



# Tendon tamirinde güçlendirilmiş modifiye Kessler, modifiye Kessler ve Savage yöntemlerinin karşılaştırılması: Biyomekanik çalışma

## *Tendon repair with the strengthened modified Kessler, modified Kessler, and Savage suture techniques: a biomechanical comparison*

Ahmet PİŞKİN,<sup>1</sup> Aydın YÜCETÜRK,<sup>2</sup> Yılmaz TOMAK,<sup>1</sup> Mete ÖZER,<sup>3</sup> Birol GÜLMAN,<sup>1</sup>  
Azat ATAMAN,<sup>1</sup> Mustafa KANGAL,<sup>1</sup> Yılmaz ŞAHİN,<sup>1</sup> Eren DESTELİ,<sup>1</sup> Taner ALIÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı;

<sup>2</sup>Anadolu Sağlık Merkezi Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü; <sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

**Amaç:** Bu çalışmada, basit ve uygulaması kolay, ayrıca erken aktif hareket protokollerinin tamir sahasında oluşturduğu güce dayanabilecek bir dikiş tekniğinin geliştirilmesi amaçlandı.

**Çalışma planı:** Çalışmada, yaşları 12-16 ay arası değişen koyunların tırnaklarına uzanan 30 adet derin fleksör digitorum kasının tendonu kullanıldı. Tendonlar *in situ* tamir edilmek üzere üç gruba ayrıldı. Bir grupta modifiye Kessler tamiri, bir grupta altı dönümlü (six strand) Savage tekniği, son grupta ise güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği uygulandı. Tüm gruplarda tamir tekniği epitendinöz dikişle birlikte kullanıldı. Biyomekanik testlerde tamir sahasında 3 mm ayrılma oluşumu sırasında uygulanan güç ve kopma olana kadar uygulanan maksimum güç kaydedildi.

**Sonuçlar:** Modifiye Kessler tamiri kullanılan grupta 3 mm ayrılma ve kopma değerleri sırasıyla ortalama 29.9±2.9 N ve 37.0±4.0 N bulundu. Bu değerler altı dönümlü Savage tekniği ile sırasıyla 39.1±6.7 N ve 51.3±6.1 N; güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği ile 59.9±8.3 N ve 69.0±8.7 N idi. Güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği kullanılan grupta 3 mm ayrılma ve kopma değerleri diğer iki gruptan anlamlı derecede yüksek; modifiye Kessler tamiri kullanılan grupta her iki değer de anlamlı derecede düşük bulundu (p<0.001).

**Çıkarımlar:** Güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği ile tendon tamiri kopmaya karşı olduğu kadar 3 mm ayrılmaya karşı da en yüksek direnci göstermektedir. Bu biyomekanik özellikler, tamir alanında açılma olmaksızın güvenli bir şekilde aktif harekete izin verebilir.

**Anahtar sözcükler:** Biyomekanik; kopma; koyun; dikiş teknikleri; tendon/cerrahi; germe kuvveti.

**Objectives:** The aim of the study was to develop a suture technique that would be simple and easy to perform, but also strong enough to resist the strength formed during early active exercise protocols.

**Methods:** Thirty flexor digitorum profundus muscle tendons were obtained from lambs aged 12 to 16 months. The tendons were assigned to three *in situ* repair groups, including the modified Kessler technique, six-strand Savage technique, and a strengthened modified Kessler technique, all combined with an epitendinous suture. Each group was subjected to biomechanical tests and the maximum strength of the tendons to rupture and the power exerted to yield a 3-mm separation were recorded.

**Results:** The mean strengths of the tendons repaired with the modified Kessler technique for 3-mm separation and rupture were 29.9±2.9 N and 37.0±4.0 N, respectively. The corresponding forces were 39.1±6.7 N and 51.3±6.1 N with the six-strand Savage technique, and 59.9±8.3 N and 69.0±8.7 N with the strengthened modified Kessler technique, respectively. Forces to produce a 3-mm separation and rupture were significantly higher with the strengthened modified Kessler repair, whereas the lowest forces were seen with the modified Kessler technique (p<0.001).

