

Onarılmış tendonlarda iyileşme sürecinin ultrason ve strain elastografi ile değerlendirilmesi*

Evaluation of the healing process in repaired tendons by ultrasound and strain elastography*

Ersen Ertekin¹, Zehra Seznur Kasar², Hulki Başaloğlu³

¹Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Aydın

²Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Aydın

³Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Aydın

Ersen Ertekin orcid.org/ 0000-0001-7182-0725

Zehra Seznur Kasar orcid.org/ 0000-0001-9226-0659

Hulki Başaloğlu orcid.org/ 0000-0002-0904-3539

Öz

Amaç: Rüptür sonrası tendon iyileşmesi zorlu bir süreçtir. Tedavi sırasında erken dönemde kas iyileşmesini tespit etmek için, bazı uygulama güçlükleri olan kas gücü testi dışında etkin bir yöntem yoktur. Bu çalışmanın amacı, önkol fleksör tendonlarında kesi sonrası onarılmış tendonların iyileşme sürecinin değerlendirilmesinde Strain Elastografinin etkinliğini belirlemektir.

Gereç ve Yöntem: Çalışma öncesi kurumumuz ‘İnvazif Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu’ndan onay alındı (No: 2015-687). Çalışmaya katılan tüm katılımcılardan imzalı bir gönüllü onam formu alındı. Kesi sonrası tendon onarımı yapılan 38 hasta çalışmaya dahil edildi. Aynı hastaların yaralanmamış ekstremiteler ölçümleri kontrol grubu olarak kaydedildi. Onarılmış tendonlar, ilk önce 4 haftalık Kleinert rehabilitasyon programı ve ardından 8 hafta boyunca fizik tedavi ile tedavi edildi. Onarılmış tendonlar ve yaralanmamış kontrol tendonları, Ultrason ve Strain Elastografi ile belirli aralıklarla üç kez değerlendirildi. Tedaviden önce ve sonra, onarılmış tendonlara kas gücü testi yapıldı. Onarılmış tendonlardan elde edilen veriler grup içinde ve kontrol grubu ile karşılaştırıldı.

Bulgular: Fizik tedavi öncesi ve sonrası onarılmış tendonlarla kontrol grubu arasında çap ve gerinim oranları açısından anlamlı bir fark vardı ($p < 0,01$). Onarılmış tendonlar ile zarar görmemiş tendonlar arasındaki korelasyon analizi, hem tendon çapları hem de strain oranları bakımından yüksek korelasyon gösterdi (sırasıyla $r = 0,688$ ve $r = 0,685$).

Sonuç: Sonoelastografi, tedavi yanıtının değerlendirilmesinde takip görüntüleme yöntemi olarak etkin bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sonoelastografi, strain Elastografi, tendon yaralanmaları, tedaviye yanıt

Abstract

Objective: Tendon healing after the rupture is a challenging process. There is no method to detect muscle recovery during treatment, except for the muscle strength test that has application difficulties in early period. The purpose of the study is to determine the effectiveness of Strain Elastography for evaluation of the healing process in the forearm flexor tendons after cut.

Material and Methods: An approval was taken from “Non-invasive clinical researches ethical board” of our local ethic committee (No: 2015-687). A signed voluntary information-consent form was obtained from all of the participants in the study. 38 patients who underwent tendon repair after cut were included in the study. Measurements of the non-injured extremities of the same patients were recorded as the control group. The repaired tendons were first treated with a 4-week Kleinert rehabilitation program, followed by a physical therapy for 8 weeks. Repaired tendons and the non-injured side control tendons evaluated with Ultrasound and SE three times at certain intervals. Muscle strength test were performed before and after the therapy. The data obtained from repaired tendons were compared within the group and with the control group.

Results: There was a significant difference between repaired tendon and control group diameters and strain ratios before and after the physical therapy ($p < 0,01$). Correlation analysis between the repaired tendons and non-injured tendons showed high correlation with both tendon diameters and the strain ratios ($r=0,688$ and $r=0,685$, respectively).

Conclusion: The sonoelastography can be used effectively as follow-up imaging method in the evaluation of treatment response.

