıklar olabileceği gösterilmiş ve değerlendirmelerde yanlış yorumlardan kaçınmak için diz pozisyonunun standardize edilmesinin önemli olduğu vurgu-

lanmıştır (Resim 3 A, B) [32]. SWE tekniğinin kullanıldığı bir çalışmada, yaşlanmaya bağlı olarak patellar tendon elastisite ölçümlerinde azalma olduğu bildirilmiştir [33].

Ortak ekstansör tendonun elastisite özellikleri de araştırmalara konu olmuştur (Resim 4). Bu tendonun elastisitesindeki değişikliklerin gösterilmesi, lateral epikondilit (tenisçi dirseği) olgularının tanısında yarar sağlayabilir. Şendur ve ark. [34], sağlıklı gönüllülerde 60 normal ortak ekstansör tendonun elastisite değerlerini ölçtükleri ve ortak ekstansör tendon incelemeleri için shear wave elastografinin gözlemciler arası tekrar edilebilirliğini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada, iki gözlemci için normal ortak ekstansör tendonun ortalama elastisite değerlerini sırasıyla  $45,28 \pm 9,82$  kPa ve  $45,80 \pm 9,72$  kPa olarak bildirmişler ve shear wave elastografinin tekrar edilebilir bir inceleme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. De Zordo ve ark. [35], lateral epikondilit olgularında, klinik bulguları referans kabul ettikleri ve ortak ekstansör tendonun kompresyon elastografi ile incelenmesinin tanısal etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, duyarlılık, özgüllük ve tanısal doğruluk oranlarını sırasıyla %100, %89 ve %94 olarak rapor etmişlerdir. Klausner ve ark. [36], ortak ekstansör tendonun değerlendirmesinde ultrason ve kompresyon elas-



**Resim 4.** 27 yaşında sağlıklı gönüllüye ait normal ortak ekstensör tendonunun kompresyon elastografi görüntüsü ağırlıklı olarak sert doku (mavi-sert, kırmızı-yumuşak) özelliklerini göstermektedir (r-radius, le-lateral epikondil, oklar-ortak ekstensör tendon).

tografinin bir arada kullanılmasının, histolojik incelemede patolojik bulguların mevcudiyetini ön görmekte, bu iki inceleme yönteminin yalnız kullanımına göre daha üstün olduğunu bildirmişlerdir. Dirrachs ve ark. [28], asemptomatik ve semptomatik humeral epikondilar tendonlarda (radial ve ulnar) ortalama elastisite değerini, sırasıyla  $176,2 \pm 18,2$  kPa ve  $64,1 \pm 29,3$  kPa olarak ölçmüşlerdir.

Sonoelastografinin, biceps tendinit ya da tendinozis ilişkili semptomu olan olgular için biceps kası uzun başının intratendinöz ve peritendinöz değişimlerini saptamada potansiyel olarak klinik açıdan yararlı olduğu ve konvansiyonel USG ile mükemmel korrelasyon gösterdiği bildirilmiştir [37].

Supraspinatus tendonunun, MR görüntüleme T2\* değerleri ile SWE değerleri arasında güçlü bir negatif korrelasyon olduğu gösterilmiş ve bu bulgunun, rotator kılıf tendonlarının daha niceliksel değerlendirmelerine olanak sağlayabileceği belirtilmiştir [38].

Parmak tendonlarında da elastografinin yararlı olabileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır. Buck ve ark. [39], kompresyon elastografinin, elde yer alan küçük tendon yırtıklarını saptama

potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir. Tetik parmak olgularında birinci annuler pulleyin elastisitesinin kompresyon elastografi ile değerlendirildiği, kortikosteroid enjeksiyonu öncesi ve sonrasında ölçümlerin yapıldığı bir çalışmada ise, referans yağ dokunun birinci annuler pulleye oranı (F/P) şeklinde strain oranları ölçülmüş ve tetik parmak olgularında kortikosteroid enjeksiyonu öncesinde 4,2 olarak ölçülen değerlerin, enjeksiyondan üç hafta sonra yapılan değerlendirmelerde 2,5'e düştüğü gösterilmiştir [40]. Türkey ve ark. [41], De Quervain tenosinovit olgularında SWE'nin uygulanabilirliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, elde birinci ekstensör kompartman tendonlarının elastisite ölçümlerini yapmış ve sağlıklı bireylere göre tenosinovit olgularında bu tendonların elastisite değerlerinin anlamlı olarak daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