**Conclusion:** Tendon repair with the strengthened modified Kessler technique provides the highest resistance to both 3-mm separation and rupture. These biomechanical properties may allow safe and active motion without any gap formation in the repair area.

**Key words:** Biomechanics; rupture; sheep; suture techniques; tendons/surgery; tensile strength.

Tendon cerrahisinde yapışıklık, açılma ve tamir sahasında yırtılma gibi sorunlarla başa çıkabilmek için pek çok tamir yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca, cerrahi sonrası sonuçları iyileştirmek için tamir edilmiş tendona ameliyat sonrası aktif ya da pasif hareket programları bildirilmiştir.<sup>[1,2]</sup> Ancak, siklik aktif yüklenmeler sırasında tamir sahasına oldukça fazla yük bindiğinden, ameliyat sonrası tendon yapışıklıklarını önlemede etkin olduğu kanıtlanan erken hareket protokolleri güçlü dikiş tekniklerine ihtiyaç göstermektedir. Tamir sahasından geçen dikiş bacağının sayısı arttıkça, tamir alanında gerilme kuvvetinin önemli miktarda arttığı bildirilmiştir.<sup>[3,4]</sup> Ayrıca, kompleksitesinin artması ve çok fazla manipülasyon gerektirdiğinden bu tip dikiş teknikleri pratik uygulamada güçlükler içermektedir.<sup>[5,6]</sup> Bu bilgilerin yanı sıra, tendon cerrahisinde yaygın olarak kullanılan basit epitendinöz dikiş ile kombine edilmiş modifiye Kessler dikiş tekniğinin de, kolay ve pratik uygulanabilir olmasına rağmen, erken aktif harekete izin verecek kadar güçlü olmadığı bildirilmiştir.<sup>[7,8]</sup>

Bu çalışmada, basit ve uygulaması kolay, ayrıca erken aktif hareket protokollerinin tamir sahasında oluşturduğu güce dayanabilecek bir dikiş tekniğinin geliştirilmesi amaçlandı.

## Gereç ve yöntem

Çalışmada, yaşları 12-16 ay arası değişen koyunların tırnaklarına uzanan 30 adet derin fleksör digitorum longus kasının tendonu kullanıldı (Şekil 1). Bu tendonların kullanılmasının nedeni, kolay elde edilebilirliği yanı sıra hem kalibrasyonlarının 4-5 mm olmasından dolayı insan el tendonları ile benzerlik göstermesi, hem de 10-12 cm'lik uzunluklarından dolayı test cihazına kolay uygulanabilir olmalarıdır. Tendonlar, entegre et tesislerinden elde edilen koyun bacaklarından aynı günde çıkarıldı ve çalışmanın yapılacağı güne kadar serum fizyolojik em-