Key words: Sonoelastography, strain elastography, tendon injuries, treatment response

Giriş

İş kazaları, gelişmekte olan ülkelerde iş gücü ve finansal kaybın en önemli nedenlerinden biridir. İş gücü kayıplarının en sık sebeplerinden biri üst ekstremitelerde kas ve/veya tendon kesileri yer almaktadır. Erken tamir ve etkili fizik tedavi iş gücü kaybını azaltabilir. Rehabilitasyon programının etkinliği, tedavi sonunda yapılacak kas kuvveti testi ile rahatlıkla kontrol edilebilir. Bununla birlikte, tedavi süreci devam ederken fizik tedavi programının etkinliğini değerlendirmek için objektif ve invaziv olmayan bir test yoktur.

Sonoelastografi kullanımı teknolojik gelişmelere paralel olarak giderek artmaktadır (1). Sonoelastografi, doku elastikiyetini ölçmek ve dokunun mekanik özelliklerini değerlendirmek için yeni bir yöntemdir ve ultrasonografi (US) yardımıyla dokuların translokasyonunun tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır. Sık kullanılan elastografi yöntemlerinden biri de Strain Elastografidir (SE). SE, dokuya uygulanan eksternal kuvvetin neden olduğu doku şeklindeki değişiklikler ve Young'ın elastik modülü ile ifade edilir (2). Klinikte meme, tiroid ve lenf bezleri başta olmak üzere birçok organdaki özellikle kanserli dokuların incelenmesinde kullanılmıştır. Son zamanlarda, kas-iskelet sisteminde kullanımı daha yaygın hale gelmiştir (3,4).

Onarılmış tendonların iyileşme sürecinin değerlendirilmesiyle ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır (5-7). Ancak literatür taramamızda el bileği ve el fleksör tendonları ile ilgili bir çalışma bulamadık. Bu çalışmada amacımız, tamir edilen tendonların iyileşme sürecinin takibinde sonoelastografinin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışma için yerel etik komitemizin (no: 2015-687) "Non-invaziv klinik araştırmalar etik kurulundan" onay alınmıştır. Çalışmaya katılan tüm katılımcılardan imzalı bir gönüllü onam formu alındı.

Çalışmamıza, el veya önkolda herhangi bir fleksör kas veya kas grubunun kesilmesinden sonra tendon onarımı uygulanan ve Ekim 2015 ile Nisan 2017 tarihleri arasında fizik tedavi için başvuran hastalar dahil edildi. Sinir kesisi olan hastalar, ameliyat ile fizik tedavi kliniğine başvuru arasında 2 haftadan daha fazla süre geçenler ve fizik tedavi programına katılmayacaklarını belirten hastalar çalışma dışı bırakıldı. Çalışma kriterlerini karşılayan 38 hasta, gönüllülük esaslarına göre çalışmaya alındı.

Fiziksel Terapi Uygulama Yöntemi

Hastaların tedavisinde Kleinert terapi protokolü uygulandı. Öncelikle hastalara, el bileğini 20 - 30 ° fleksiyonda ve metakarp-falangeal (MKF) eklemleri 50 - 60 ° fleksiyonda tutacak Kleinert ateli takıldı. Atel, onarılmış tendonlarda aktif ekstansiyona ve lastik yardımı ile pasif ekstansiyona imkan sağlar. Postoperatif 4. hafta sonunda Kleinert ateli çıkartılarak hastalara haftada 5 gün, toplamda 8 hafta fizik tedavi programı başlandı. Egzersiz öncesi hastalara 20 dakikalık ılık (28-35°C) banyo uygulandı. Terapinin sona ermesinden sonra (ameliyat sonrası 12. Haftada) kas kuvveti testi ile tedavi sonuçları değerlendirildi. Çalışmamızda yaygın olarak kullanılan Tıbbi Araştırma Konseyi (MRC) kas testi ölçeği kullanıldı.

Ultrasonografi (US) ve Strain Elastografi (SE) Değerlendirme Yöntemi

US ve SE ölçümleri Siemens Acuson S1000 (Siemens, Erlangen, Almanya) cihazı kullanılarak 14 yıllık mesleki deneyime sahip bir radyolog tarafından yapılmıştır. Tüm ölçümler 14 MHz transdüser ile 'Kas-iskelet sistemi ön ayarı' kullanılarak yapıldı.