### Ligamentlerde ve Sinirlerde Elastografi Uygulamaları

Kas ve tendonlardaki ölçüm sonuçlarına benzer şekilde normal ligamentlerde de kasılma durumunda, elastisite ölçümlerinin daha yüksek olması beklenmektedir [2]. Literatürde ligamentlerin elastisite özelliklerinin değerlendirildiği kısıtlı sayıda çalışma yer almaktadır. Adhezif kapsülit tanısı olan olgularda korakohumeral ligamentin elastisitesinin, etkilenmemiş karşı omuz korakohumeral ligamentine göre daha yüksek elastisite değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir [42]. Ayrıca yine aynı çalışma korakohumeral ligamentin elastisite ölçümlerinin, kolun eksternal rotasyon açısına göre değiştiği bildirilmiştir. Mhanna ve arkadaşları [43], transvers karpal ligamentin sertliğindeki artışın median sinirde basıya yol açarak karpal tünel sendromu ile ilişkisi olabileceği amacıyla piyanist olan ve olmayanlarda transvers karpal ligamentin elastisite ölçümlerini karşılaştırmış ve piyano kullananlarda transvers karpal ligamentin daha sert olduğunu belirtmiştir.

Periferik sinirlerin elastisite özelliklerine ilişkin az sayıda çalışma yapılmıştır. Miyamoto ve arkadaşları, karpal tünel sendromunun tanısında kompresyon elastografinin tanıya katkısını

araştırdıkları çalışmasında [44], semptomatik karpal tünel sendromlu olgularda median sinire ait strain oranlarının, sağlıklı gruba göre daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Median sinir strain oranı için eşik (cut off) olarak 4,3 değerini belirlediklerinde, karpal tünel sendromu tanısında %82 duyarlılık ve %68 özgüllük sonuçlarını elde ederek, sonoelastografinin, karpal tünel sendromu olgularında ultrasonografik değerlendirmenin tanısallı doğruluğunu anlamlı derecede arttırdığını belirtmişlerdir. Kantarci ve ark. [45], SWE yöntemini kullanarak karpal tünel düzeyinde median sinirin niceliksel ölçümlerini yaparak SWE'nin karpal tünel sendromlu olguların tanısında kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Bu çalışmada karpal tünel sendromlu olguların median sinir elastisite ölçümleri ortalama 66,7 kPa ve kontrol grubunun median sinir elastisite ölçümleri ortalama 32,0 kPa olarak bulunmuş ve iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğu bildirilmiştir. Andrade ve ark. [46], SWE yöntemi ile 9 sağlıklı kişide, ayak dorsifleksiyon konumunda iken dizin 90° fleksiyon ve 180° ekstansiyon pozisyonlarına siyatik sinirin elastisite ölçümlerinin nasıl etkilendiğini araştırmışlar. Diz 180° ekstansiyon konumunda iken siyatik sinir elastisitesinin anlamlı olarak arttığını ancak, dizin 90° fleksiyon pozisyonunda değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

### Tümörlerde Elastografi Uygulamaları

Yumuşak doku tümörlerinde benign ve malign lezyonları ayırt etmede elastografinin etkinliğini araştıran az sayıda çalışma yapılmıştır. Magarelli ve ark. [47], kompresyon elastografi tekniğini kullanarak 12 malign, 20 benign lezyondan oluşan ve histopatolojik değerlendirmeyi referans olarak ele aldıkları çalışmada, sonoelastografinin ultrasonografik değerlendirmenin tanısallı doğruluğunu arttırdığını belirtmişlerdir. Ancak Pass ve arkadaşlarının [48], 39 malign ve 66 benign lezyondan oluşan çalışma grubunda, SWE tekniğini kullanarak niceliksel ve niteliksel olarak yaptıkları değerlendirmelerin, malignensi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi bulunmadığını ve

B-mod görüntülemeye belirgin bir ek katkısının olmadığını belirtmişlerdir. Ancak bir diğer çalışmada [49], malign ve benign kitlelerin ayırımında niceliksel SWE ölçümlerinin yararlı olabileceği ve malign kitlelerin ölçüm sonuçlarının benign kitlelere göre %30 daha düşük olduğu bildirilmiştir.