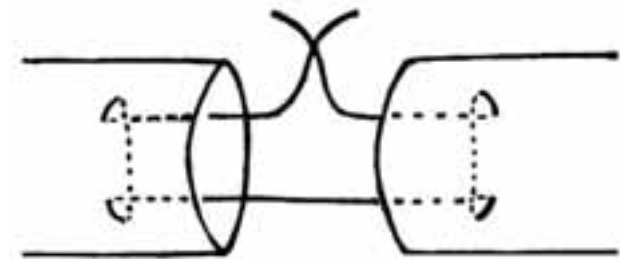


**Şekil 1.** Derin fleksör digitorum longus kası tendonunun bacakta diseke edilmiş ve serbest haldeki görüntüsü.

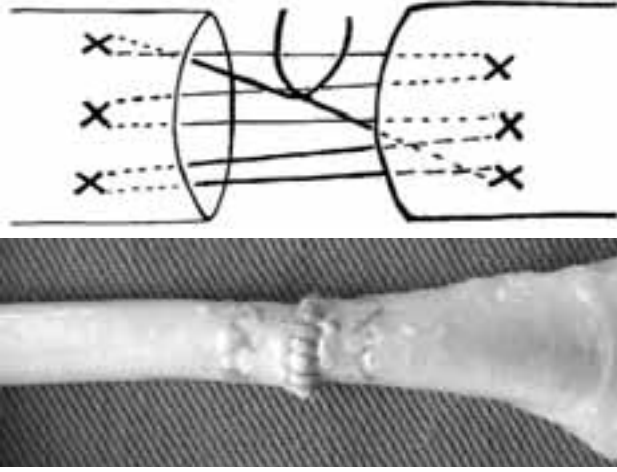
dirilmiş spançlara sarılarak plastik torbalar içinde eksi 20 °C'de saklandı. Tendonların çalışma gününde oda ısısında çözünmesi sağlandıktan sonra tüm çalışma sürecinde serum fizyolojik ile ıslatılmış spançlar ile nemli tutulmasına özen gösterildi. Tendonlar öncelikle her iki uçtan tamiri mümkün kılan bir tahta plakanın üzerindeki çivilere bağlandı. Böylece, rahat tamir ve manipülasyon imkanı sağlandıktan sonra, tendon orta hattan keskin biçimde transvers olarak kesildi. Daha sonra tendonlar *in situ* tamir edilmek üzere üç gruba ayrıldı.

Bir grupta modifiye Kessler tamiri (Şekil 2), bir grupta altı dönüslü (six strand) Savage tekniği (Şekil 3), son grupta ise güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği (Şekil 4) uygulandı. Tüm gruplarda tamir tekniği epitendinöz dikişle birlikte kullanıldı.

Güçlendirilmiş modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniğinde, kesik olan tendon uçlarının birinden klasik modifiye Kessler tekniğindeki gibi dikiş geçirilir. Daha sonra, kesi uçlarına 2 mm mesafeden ve tendonun vaskülaritesini bozmayacak şekilde palmar 1/2'lik bölgeden kesiye paralel U dikiş geçirilip düğümlenir. Aynı işlem diğer tendon bacağına da uygulandıktan sonra dikiş düğümlenir. Epitendinöz dikişler, daha önce konulmuş transvers U dikişlerin arkasından geçilerek dikiş tamamlanır. Tendona önce konulan U dikişinin amacı modifiye Kessler dikiş tekniği sırasında oluşabilen akordiyonlaşma etkisini ortadan kaldırmak ve epitendinöz sirküler dikişlerin tendon uçlarını yırtmasına engel olarak gücü artırmaktır.



**Şekil 2.** Modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniğinin şematik görüntüsü ve tendon üzerinde uygulanmış hali.