Hastaların ilk US ve SE ölçümleri, ameliyat sonrası 0-2. haftalarda, rehabilitasyon programı başlamadan önce yapıldı. İkinci ölçüm, fizik tedavi programının başladığı ameliyat sonrası 4-6 haftalar arasında yapıldı. Son ölçümler ameliyat sonrası 12. haftada, fizik tedavi programı sona erdiğinde yapıldı. Her ölçüm periyodunda ardışık olarak yapılan üç US ve SE ölçümün ortalaması kaydedildi. Ölçümler, postop değişiklikler ve anastomoz sütürlerinin

doku gerinim oranlarını etkilememesi amacıyla, onarılmış tendonların anastomoz hattının yaklaşık 1 cm proksimalinden yapılmıştır. Onarılmış tendon ile referans olarak seçilen komşu hasarlanmamış tendon aksiyal planda, önce gri skala (B-modu) US görüntüleme ile (ekojeniteleri ve çapları), daha sonra SE ile (gerinim oranları) değerlendirildi. SE değerlendirmede belirlenen seviyelerde onarılmış tendon ve referans tendona ritmik kompresyon ve dekompresyon uygulandı. SE standardizasyonu açısından, Siemens cihazında belirlenen kalite faktörü 50 ve üzeri görüntüler üzerinde ölçümler yapılmıştır.

Kontrol grubu olarak aynı hastaların yaralanmamış ekstremite kullandı. Onarılmış tendonlar ile aynı tendonların aynı düzeylerinden US ve SE ölçümleri yapılarak kontrol grubu olarak kayıt edildi. Gözlemci içi güvenilirliği analizi için Kontrol grubunun ölçümleri 10 gün sonra aynı radyolog tarafından tekrarlandı.

İstatistiksel analiz

Çalışmanın verileri SPSS 17,0 kullanılarak değerlendirildi. Normal dağılım gösteren verilerin analizinde student t testi, tek yönlü varyans analizi ve Pearson korelasyon analizi, normal dağılım göstermeyen verilerin analizinde Mann Whitney U testi, Kruskal Wallis analizi ve Spearman korelasyon analizi kullanılmıştır. Onarılmış tendonların US ve SE ölçümleri grup içinde ve kontrol grubu ile karşılaştırıldı. Ayrıca, tamir edilen tendonların US ve SE ölçümleri ve tedavi sonrası kas gücü testleri karşılaştırıldı. Gözlemci güvenilirliği için Kappa testi kullanıldı.

Sonuçlar

Çalışmamıza 38 hasta dahil edildi; Bu hastaların 11'i kadın, 27'si erkekti. Hastaların yaşları 3 ile 67 arasındaydı. Hastaların 17'sinde sol, 21'inde sağ ekstremitede tendon kesisi vardı. Onarılmış tendonların 18'i m. fleksör digitorum superficialis (FDS), 12'si m. fleksör digitorum profundus (FDP), 6'sı m. fleksör palmaris longus (FPL), biri m. fleksör karpi radialis (FKR) ve biri m. fleksör karpi ulnaris (FKU) idi.

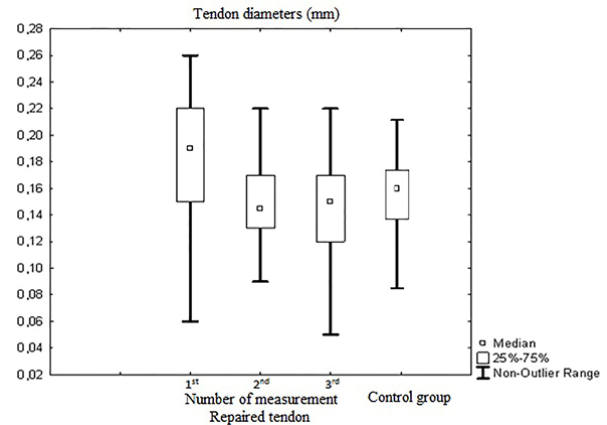
Hasarlanmamış tendonların iki ölçümünde gözlemci içi güvenilirlik için Kappa testi kullanıldı ve istatistiksel olarak anlamlı bir uyum saptandı ($p < 0,05$); κ değerleri sırasıyla 0,687 ve 0,756.

