

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
PLASTİK, REKONSTRÜKTİF VE ESTETİK CERRAHİ ANABİLİM DALI

TENDON ONARIMINDA MODİFİYE DEVAMLILIK HORIZONTAL MATRESS
SÜTÜR TEKNİĞİNİN KLASİK TEKNİKLER İLE BİYOMEKANİK
KARŞILAŞTIRILMASI

UZMANLIK TEZİ
DR. SÜLEYMAN ALİYAZICIOĞLU
DOÇ.DR. ENVER ARPACI

2021 DENİZLİ

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
PLASTİK, REKONSTRÜKTİF VE ESTETİK CERRAHİ ANABİLİM DALI

TENDON ONARIMINDA MODİFİYE DEVAMLILIK HORIZONTAL MATRESS
SÜTÜR TEKNİĞİNİN KLASİK TEKNİKLER İLE BİYOMEKANİK
KARŞILAŞTIRILMASI

UZMANLIK TEZİ
DR. SÜLEYMAN ALİYAZICIOĞLU
DOÇ.DR. ENVER ARPACI

2021 DENİZLİ

II

TEŞEKKÜRLER

Mesleki bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum hocam sayın Prof.Dr.

Bahriye İnci Gökalan KARA'ya,

tezimin oluşturulmasında her türlü desteği gösteren, bilgi ve deneyimlerini hoşgörü

ve sabırla aktaran Doç.Dr. Enver ARPACI'ya,

uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, yanında çalışmaktan onur duyduğum, yaşama ve mesleğimizle ilgili birikimleriyle bize ışık tutan, her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr.

Ramazan Hakan ÖZCAN'a

çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Dr. Gökhan AKÇİÇEK'e, beraber çalışmaktan zevk duyduğum asistan arkadaşlarım Dr. Barış ALTAYLI, Dr. İbrahim KANLIKAMA, Dr. Büşra GEDİK TOPRAK, Dr. Yunus BAŞAR'a, başta Himmet GÜLDAŞ ve Mine DOĞAN ŞEN olmak üzere tüm ameliyathane personelimiz ve hemşirelerimize,

bugünlere gelmemizde katkılarını esirgemeyen, varlıklarından her zaman mutluluk ve onur duyduğum çok değerli annem, babam ve aileme

ve son olarak da varlığıyla hayatımda çok büyük değişiklikler oluşturan kedim

botoksa ((:

sonsuz TEŞEKKÜRLER ...

Dr. Süleyman ALİYAZICIOĞLU

Kasım 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ONAY SAYFASI	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
RESİM VE TABLOLAR DİZİNİ.....	IX
ÖZET	X
İNGİLİZCE ÖZET (ABSTRACT).....	XI
GİRİŞ.....	1
<hr/>	
GENEL BİLGİLER.....	3
TARİHÇE.....	3
TENDON MORFOLOJİSİ.....	4
Flexör tendon anatomisi.....	7
Flexör pulley sistemi.....	16
Pulley yaralanmaları.....	18
Elin zone'lara ayrılması.....	19
Flexör tendon beslenmesi	22
Tendon embriyoloji ve histolojisi.....	24
TAVUK FLEKSÖR TENDON ANATOMİSİ.....	26
GELENEKSEL TENDON DİKİŞLERİ.....	27
Uç uca onarım yöntemler.....	27
Çevresel onarım yöntemleri.....	29
Merkezi (core) dikişler.....	30