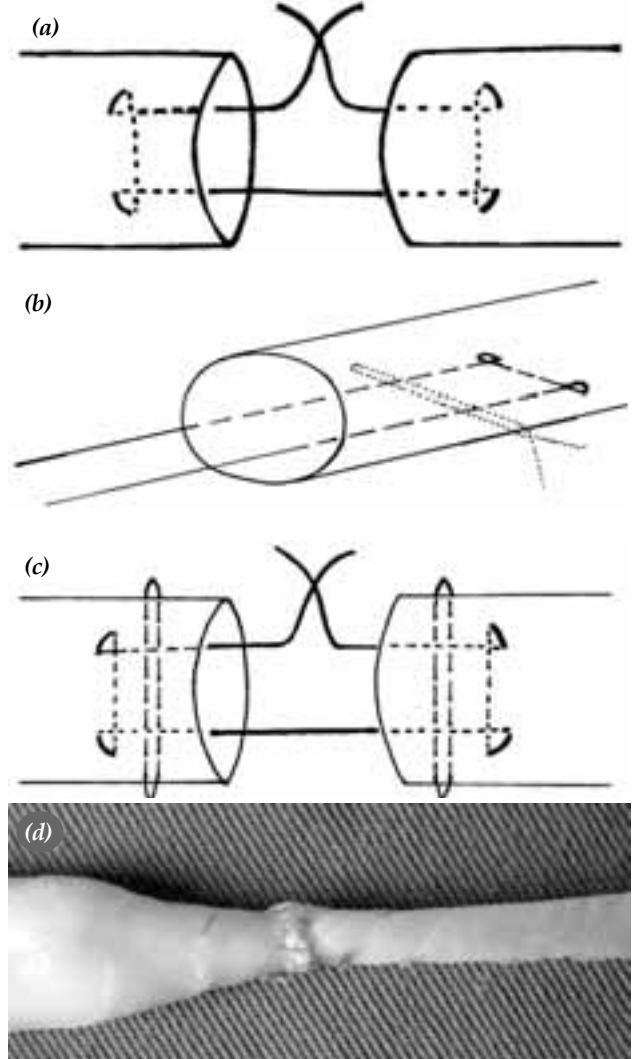


**Şekil 3.** Altı dönüşlü (Savage)+epitendinöz dikiş tekniğinin şematik görüntüsü ve tendon üzerinde uygulanmış hali.

Ana dikişler için 4/0 örgülü polyester dikiş (Ethibond), epidendinöz dikiş için 5/0 propilen monoflaman (Prolene) tercih edildi. Her grupta 10 tendon hazırlandı ve test edildi. Testler uluslararası standartlarda ve duyarlılıkta ölçümler yapabilen bir cihazda (Lloyd LRX 5K material testing machine, Lloyd Instrument Ltd., Farham, İngiltere) yapıldı (Şekil 5). Ölçümler sırasında maksimum yüklenmelerde bile tendonun kaymasına izin vermeyen orijinal kelepçeler kullanıldı. Tendonlar ilk önce dikiş hattı kelepçelere yaklaşık 3'er cm olacak ve kelepçelerin içinde de en az 3'er cm kalacak biçimde cihaza sıkıca tespit edildi. Daha sonra, 2 Newton'luk (N) hafif bir öngermede bir dakika bekletilen tendonların olası gevşeklikleri giderilerek uyumu sağlandı. Daha sonra 10 mm/dk sürekli traksiyona başlandı. Testte tamir sahasında 3 mm ayrılma oluşumu sırasında uygulanan güç ve kopma olana kadar dayandığı maksimum güç kaydedildi.

Tendon uçları arasındaki ayrılma, 2.5 büyütme cerrahi loop ve 3 mm'ye ayarlı elektronik kumpas yardımıyla makroskopik olarak belirlendi. Hem ön hem arka yüzün aynı anda gözlemlenebilmesi için küçük bir aynadan yararlanıldı. Tendon dikişlerindeki kopma hem doğrudan gözlem hem de cihazın güç göstergesinde ani düşme nedeniyle kolaylıkla tespit edildi.

Veriler ortalama±standart sapma (ort.±SS) olarak sunuldu. Veriler normal dağılıma uyduğu için gruplararası karşılaştırmalarda varyans analizi (ANOVA) ve *post hoc* Tukey HSD testleri kullanıldı.  $P<0.05$  değeri anlamlılık sınırı olarak alındı.