Onarılmış tendonlarda iyileşme sürecinin ultrason ve strain elastografi ile değerlendirilmesi - Ertekin E, Kasar ZS. ve Başaloğlu H.

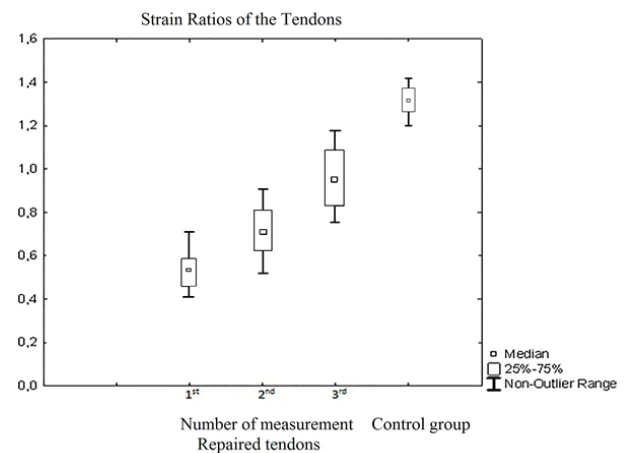
Şekil 1 ve Şekil 2, onarılmış tendonların ve kontrol grubunun tendon çaplarını ve doku gerinim oranlarını göstermektedir. Şekil 3 ve 4'te iki ayrı olgu örneğinde, onarılmış tendon elastikiyetinin zamana göre değişimi ve kontrol olarak belirlenen kontra-lateral ekstremitede aynı tendonlardan yapılan ölçümler gösterilmektedir.

Tendon çaplarının analizinde ilk ve takip ölçümleri arasında anlamlı bir fark bulundu ($p = 0,004$ ve $p = 0,001$). İkinci ve son ölçümler arasında tendon kalınlığı açısından anlamlı fark bulunmadı ($p = 0,451$). Doku gerilimi oranlarının değerlendirilmesinde, son ölçümün önceki ölçümlerden anlamlı düzeyde farklı olduğu bulundu ($p = 0,001$ ve $p = 0,003$). Ancak, birinci ve ikinci ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p = 0,174$) [Tablo 1].

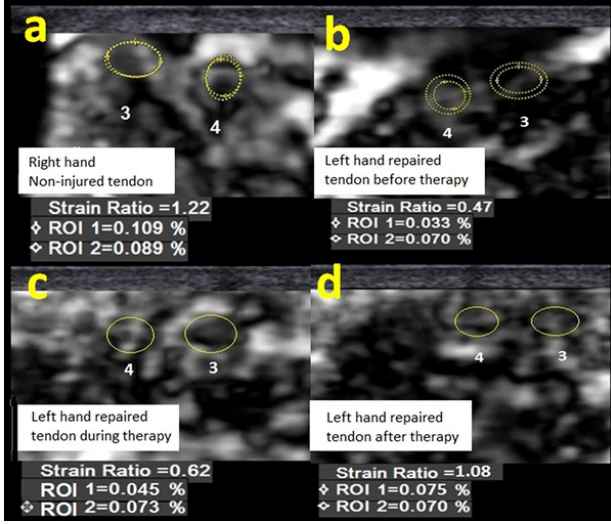
Resim 1. Tendon çaplarının gruplara göre dağılımı.



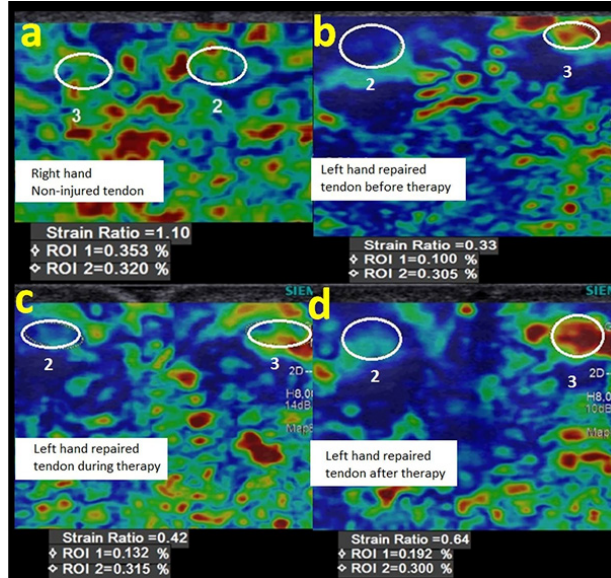
Resim 2. Tendon gerinim oranlarının gruplara göre dağılımı.