### Sonuç

Sonoelastografi kas iskelet sistemi ile ilgili klinik değerlendirmelere farklı bir boyut kazandırmıştır. Strain elastografi, B-mod görüntülemenin üzerine doku sertliğine ilişkin bilgilerin eklenmesini sağlamıştır. Shear wave elastografinin geliştirilmesi ile hem niceliksel değerlendirme olanağı elde edilmiş hem de kompresyon elastografi ile karşılaştırıldığında daha az kullanıcı bağımlı olduğu bir yöntem kullanıma girmiştir. Kas iskelet sistemi incelemelerinde elastografik değerlendirmeler, çoğunlukla umut vaat eden sonuçlara sahiptir. Bu inceleme yöntemlerinin, dünya genelinde kas iskelet sistemine yönelik kullanım yaygınlıklarının artması ile birlikte uygulamada standartları belirleyen daha güncel kılavuzların yayınlanmasına gereksinim oluşmuştur. Elastografinin, gelecekte yaşanacak teknolojik gelişmelerin etkisi ile, özellikle kas ve tendonların biyomekanik özelliklerinin belirlenmesine ek olarak, güvenilirlik, tekrar edilebilirlik ve tanısallı etkinlik yönlerinden kas iskelet sistemi ile ilişkili daha birçok araştırmaya konu olacağı açıktır.

### Kaynaklar

- [1]. Jacobson JA. Musculoskeletal ultrasound: focused impact on MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193: 619-27. [\[CrossRef\]](#)
- [2]. Taljanovic MS, Gimber LH, Becker GW, Latt LD, Klauser AS, Melville DM, et al. Shear-Wave elastography: Basic physics and musculoskeletal applications. *Radiographics* 2017; 37: 855-70. [\[CrossRef\]](#)
- [3]. Lin J, Fessell DP, Jacobson JA, Weadock WJ, Hayes CW. An illustrated tutorial of musculoskeletal sonography: part I, introduction and general principles. *Am J Roentgenol* 2000; 175: 637-45. [\[CrossRef\]](#)
- [4]. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br J Radiol* 2012; 85: 1435-45. [\[CrossRef\]](#)