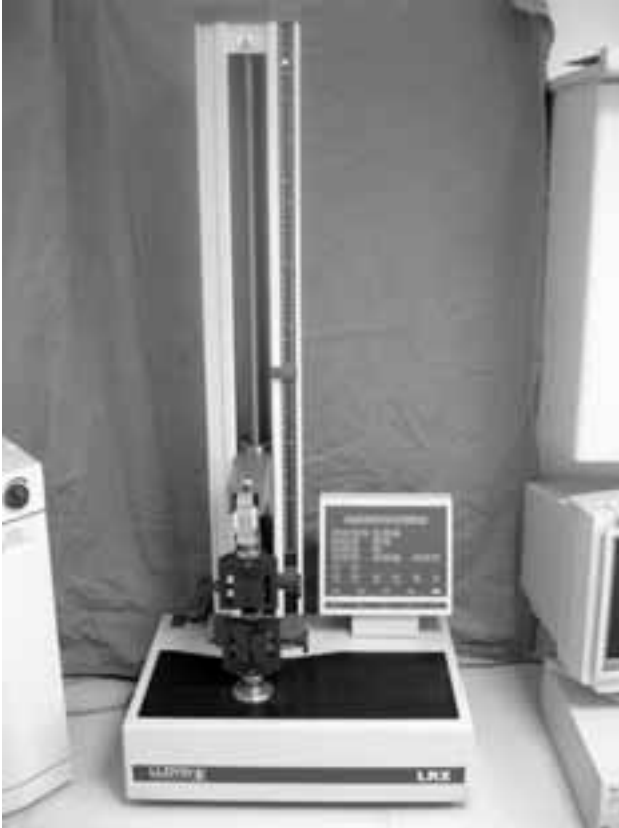


**Şekil 4.** Güçlendirilmiş modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniğinin şematik görüntüsü. (a) Tendon uçlarından modifiye Kessler tekniğine göre dikiş geçilmesi. (b) Dikiş uçlarının düğümlenmesinden önce tendon uçlarına serbest dikişlerin yerleştirilmesi. (c) Serbest dikişlerin düğümlenmesinden sonra modifiye Kessler tekniğinin tamamlanması. (d) Tekniğin tendon üzerinde uygulanmış hali.

## Sonuçlar

Modifiye Kessler tamiri kullanılan grupta 3 mm ayrılma ve kopma değerleri sırasıyla ortalama  $29.9\pm 2.9$  N ve  $37.0\pm 4.0$  N bulundu. Bu değerler altı dönüşlü Savage tekniği kullanılan grupta sırasıyla  $39.1\pm 6.7$  N ve  $51.3\pm 6.1$  N; güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği kullanılan grupta  $59.9\pm 8.3$  N ve  $69.0\pm 8.7$  N idi.

Güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniği kullanılan grupta 3 mm ayrılma ve kopma değerleri di-



**Şekil 5.** Test için kullanılan ölçüm cihazı ve elde edilen değerleri elektronik ortama aktaran monitörü.

ğer iki gruptan anlamlı derecede yüksekti. Altı dönüşlü Savage tekniği ile elde edilen 3 mm ayrılma ve kopma değerleri de modifiye Kessler tamiri kullanılan gruptan anlamlı derecede yüksek bulundu ( $p<0.001$ ).

### Tartışma

Fleksör tendon tamirinin amacı parmakların fleksiyonunu restore etmektir. Geçmişte iyileşmenin ekstrinsik mekanizma ile olduğuna inanıldığından adezyonun gelişebilmesi için immobilizasyonun gerekliliği savunulurdu.<sup>[9]</sup> Ancak, parmak hareketlerinde ileri derecede kısıtlılık sıklıkla karşılaşılan bir sonuçtu. İzleyen yıllarda Gelberman ve Manske,<sup>[10]</sup> fleksör tendonların intrinsik iyileşme gücüne sahip olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca, mobilize olan tendonların daha hızlı iyileştiği ve nihai gücünün immobilize tendonlardan daha fazla olduğunun gözlenmesi üzerine, ameliyatta kullanılan dikiş teknikleri ve sonrasında kullanılan rehabilitasyon programlarında da değişiklikler yapılmıştır.<sup>[11]</sup> Ameliyat sonrası rehabilitasyonun amacı tendonu hareketli halde tutarak yapışıklıktan korumaktır. Bu rehabilitasyo-

nun etkinliğini belirleyen iki önemli faktör vardır. Bunlardan birincisi dikiş kuvvetidir. Dikiş gücü, rehabilitasyon sırasında uygulanacak olan kuvvetten daha fazla olmalıdır; şayet fazla değilse tendon kopar. Diğer faktör ise tendon ile pulley sistemi arasındaki kayma direncidir. Ameliyat sonrası rehabilitasyonda uygulanan güç kayma direncinden büyük olmalıdır, aksi takdirde tendon hareket etmez ve yapışıklık olur. Bu iki faktör tendon cerrahisi sonrası güvenlik sınırlarını oluşturmaktadır.<sup>[12]</sup>