Resim 3. Sol el üçüncü parmak fleksör digitorum süperfişiyalis tendon kesisi sonrası opere edilen 45 yaşında erkek hasta. a. Sağ el hasarlanmamış tendon elastografi ölçümü, b-d. Sol el tamirli tendon tedavi öncesi (b), tedavi sırasında (c) ve tedavi sonrası (d) elastografi ölçümleri.



Resim 4. Sol el ikinci parmak fleksör digitorum süperfişiyalis tendon kesisi sonrası opere edilen 34 yaşında kadın hasta. a. Sağ el hasarlanmamış tendon elastografi ölçümü, b-d. Sol el tamirli tendon tedavi öncesi (b), tedavi sırasında (c) ve tedavi sonrası (d) elastografi ölçümleri.



Tablo 1. Tendon kalınlık ve gerinim oranları.

	İlk Ölçüm	İkinci Ölçüm	Son Ölçüm	Kontrol Grubu
Tendon kalınlığı (mm)	0,19 (0,15-0,22)*	0,15 (0,13-0,17)	0,15 (0,12-0,17)	0,16 (0,14-0,17)
Doku Gerinim Oranları	0,53 (0,42-0,71)	0,7 (0,51-0,88)	0,94 (0,76-1,18)**	1,30 (1,20-1,42)

* İlk ölçüm diğerlerinden anlamlı düzeyde farklıdır (p<0,01).

** Son ölçüm diğerlerinden anlamlı düzeyde farklıdır (p<0,01).

Yaralanmayan ekstremitte ile yapılan korelasyon analizinde, son ölçümde tamir edilen tendonun çapı ile kontrol grubu arasında pozitif bir korelasyon bulundu ($r = 0.688$, $p < 0.01$). Elastografi incelemesinde tamir edilen tendon ile kontrol grubu arasında son ölçümlere göre pozitif korelasyon saptandı ($r = 0.685$, $p < 0.01$). Son doku gerinimi oranı ile tedavi sonrası kas kuvveti testi arasında orta derecede pozitif bir ilişki bulundu ($r = 0.493$, $p < 0.01$). Onarılmış tendon US ve SE ölçümleri ve bunların kontrol grubu ve kas gücü testi ile arasındaki ilişki Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Tedavi sonrası korelasyon analizi verileri.

	Kontrol Grubu Tendon çapı (mm)	Kontrol Grubu Gerinim Oranları	Onarılmış tendon Kas gücü
Onarılmış Tendon Son çapı (mm)	$r = 0.688$ $p = 0.000$	-	$r = -0.169$ $p = 0.310$
Onarılmış tendon Son gerinim oranı	-	$r = 0.685$ $p = 0.000$	$r = 0.493$ $p = 0.002$

Tartışma

Sonoelastografi ile tendon iyileşmesini değerlendiren ilk birkaç çalışmadan biri olan çalışmanın sonuçları, tamir edilen tendonların iyileşme sürecinin değerlendirilmesinde sonoelastografinin kullanılabileceğini göstermiştir. Bulgularımıza göre, tamir edilen tendon elastikiyeti yaralanmamış tendonlara göre azalır ve elastikiyet iyileşme sürecine paralel olarak zamanla artar.