- [5]. Domenichini R, Pialat JB, Podda A, Aubry S. Ultrasound elastography in tendon pathology: state of the art. *Skeletal Radiol* 2017; 46: 1643-55. [\[CrossRef\]](#)
- [6]. Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, Bojunga J, Correas JM, Gilja OH, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: clinical applications. *Ultraschall Med* 2013; 34: 238-53. [\[CrossRef\]](#)
- [7]. Klauser AS, Miyamoto H, Bellmann-Weiler R, Feuchtner GM, Wick MC, Jaschke WR. Sonoelastography: musculoskeletal applications. *Radiology* 2014; 272: 622-33. [\[CrossRef\]](#)
- [8]. Creze M, Nordez A, Soubeyrand M, Rocher L, Maître X, Bellin MF. Shear wave sonoelastography of skeletal muscle: basic principles, biomechanical concepts, clinical applications, and future perspectives. *Skeletal Radiol* 2018; 47: 457-71. [\[CrossRef\]](#)
- [9]. 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.
- [10]. Lee SY, Park HJ, Choi YJ, Choi SH, Kook SH, Rho MH, et al. Value of adding sonoelastography to conventional ultrasound in patients with congenital muscular torticollis. *Pediatr Radiol* 2013; 43 :1566-72. [\[CrossRef\]](#)
- [11]. 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. [\[CrossRef\]](#)
- [12]. Lacourpaille L, Hug F, Guevel A, Peroon Y, Magot A, Hogrel JY, et al. Non-invasive assessment of muscle stiffness in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Muscle Nerve* 2015; 51: 284-6. [\[CrossRef\]](#)
- [13]. Brandenburg JE, Eby SF, Song P, Kingsley-Berg S, Bamlet W, Sieck GC, et al. Quantifying passive muscle stiffness in children with and without cerebral palsy using ultrasound shear wave elastography. *Dev Med Child Neurol* 2016; 58: 1288-94. [\[CrossRef\]](#)
- [14]. Roskopf AB, Ehrmann C, Buck FM, Gerber C, Fluck M, Pfirrmann CW. Quantitative shear-wave US elastography of the supraspinatus muscle: reliability of the method and relation to tendon integrity and muscle quality. *Radiology* 2016; 278: 465-74. [\[CrossRef\]](#)
- [15]. Akagi R, Yamashita Y, Ueyasu Y. Age-related differences in muscle shear moduli in the lower extremity. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41: 2906-12. [\[CrossRef\]](#)
- [16]. Ariji Y, Nakayama M, Nishiyama W, Nozawa M, Ariji E. Shear wave sonoelastography for assessing masseter muscle hardness in comparison with strain sonoelastography: study with phantoms and healthy volunteers. *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45: 20150251. [\[CrossRef\]](#)
- [17]. Yanagisawa O, Niitsu M, Kurihara T, Fukubayashi T. Evaluation of human muscle hardness after dynamic exercise with ultrasound realtime tissue elastography: a feasibility study. *Clin Radiol* 2011; 66: 815-9. [\[CrossRef\]](#)
- [18]. Winn N, Lalam R, Cassar-Pullicino V. Sonoelastography in the musculoskeletal system: Current role and future directions. *World J Radiol* 2016; 8: 868-79. [\[CrossRef\]](#)
- [19]. De Zordo T, Fink C, Feuchtner GM, Smekal V, Reindl M, Klauser AS. Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193: 134-8. [\[CrossRef\]](#)
- [20]. Arda K, Ciledag N, Aktas E, Aribas BK, Köse K. Quantitative as-sessment of normal soft-tissue elasticity using shear-wave ultrasound elastography. *AJR Am J Roentgenol* 2011; 197: 532-6. [\[CrossRef\]](#)
- [21]. Slane LC, Martin J, DeWall R, Thelen D, Lee K. Quantitative ultrasound mapping of regional variations in shear wave speeds of the aging Achilles tendon. *Eur Radiol* 2017; 27: 474-82. [\[CrossRef\]](#)
- [22]. Fu S, Cui L, He X, Sun Y. Elastic Characteristics of the Normal Achilles Tendon Assessed by Virtual Touch Imaging Quantification Shear Wave Elastography. *J Ultrasound Med* 2016; 35: 1881-7. [\[CrossRef\]](#)
- [23]. Payne C, Webborn N, Watt P, Cercignani M. Poor reproducibility of compression elastography in the Achilles tendon: same day and consecutive day measurements. *Skelet Radiol* 2017; 46: 889-95. [\[CrossRef\]](#)
- [24]. Payne C, Watt P, Cercignani M, Webborn N. Reproducibility of shear wave elastography of the Achilles tendon. *Skeletal Radiol* 2018; 47: 779-84. [\[CrossRef\]](#)
- [25]. Ooi CC, Schneider ME, Malliaras P, Jones D, Saunders S, McMahon A, et al. Sonoelastography of the Achilles Tendon: Prevalence and Prognostic Value Among Asymptomatic Elite Australian Rules Football Players. *Clin J Sport Med* 2016; 26: 299-306. [\[CrossRef\]](#)
- [26]. Ooi CC, Schneider ME, Malliaras P, Counsel P, Connell DA. Prevalence of morphological and mechanical stiffness alterations of mid Achilles tendons in asymptomatic marathon runners before and after a competition. *Skelet Radiol* 2015; 44: 1119-27. [\[CrossRef\]](#)
- [27]. Aubry S, Nueffer JP, Tanter M, Becce F, Vidal C, Michel F. Visco-elasticity in Achilles tendonopathy: quantitative assessment by using real-time shear-wave elastography. *Radiology* 2015; 274: 821-9. [\[CrossRef\]](#)
- [28]. Dirrachs T, Quack V, Gatz M, Tingart M, Kuhl CK, Schradling S. Shear wave elastography (SWE) for the evaluation of patients with tendinopathies. *Acad Radiol* 2016; 23: 1204-13. [\[CrossRef\]](#)
- [29]. Chen XM, Cui LG, He P, Shen WW, Qian YJ, Wang JR. Shear wave elastographic characterization of normal and torn Achilles tendons: a pilot study. *J Ultrasound Med* 2013; 32: 449-55. [\[CrossRef\]](#)
- [30]. Zhang LN, Wan WB, Wang YX, Jiao ZY, Zhang LH, Luo YK, et al. Evaluation of elastic stiffness in healing Achilles tendon after surgical repair of a tendon rup-