Fleksör tendonlar direnç uygulamadan yapılan pasif fleksiyon sırasında 2-4 N, hafif derecede dirence karşı yapılan fleksiyonda 10 N, orta derece dirence karşı fleksiyonda 17 N güç uygular. Güçlü kavrama sırasında bu miktar 70 N'ye kadar çıkabilmektedir.<sup>[13,14]</sup> Tendon tamirlerinden sonra erken aktif harekete güvenli biçimde başlayabilmek için tendonun başlangıç gücünün, hafif dirence karşı fleksiyonda oluşturacağı gücün yaklaşık beş katı büyüklükte olması gerektiği bildirilmiştir. Çünkü, gelişecek olan ödem, eklem sertlikleri, yapışıklık ve tamir sahasında gelişen kayma direnci, bu değerlerin üzerine çıkılmasını zorunlu hale getirir.<sup>[15,16]</sup> Erken aktif hareket kavramından sonra önem kazanan bir diğer nokta da tamir alanında açıklık oluşumudur. Arada oluşan boşluğun fibröz doku ile dolduğu, bunun sonucunda da tendonun gücünde ve toplam eklem hareketlerinde azalma olduğu, sertlik ve kopma oranının arttığı gösterilmiştir.<sup>[12,17]</sup> Wade ve ark.<sup>[18]</sup> bir tendon dikiş tekniğinin en önemli mekanik özelliğinin açılmaya karşı olan direnci olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum kopma olmadan dikiş sahasında ayrışmanın başlaması ve 3 mm uzama olarak tanımlanmıştır.

Yapılan çalışmalar, ülkemizde ve dünyada tendon tamir yöntemi olarak sıklıkla kullanılan modifiye Kessler+epitendinöz dikiş yönteminin yeteri kadar güçlü olmadığını ortaya koymuştur.<sup>[11,19,20]</sup> Daha güçlü tamir yapabilmek için farklı dikiş teknikleri denenmiştir.<sup>[14,21]</sup> Bu çalışmalarda, tamir gücünün, dikiş tasarımı ve tamir sahasını geçen dikiş bacak sayısı ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir.<sup>[3,4,22,23]</sup>

Modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniğinin en önemli özelliği, teknik olarak kolay uygulanabilir olması ve uygulama sırasında zaman almamasıdır. Çalışmamızda bu tekniğin test sonuçlarında ortalama  $37.0\pm 4.0$  N distraksiyon kuvveti elde edildi. Bu değerler, fleksör tendonlarda hafif ve orta derecelerde üretilen kuvvet göz önüne alındığında, ameliyat