Tendon iyileşmesi, mekanik stimülasyon ve çevresel faktörlerden etkilenen çok düzenli moleküler sinyalleşme olayları gerektiren düzenli bir süreçtir. Vücudun yaralan-

madan sonraki ilk tepkisi, Kemik Morfogenetik Proteinleri (BMP'ler), Dönüştürücü Büyüme Faktörleri (Dönüştürme = TGF; İnsülin benzeri = IGF; Vasküler Endotelial = VEGF gibi), vb proinflamatuvar sitokinler tarafından kontrol edilen yara bölgesine enflamatuvar hücre göçü ve anjiyogenezdir. Daha sonra, fibroblastlar tip 3 kollajen (proliferasyon aşaması) tarafından domine edilen hücre dışı matris (ECM) üretmeye başlar. Bu enflamatuvar süreç, dokuda bir ECM ve sıvı artışına neden olur. Yaklaşık 10 hafta sonra, selülarite ve matris üretimi azalır ve rejenerasyon aşaması başlar. Rejenerasyon aşamasında, kollajen tip 3, tip 1'e dönüştürülür ve kollajen lifleri daha lifli ve organize olur. 1-2 yıl sürebilen bu dönemde, tendon sertliği artar ve mukavemet artar (8,9).

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen bilgilerle benzer şekilde, ilk 4 haftada tamir edilen tendonların çaplarının, yaralanmamış tendonların çaplarından daha yüksek olduğunu bulduk. Ek olarak, tendon ekojeniteleri belirgin heterojendi. Tendon çapındaki artış ve heterojen ekojenite, literatürde yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir (10-12). Bununla birlikte, bu çalışmaların hiçbirinde izlem görüntüleme yoktu. Bu çalışma, izlem görüntüleme ile tendonların çapının ve ekojenitesinin iyileşme sürecinde kademeli olarak normale döndüğünü göstermiştir. Takip görüntüleme döneminde ikinci (4-6 hafta arası) ve üçüncü (12. hafta sonu) ölçümleri arasında anlamlı bir fark bulamadık. Bunun nedeni, 2. ve 3. ölçümler arasındaki aktif egzersiz programı sonucunda kas ve tendon hacmindeki artış olabilir. Tedavi uyumu iyi olan hastalarda tendon çaplarında hafif bir artış ve tedavi uyumu olmayan hastalarda çapı farklı olmaması bu tezimizi desteklemektedir.

Sonoelastografi ile yapılan çalışmalar, elastografinin lezyonları B-mode US ile karşılaştırıldığında daha erken tespit edebileceğini göstermektedir [13-18]. Yamamoto ve arkadaşları (17) elli gönüllüde 100 asemptomatik Aşil tendonunu incelediler ve B mode US'de normal olmasına rağmen 36 Aşil tendonunda doku gerinim oranlarının yüksek olduğunu ve bunların Aşil tendonlarında mikrodejenerasyon belirtileri olduğunu belirtti. Ooi ve arkadaşları (18), üniversite voleybol yarışması sırasında 35 voleybolcunun patellar tendonlarını SE ile incelemiş ve SE verileri ile fizik muayene sonuçları arasında tendinopati açısından pozitif korelasyon bulmuşlardır.

Mevcut çalışmada onarılmış tendonlardaki iyileşmeyi değerlendirmek için SE uyguladık ve postoperatif dönemde, kontra-lateral yaralanmayan tendonlara göre tamir edilen tendonların tendon sertliğinde bir artış gözlemledik. Literatür taramamızda, US (19-21) ve elastografi (5-7,22) ile tamir edilmiş tendonlarda az sayıda çalışma bulduk. Sonuç olarak, mevcut çalışmamızın sonuçları ile paralel olarak, tamir edilen tendonların sertliğinin arttığını gözlemlediler. Mevcut çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak, iyileşme sürecinde tendon elastikiyetindeki değişiklikleri gözlemek için tendon elastikiyetlerini tedavi öncesi, tedavi sırasında ve tedavi sonrasında olmak üzere üçer kez ölçüm yaptık. Ameliyat sonrası artmış olan onarılmış tendon sertliğinin, fizik tedavi programı sırasında kademeli olarak azaldığını ve tedavinin sonunda yaralı olmayan tendon sertliğine yaklaştığını gözlemledik.