Tendon çevresini dönen devamlı dikişler.....	32
Loop tekniği.....	33
Tendon onarımı.....	34
TENDON İYİLEŞMESİ VE ADEZYONU.....	35
İnflamatuar veya eksüdatif faz.....	36
Fibroplazi veya proliferasyon fazı.....	36
Remodeling (yeniden yapılanma) fazı.....	37
GEREÇ VE YÖNTEM	39
DENEY ÖNCESİ HAZIRLIK SÜRECİ.....	39
DENEY PROTOKOLÜ.....	39
SÜTÜR SEÇİMİ VE DÜĞÜMÜN YERLEŞİMİ	43
Sütür seçimi.....	43
Düğümün yerleşimi.....	45
MAKROSKOPİK DEĞERLENDİRME.....	45
Modifiye kessler yöntemi görüntüleme	45
Bunnel yöntemi görüntüleme.....	46
Devamlı horizontal matress yöntemi görüntüleme.....	46
BIYOMEKANİK DEĞERLENDİRME.....	47
Biyomekanik testler için örneklerin hazırlanması.....	47
Biyomekanik testlerin yapılması.....	47
Sonuçların istatistiksel analizi.....	49
BULGULAR	49
TARTIŞMA	53
SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	61
ETİK KURUL ONAYI.....	72

SİMGE VE KISALTMALAR

A Pulley → Anüler Pulley

bFGF → Basic Fibroblast Growth Factor

C Pulley → Cruciform Pulley

DIF → Distal İnterfalangeal

ECM → Ekstracellüler Matriks

(F) → Force

FCR → Fleksör Karpi Radialis

FCU → Fleksör Karpi Ulnaris

FDP → Fleksör Digitorum Profundus

FDS → Fleksör Digitorum Superficialis

FPL → Fleksör Pollicis Longus

IBM → International Business Machines

IF → İnterfalangeal

MCF → Metacarpofalangeal

mm → Milimetre

N → Newton

NML → No Man's Land

PA → Palmar Aponöroz

PDS → Polidioksanon

PIF → Proksimal İnterfalangeal

PL → Palmaris Longus

SF → Serum Fizyolojik

SPSS → Statistical Package for the Social Sciences

TSPC → Tenosit Stem Progenitor Cell

UB → Uzunlamasına Bileşen

VBP → Vinkulum Brevis Profundus

VBS → Vinkulum Brevis Süperficialis

VLP → Vinkulum Longus Profundus

VLS → Vinkulum Longus Süperficialis

Yy → Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1	Tendonun çok birimli hiyerarşik yapısının şematik gösterimi.....	5
Şekil 2	Tendon yapısının şematik bir çizimi ve tenositlerin ve TSPC'lerin lokalizasyonu.....	6
Şekil 3 ve 4	Fleksör kasların yapışma yerleri ve anatomisi.....	10
Şekil 5	Camper Chiazması.....	11
Şekil 6	Fleksör kılıf içinde FDP FDS çaprazlaşması.....	12
Şekil 7	Vinkulum ve camper chiazması ilişkisi.....	12
Şekil 8	Pulleylerin yapısı.....	15
Şekil 9	Bir parmağın fleksör kılıf bileşenlerinin lateralden (yan) ve palmardan (alt) görünümleri.....	16
Şekil 10	Başparmağın pulley mekanizması.....	17
Şekil 11	Pulley rüptürü.....	18
Şekil 12	Fleksör tendonların anatomik bölgeleri (Zonları).....	20
Şekil 13	Zon 1'in Moiemmen ve Elliot tarafından; Zon 2'nin Tang tarafından tanımlanan alt zonları.....	21
Şekil 14	Kılıf içindeki fleksör tendonların beslenmesi.....	23
Şekil 15	Fleksör tendonun beslenmesi.....	24
Şekil 16	Tendonun histolojik kesiti.....	25
Şekil 17	Calcaneus tendonu ve superficial dijital fleksör tendon.....	26
Şekil 18	Uç uca onarımda kullanılan bazı sütür teknikleri.....	28
Şekil 19	Bazı çevresel sütür yöntemleri.....	29

Şekil 20	2 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri	30
Şekil 21	4 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri	31
Şekil 22	6 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri.....	32
Şekil 23	Tendon dikişlerinde kilitleyici (locking) ve yakalayıcı (grasping) halkalar.....	33
Şekil 24	Tendon iyileşmesinin aşamaları.....	38
Şekil 25	Modifiye kessler yöntemi.....	40
Şekil 26	Bunnel yöntemi.....	40
Şekil 27	Modifiye devamlı horizontal mattress sütür yöntemi	40