- ture using in vivo ultrasound shear wave elastography. *Med Sci Monit* 2016; 22: 1186-91. [\[CrossRef\]](#)
- [31]. Porta F, Damjanov N, Galluccio F, Iagnocco A, Mattedi-Cerinic M. Ultrasound elastography is a reproducible and feasible tool for the evaluation of the patellar tendon in healthy subjects. *Int J Rheum Dis* 2014; 17: 762-6. [\[CrossRef\]](#)
- [32]. Berko NS, Mehta AK, Levin TL, Schulz JF. Effect of knee position on the ultrasound elastography appearance of the patellar tendon. *Clin Radiol* 2015; 70: 1083-6. [\[CrossRef\]](#)
- [33]. Hsiao MY, Chen YC, Lin CY, Chen WS, Wang TG. Reduced patellar tendon elasticity with aging: in vivo assessment by shear wave elastography. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41: 2899-905. [\[CrossRef\]](#)
- [34]. Şendur HN, Cindil E, Cerit M, Demir NB, Şendur AB, Oktar SÖ. Interobserver variability and stiffness measurements of normal common extensor tendon in healthy volunteers using shear wave elastography. *Skeletal Radiol* 2019; 48: 137-41. [\[CrossRef\]](#)
- [35]. De Zordo T, Lill SR, Fink C, Feuchtnner 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. [\[CrossRef\]](#)
- [36]. Klauser AS, Pamminger M, Halpern EJ, Abd Allah MMD, Moriggl B, Taljanovic MS, et al. Extensor tendinopathy of the elbow assessed with sonoelastography: histologic correlation. *Eur Radiol* 2017; 27: 777-7. [\[CrossRef\]](#)
- [37]. Seo JB, Yoo JS, Ryu JW. Sonoelastography findings of biceps tendinitis and tendinosis. *J Ultrasound* 2014; 17: 271-7. [\[CrossRef\]](#)
- [38]. Krepkin K, Bruno M, Raya JG, Adler RS, Gyftopoulos S. Quantitative assessment of the supraspinatus tendon on MRI using T2/T2\* mapping and shear-wave ultrasound elastography: a pilot study. *Skeletal Radiol* 2017; 46: 191-9. [\[CrossRef\]](#)
- [39]. Buck AR, Verstraete N, Li Y, Schweizer A, Snedeker JG, Buck FM. Detection of small tendon lesions by sonoelastographic visualization of strain profile differences: initial experiences. *Skeletal Radiol* 2012; 41: 1073-9. [\[CrossRef\]](#)
- [40]. Miyamoto H, Miura T, Isayama H, Masuzaki R, Koike K, Ohe T. Stiffness of the first annular pulley in normal and trigger fingers. *J Hand Surg Am* 2011; 36: 1486-91. [\[CrossRef\]](#)
- [41]. Türkay R, İnci E, Aydeniz B, Vural M. Shear wave elastography findings of de Quervain tenosynovitis. *Eur J Radiol* 2017; 95: 192-6. [\[CrossRef\]](#)
- [42]. Wu CH, Chen WS, Wang TG. Elasticity of the Coracohumeral Ligament in Patients with Adhesive Capsulitis of the Shoulder. *Radiology* 2016; 278: 458-64. [\[CrossRef\]](#)
- [43]. Mhanna C, Marquardt TL, Li ZM. Adaptation of the transverse carpal ligament associated with repetitive hand use in pianists. *PLoS One* 2016; 11: e0150174. [\[CrossRef\]](#)
- [44]. Miyamoto H, Halpern EJ, Kastlunger M, Gabl M, Arora R, Bellmann-Weiler R, et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis by means of median nerve elasticity—improved diagnostic accuracy of US with sonoelastography. *Radiology* 2014; 270: 481-6. [\[CrossRef\]](#)
- [45]. Kantarci F, Ustabasioglu FE, Delil S, Olgun DC, Korkmaz B, Dikici AS, et al. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 2014; 24: 434-40. [\[CrossRef\]](#)
- [46]. Andrade RJ, Nordez A, Hug F, Ates F, Coppieters MW, Pezarat-Correia P, et al. Non-invasive assessment of sciatic nerve stiffness during human ankle motion using ultrasound shear wave elastography. *J Biomech* 2016; 49: 326-31. [\[CrossRef\]](#)
- [47]. Magarelli N, Carducci C, Bucalo C, Filograna L, Rapisarda S, De Waure C, et al. Sonoelastography for qualitative and quantitative evaluation of superficial soft tissue lesions: a feasibility study. *Eur Radiol* 2014; 24: 566-73. [\[CrossRef\]](#)
- [48]. Pass B, Jafari M, Rowbotham E, Hensor EMA, Gupta H, Robinson P. Do quantitative and qualitative shear wave elastography have a role in evaluating musculoskeletal soft tissue masses? *Eur Radiol* 2017; 27: 723-31. [\[CrossRef\]](#)
- [49]. Pass B, Johnson M, Hensor EM, Gupta H, Robinson P. Sonoelastography of musculoskeletal soft tissue masses: a pilot study of quantitative evaluation. *J Ultrasound Med* 2016; 35: 2209-16. [\[CrossRef\]](#)