Çalışmamızda tedavi etkinliğini değerlendirmek için, tedavi bitiminden sonra kas kuvvetini değerlendirdik. Kas gücünün değerlendirilmesinde farklı yöntemler bulunmasına rağmen, en sık kullanılan yöntem, uygulama kolaylığı ve ek ekipman gerektirmemesi nedeniyle Tıbbi Araştırma Konseyi Manuel Kas Gücü Testi'dir (MRC-MMST). Ekstremiteler kaslarının uygulanan kuvvete olan direncine dayanarak kas gücünü 0'dan 5'e kadar derecelendiren bu yöntem, uygulayıcıya bağımlı subjektif bir yöntemdir. El kavrama dinamometresi gibi daha az öznel olan ve kantitatif değerler veren bazı yöntemler mevcut olmakla beraber bunların hiçbiri yaygın kullanıma ulaşmamaktadır (23-26). Biz de kolay uygulanabilir ve objektif bir teste ihtiyaç duyulduğundan dolayı, US ve sonoelastografinin bu amaçla kullanılabilirliğini araştırdık.

Çalışmamızda, tedavi sonrası onarılan tendonlar ile hasarlanmamış tendonların çapları arasındaki yüksek korelasyon ($r = 0,688$, $p < 0,001$) olmasına rağmen, tendon çapları ile tedaviden sonra yapılan manuel kas kuvveti testi arasında ilişki bulunmadı ($r = -0,169$, $p = 0,310$). SE incelemede, onarılmış tendon ile hasarlanmamış tendon esneklikleri arasında yüksek düzeyde ($r = 0,685$, $p < 0,001$) ve onarılmış tendon sonoelastisite ile manuel kas gücü testi arasında ise orta düzeyde bir korelasyon bulundu ($r = 0,493$, $p = 0,002$). Bu sonuç, sonoelastografinin tedavi yanıtı hakkında değerli bilgiler sağladığını gösterirken, US'nin bu amaç için yeterli olmadığını göstermiştir.

Sınırlılıklar: Çalışmamızın ana kısıtlılığı, yarı kantitatif ölçümler veren ve kullanıcı bağımlılığı yüksek olan SE yönteminin kullanılmasıdır. Diğer bir kısıtlılık, ölçümlerin tek bir radyolog tarafından yapılmış olmasıdır. Bununla birlikte, yüksek gözlemci içi tutarlılık ve ölçümlerin takip ölçümleri olması, SE'nin standardizasyon problemini bir dereceye kadar azalttığını düşünmekteyiz. Ölçüm yapılan tendonların farklılık göstermesi diğer bir kısıtlılık sayılabilir. Çalışmamızdaki hasta sayısı daha homojen bir tendon grubu ile çalışmamıza izin vermedi. Daha fazla hasta sayısı ile ve belirli bir tendon grubuyla yapılan ileri çalışmalar, sonoelastografi ile tamir edilen tendonların iyileşme süreci hakkında daha fazla yol gösterici bilgi sağlayacaktır.

Sonuç

Hasarlanma sonucu tendon yapısında meydana gelen değişiklikler, sonoelastografi ile US'den daha önce tespit edilebilmektedir. Elastografi ile yapılacak takip görüntülemeler, tendon sertliğinde zaman içindeki değişimi göstererek tedavi süreci hakkında yararlı bilgiler verebilir. Bu nedenden dolayı elastografi, hasarlanma sonrası iyileşme takibinde, prognozu belirlemede ve tedaviyi yönlendirmede umut verici bir yöntem olabilir.