sonrası erken dönemde aktif harekete başlamaya yeterli görülmemektedir. Aynı grupta 3 mm ayrılma test sonuçlarında elde edilen ortalama  $29.9 \pm 2.9$  N'lik kuvvet de, bu tekniğin erken harekete başlamak için uygun bir tercih olmadığını düşündürmektedir. Literatürde bu sorunu aşmak için pek çok yeni teknik tanımlanmıştır. Ancak, bunların pek çoğu uygulaması güç ve zaman alıcı tekniklerdir. Son yıllarda Savage tekniği sağladığı biyomekanik avantajlar nedeniyle tendon cerrahisinde benimsenir olmuştur. Ölçümlerde, Savage tekniğinin uygulandığı grupta  $51.3 \pm 6.1$  N'lik distraksiyon kuvveti ve  $39.1 \pm 6.7$  N'lik 3 mm ayrılma kuvveti elde edildi. Bu değerlere göre Savage tekniği, modifiye Kessler tekniğine göre erken aktif harekete başlamak için daha güvenli tamir imkanı sağlamaktadır. Ancak, bu tekniğin modifiye Kessler yöntemine göre uygulaması hem zor hem de zaman alıcı olması nedeniyle dezavantajları da bulunmaktadır. Bu tekniği uygulamadaki güçlük, cerrahi sırasında daha fazla tendon manipülasyonu ile birlikte daha travmatik cerrahi de gerektirmektedir.<sup>[19]</sup> Bu dezavantajlar nedeniyle, uygulaması hem basit, hem de güçlü ve güvenilir bir teknik geliştirmeyi amaçladık. Geliştirdiğimiz yöntemin test sonuçlarında, distraksiyon kuvveti  $69.0 \pm 8.7$  N, 3 mm ayrılma kuvveti  $59.9 \pm 8.3$  N bulunmuştur. Biyomekanik test sonuçlarından da anlaşılabilceği gibi, kolay ve alışıldık bir uygulama olan modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniği, kesik olan tendonun uçlarına paralel birer ilave dikiş ile literatürde biyomekanik olarak iddialı olan altı donüslü (Savage)+epitendinöz dikiş tekniğinden daha kuvvetli hale gelebilmektedir. Güçlendirilmiş modifiye Kessler tekniğinin test sonuçlarında dikkati çeken bir diğer önemli biyomekanik özellik, kopmaya karşı göstermiş olduğu yüksek direncin yanı sıra 3 mm ayrılmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir. Bu sayede ayrılma olmaksızın güvenli bir şekilde aktif harekete izin verme imkanı sağlayabilir. Bununla birlikte, açıklık üzerine Tran ve ark.nın<sup>[16]</sup> yaptıkları bir uyarının göz önüne alınması gerektiğini düşünüyoruz. Yazarlar, tendon tamirlerinden sonra osilatör, rezidüel ve katabolik olmak üzere aslında üç çeşit ayrılma oluştuğunu belirterek, tek ve sürekli çekimle gerçekleştirilen tendon biyomekanik testlerinde bu oluşumların ayırt edilemeyeceğini, bunun için siklik yüklenmelerle yapılan testlere ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Ameliyat sonrası rehabilitasyon programlarının siklik yüklenmeler şeklinde olduğu düşünülürse, ge-

lecekte yapılacak olan tendon biyomekanik çalışmalarında siklik yüklenmelerle yapılan ölçümlerin daha sağlıklı sonuçlar vereceğini düşünüyoruz.

Güçlendirilmiş modifiye Kessler+epitendinöz tamir yöntemi, sağlamış olduğu uygulama kolaylığı ve biyomekanik avantajın yanı sıra, tendon uçlarına paralel geçilen dikiş sayesinde modifiye Kessler+epitendinöz dikiş tekniğinde tamir sahasında oluşan kabalaşmayı önlemekte ve bu sayede daha düzgün ve kaygan bir tamir sahası elde edilmektedir. Tendon uçlarında akordiyonlaşma olmadığı için kayma direncinin de daha düşük olacağını düşünüyoruz.

Bu çalışmada elde edilen *in vitro* biyomekanik sonuçların fleksör tendon yaralanmalarının tamirinde ümit verici olduğunu düşünüyoruz. Ancak, güçlendirilmiş modifiye Kessler+epitendinöz tamir yönteminin denendiği bu çalışma ancak birinci basamak bir çalışmadır. Çalışmamızda ek dikişlerin tendon beslenmesine ve iyileşme sürecine etkileri çalışılmamıştır. Klinik uygulamaya geçilmeden önce *in vivo* çalışmaların değerlendirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yönde yapılacak daha ileri *in vivo* çalışmalar, günümüzde her türlü teknolojik gelişmeye karşın ciddi bir sorun olarak karşımızda duran fleksör tendon yaralanmalarının tedavisine önemli katkılar sağlayacaktır.