## Kas İskelet Elastografi Uygulamaları

Halit Nahit Sendur, Cem Yücel

### Sayfa 64

Bu görüntüleme tekniğinde, dokuların yer değiştirme bilgisinin konvansiyonel B-mod görüntüleri üzerine eklenmesi ile oluşturulan, yer değiştirme dağılım haritası olarak ifade edebileceğimiz, “elastogram” görüntüleri elde edilir. Bu görüntülerde niteliksel değerlendirme yapılabilir. Çoğunlukla mavi renk sert dokuları, kırmızı renk yumuşak dokuları, yeşil ve sarı renkler ise orta sertlikte dokuları kodlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, strain oranı (strain ratio) olarak isimlendirilen ve değerlendirmek istenilen doku ile referans bir dokunun (genellikle cilt altı yağ doku) ROI değerlerini oranlayarak yarı-niceliksel (semi-kantitatif) bir ölçüm değeri elde edilebilir.

### Sayfa 64

Konvansiyonel ultrason dalgalarının akustik yayılım kuvveti, ses dalgalarının doku ile etkileşimi sırasında ultrason dalgalarına dik olarak transvers planda yayılım gösteren ve dokularda küçük yer değiştirmelere yol açan dalgalar (shear wave) oluşturur. Özel algoritmalar kullanılarak (speckle tracking algorithm) dokuların yer değiştirme haritaları elde edilir. Bu haritalar da dokuların metre/saniye (m/s) ya da kilopaskal (kPa) cinsinden elastisite değerlerinin elde edilmesinde kullanılır.

### Sayfa 64

Kompresyon elastografi tekniğinde incelenen dokuya dik olarak uygulanmayan kompresyon, elastisite değerlendirmesinde yanılmalara yol açabilir. Bu nedenle ultrason probu, her zaman incelenen dokuya dik olarak tutulmalıdır. Çok fazla ya da çok az kompresyon uygulamaktan kaçınmak gerekir. Tek bir statik elastogram görüntüsü üzerinden değerlendirme yapmak yerine en az üç kompresyon-relaksasyon fazını içeren sine-görüntü kaydedilmeli ve B-mod-elastogram görüntülerin en uyumlu olduğu an seçilerek değerlendirme yapılmalıdır.

### Sayfa 66

Kas aktivitesine bağlı olarak ölçümlerde değişiklikler olmasının yanında, aktiviteden bağımsız olarak da elastisite ölçümlerinde, hastanın ve probun pozisyonuna göre ya da gözlemci içinde ve gözlemciler arasında önemli farklılıklar olabildiği akılda tutulmalıdır.

## Kas İskelet Elastografi Uygulamaları

Halit Nahit Şendur, Cem Yücel

1. Aşağıdaki durumlardan hangisinde normale göre kasların elastisite ölçümlerinde azalma beklenebilir?
  - a. Kasılma
  - b. Yaşlanma
  - c. Egzersiz
  - d. Serebral palsi
  - e. Duchenne muskuler distrofi
2. Aşağıdakilerden tendonlardan hangisi elastografi çalışmalarına daha çok konu olmuştur?
  - a. Supraspinatus tendonu
  - b. Ortak ekstensör tendon
  - c. Kuadriseps femoris tendonu
  - d. Patellar tendon
  - e. Aşil tendonu
3. Aşağıdaki durumlardan hangisi kas ve tendonların elastisite ölçüm sonuçlarını etkileyebilir?
  - a. Prob pozisyonu
  - b. Hasta pozisyonu
  - c. İncelenen doku derinliği
  - d. Elastogram penceresinin boyutu
  - e. Hepsi
4. Yüzeysel dokuların değerlendirmesinde prob ve incelenen doku arasında olması gereken mesafe genellikle kaç milimetredir?
  - a. 1
  - b. 2
  - c. 3
  - d. 4
  - e. 5
5. Aşağıdakilerden hangisi shear wave elastografi ile ilgili olarak yanlıştır?
  - a. Elle yapılan kompresyona ihtiyaç duyulmaz.
  - b. Konvansiyonel ultrason dalgalarına dik olarak transvers planda yayılan dalgalardan oluşur.
  - c. Ölçümler niceliksel olarak yapılır.
  - d. Kompresyon elastografiye göre kullanıcı bağımlılığı daha yüksektir.
  - e. Ölçüm birimi metre/saniye ya da kilopaskal olarak belirtilir.