Kaynaklar

1. Sanal HT. Radiologic Imaging Methods in Evaluation of the Musculoskeletal System. TOTBID Journal 2013;12:1-6.
2. Yakut Z, Turan A, Teber M. Ultrasound Elastography in Musculoskeletal System Applications. Selcuk Med J 2014;30:88-92.
3. Verim S, Samet S. Ultrasound in Musculoskeletal and Soft Tissue Lesions. TOTBID Journal 2013;12:7-12.
4. Klauser AS, Miyamoto H, Bellmann-Weiler R, Feuchtner GM, Wick MC, Jaschke WR. Sonoelastography: Musculoskeletal Applications. Radiology 2014;272:622-33.
5. 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 Rupture Using In Vivo Ultrasound Shear Wave Elastography. Med Sci Monit 2016;22:1186-91.
6. Zellers JA, Cortes DH, Silbernagel KG. From acute achilles tendon rupture to return to play—a case report evaluating recovery of tendon structure, mechanical properties, clinical and functional outcomes. Int J Sports Phys Ther 2016;11:1150-9.
7. Karatekin YS, Karaismailoglu B, Kaynak G, Ogut T, Dikici AS, Ure Esmerer E, et al. Does elasticity of Achilles tendon change after suture applications? Evaluation of repair area by acoustic radiation force impulse elastography. J Orthop Surg Res 2018;13:45
8. Freedman BR, Gordon JA, Soslowsky LJ. The Achilles tendon: fundamental properties and mechanisms governing healing. Muscles Ligaments Tendons J 2014;4:245-55.
9. Docheva D, Müller SA, Majewski M, Evans CH. Biologics for tendon repair. Adv Drug Deliv Rev 2015;84:222-39.
10. O'Connor PJ, Grainger AJ, Morgan SR, Smith KL, Waterton JC, Nash AF. Ultrasound assessment of tendons in asymptomatic volunteers: a study of reproducibility. Eur Radiol 2004;14:1968-73.
11. McNally EG. The development and clinical applications of musculoskeletal ultrasound. Skeletal Radiol 2011;40:1223-31.
12. Bühler M, Johnson G, Meikle G. Longitudinal in vivo ultrasound observations of the surgically repaired zone II flexor digitorum profundus tendon. Ultrasound Med Biol 2015;41:3018-22.
13. De Zordo T, Chhem R, Smekal V, Feuchtner G, Reindl M, Fink C, et al. Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendons and comparison to healthy volunteer. Ultraschall Med 2010;31:394-400.
14. 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.
15. 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.

16. Teber MA, Oğur T, Bozkurt A, Er B, Turan A, Gülbay M, et al. Real-time sonoelastography of the quadriceps tendon in patients undergoing chronic hemodialysis. *J Ultrasound Med* 2015;34:671-7.
17. Yamamoto Y, Yamaguchi S, Sasho T, Fukawa T, Akatsu Y, Nagashima K, et al. Quantitative ultrasound elastography with an acoustic coupler for achilles tendon elasticity: Measurement, repeatability and normative values. *J Ultrasound Med* 2016;35:159-66.
18. Ooi CC, Richards PJ, Maffulli N, Ede D, Schneider ME, Connell D, et al. A soft patellar tendon on ultrasound elastography is associated with pain and functional deficit in volleyball players. *J Sci Med Sport* 2016;19:373-8.
19. Karjalainen PT, Ahovuo J, Pihlamajamaki HK, Soila K, Aronen HJ. Postoperative MR imaging and ultrasonography of surgically repaired Achilles tendon ruptures. *Acta Radiol* 1996;37:639-46.
20. Verdano MA, Zanelli M, Aliani D, Corsini T, Pellegrini A, Ceccarelli F. Quadriceps tendon tear rupture in healthy patients treated with patellar drilling holes: clinical and ultrasonographic analysis after 36 months of follow-up. *Muscles Ligaments Tendons J* 2014;4:194-200.
21. Lee SC, Williams D, Endo Y. The repaired rotator cuff: MRI and Ultrasound evaluation. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2018;11:92-101.
22. Tan S, Kudaş S, Özcan AS, İpek A, Karaoğlanoğlu M, Arslan H, et al. Real-time sonoelastography of the achilles tendon: Pattern description in healthy subjects and patients with surgically repaired complete ruptures. *Skeletal Radiol* 2012;41:1067-72.
23. Paternostro-Sluga T, Grim-Stieger M, Posch M, Schuhfried O, Vacariu G, Mittermaier C, et al. Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. *J Rehabil Med* 2008;40:665-71.
24. Ciesla N, Dinglas V, Fan E, Kho M, Kuramoto J, Needham D. Manual muscle testing: a method of measuring extremity muscle strength applied to critically ill patients. *J Vis Exp* 2011;50:2632.
25. Dekkers KJ, Rameckers EA, Smeets RJ, Janssen-Potten YJ. Upper extremity strength measurement for children with cerebral palsy: a systematic review of available instruments. *Phys Ther* 2014;94:609-22.
26. Bohannon RW. Reliability of Manual Muscle Testing: A Systematic Review. *Isokinetics and Exercise Science* 2018;26:1-8.