## Kaynaklar

1. Kleinert HE, Kutz E, Ashbell TS, Martinez E. Primary repair of lacerated flexor tendon in no man's land. J Bone Joint Surg [Am] 1967;49:577.
2. Lee H. Double loop locking suture: a technique of tendon repair for early active mobilization. Part II: Clinical experience. J Hand Surg [Am] 1990;15:953-8.
3. Kubota H, Aoki M, Pruitt DL, Manske PR. Mechanical properties of various circumferential tendon suture techniques. J Hand Surg [Br] 1996;21:474-80.
4. Winters SC, Gelberman RH, Woo SL, Chan SS, Grewal R, Seiler JG 3rd. The effects of multiple-strand suture methods on the strength and excursion of repaired intrasynovial flexor tendons: a biomechanical study in dogs. J Hand Surg [Am] 1998; 23:97-104.
5. Wagner WF Jr, Carroll C IV, Strickland JW, Heck DA, Toombs JP. A biomechanical comparison of techniques of flexor tendon repair. J Hand Surg [Am] 1994;19:979-83.
6. Strickland JW. Flexor tendon injuries: I. Foundations of treatment. J Am Acad Orthop Surg 1995;3:44-54.
7. Zatiti SC, Mazzer N, Barbieri CH. Mechanical strengths of tendon sutures. An *in vitro* comparative study of six techniques. J Hand Surg [Br] 1998;23:228-33.
8. Robertson GA, al-Qattan MM. A biomechanical analysis of a new interlock suture technique for flexor tendon repair. J Hand Surg [Br] 1992;17:92-3.
9. Potenza AD. Critical evaluation of flexor-tendon healing and

- adhesion formation within artificial digital sheaths. *J Bone Joint Surg [Am]* 1963;45:1217-33.
10. Gelberman RH, Manske PR. Factors influencing flexor tendon adhesions. *Hand Clin* 1985;1:35-42.
  11. Singer G, Ebramzadeh E, Jones NF, Meals R. Use of the Taguchi method for biomechanical comparison of flexor-tendon-repair techniques to allow immediate active flexion. A new method of analysis and optimization of technique to improve the quality of the repair. *J Bone Joint Surg [Am]* 1998;80:1498-506.
  12. Tanaka T, Amadio PC, Zhao C, Zobitz ME, Yang C, An KN. Gliding characteristics and gap formation for locking and grasping tendon repairs: a biomechanical study in a human cadaver model. *J Hand Surg [Am]* 2004;29:6-14.
  13. Schuind F, Garcia-Elias M, Cooney WP III, An KN. Flexor tendon forces: in vivo measurements. *J Hand Surg [Am]* 1992;17:291-8.
  14. Urbaniak JR, Cahill JD, Mortenson RA. Tendon suturing methods: analysis of tensile strengths. In: American Academy of Orthopaedic Surgeons Symposium on Tendon Surgery in the Hand. St. Louis: Mosby; 1975. p. 70-80.
  15. Savage R. In vitro studies of a new method of flexor tendon repair. *J Hand Surg [Br]* 1985;10:135-41.
  16. Tran HN, Cannon DL, Lieber RL, Abrams RA. In vitro cyclic tensile testing of combined peripheral and core flexor tenorrhaphy suture techniques. *J Hand Surg [Am]* 2002; 27:518-24.
  17. Aoki M, Manske PR, Pruitt DL, Larson BJ. Work of flexion after tendon repair with various suture methods. A human cadaveric study. *J Hand Surg [Br]* 1995;20:310-3.
  18. Wade PJ, Wetherell RG, Amis AA. Flexor tendon repair: significant gain in strength from the Halsted peripheral suture technique. *J Hand Surg [Br]* 1989;14:232-5.
  19. McLarney E, Hoffman H, Wolfe SW. Biomechanical analysis of the cruciate four-strand flexor tendon repair. *J Hand Surg [Am]* 1999;24:295-301.
  20. Barmakian JT, Lin H, Green SM, Posner MA, Casar RS. Comparison of a suture technique with the modified Kessler method: resistance to gap formation. *J Hand Surg [Am]* 1994; 19:777-81.
  21. Wray RC, Weeks PM. Experimental comparison of technics of tendon repair. *J Hand Surg* 1980;5:144-8.
  22. Lawrence TM, Woodruff MJ, Aladin A, Davis TR. An assessment of the tensile properties and technical difficulties of two- and four-strand flexor tendon repairs. *J Hand Surg [Br]* 2005; 30:294-7.
  23. Angeles JG, Heminger H, Mass DP. Comparative biomechanical performances of 4-strand core suture repairs for zone II flexor tendon lacerations. *J Hand Surg [Am]* 2002;27:508-17.