RESİM VE TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Resim 1	Tendonun sütürasyona hazırlanması.....	41
Resim 2A-E	Modifiye Kessler yöntemiyle birlikte kopana kadar yapılan çekme testine bir örnek.....	42
Resim 3A	Modifiye Kessler Yöntemi Başlangıç Aşaması	45
Resim 3B	Modifiye Kessler Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması.....	45
Resim 3C	Modifiye Kessler Yöntemi 5 mm Aralık Aşaması.....	45
Resim 4A	Bunnel Yöntemi Başlangıç Aşaması	46
Resim 4B	Bunnel Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması.....	46
Resim 4C	Bunnel Yöntemi 5 mm Aralık Aşaması.....	46
Resim 5A	Devamlı Horizontal Matress Yöntemi Başlangıç Aşaması.....	46
Resim 5B	Devamlı Horizontal Matress Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması	46
Resim 5C	Devamlı Horizontal Matress Yöntemi 5 mm Aralık Aşaması.....	46
Resim 6	Tinius Olsen H10KT test cihazı.....	48
Tablo 1	Biyomekanik değerlendirme sonuçları.....	49
Tablo 2	Onarım tekniği gruplarının 2 mm aralık değeri, 5 mm aralık ile ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri grup içi ve gruplar arası p değerleri.....	51
Tablo 3	Onarım tekniği gruplarındaki kopma değerleri ile ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri ve gruplar arası p değerleri	51
Tablo 4	Üç dikiş tekniği için başarısızlık modları.....	52

ÖZET

Tendon onarımında modifiye devamlı horizontal matress sütür tekniğinin klasik teknikler ile biyomekanik karşılaştırılması

Dr. Süleyman Aliyazıcıoğlu

Acil servise başvuran travmatik vakaların yaklaşık 1/5'i el yaralanmalarıdır. Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmış bir çalışmada tüm yaralanmaların %1.13'ünün üst ekstremitte yaralanması olduğu ve üst ekstremitede en çok yaralanan bölgenin ise parmaklar olduğu görülmüştür [1].

Fleksör tendon yaralanmaları sık olan, cerrahi tedavi gerektiren, iyileşmesi zaman alan yaralanmalardır. El yaralanmaları hayati tehlikeye neden olmamalarına rağmen fonksiyonel kayıplara ve günlük yaşam aktivitelerinde özürlülük gelişmesine sebep olmaktadır.

İdeal tendon onarım tekniğini geliştirmek amacıyla araştırmacı ve klinisyenler bu konuda pek çok *in vivo* ve *ex vivo* çalışmalar yapmış ve son birkaç on yılda pek çok farklı tendon onarım tekniği tanımlanmıştır. Ancak bazı noktalar genel olarak kabul edilmekle birlikte tek bir ideal onarım tekniği üzerinde uzlaşamamıştır. Çalışmamızdaki deney grubunda kullanacağımız kendi geliştirmiş olduğumuz tendon onarım tekniği bu çalışmaların sonucunda çıkan önemli faktörler arasındaki hassas denge düşünülerek tasarlanmıştır. Tarafımızca önerilen bu tekniğin karşılaştırma için kullanılan diğer tanımlanmış tekniklere göre ideale en yakın teknik olduğunu göstermek amacıyla bu çalışma planlanmıştır.

Sonuçta tarafımızca geliştirilen ve bu çalışmanın deney grubunda kullanılan modifiye devamlı horizontal matress tekniğinin onarım anında hem Modifiye Kessler yönteminden hem de Bunnel yöntemlerinden daha yüksek gerilme kuvveti oluşturduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: tendon onarımı, modifiye kessler yöntemi, bunnel yöntemi, biyomekanik değerlendirme

ABSTRACT

Biomechanical comparison of modified continuous horizontal mattress suture technique with classical techniques in tendon repair

Dr. Süleyman Aliyazıcıoğlu

About 1/5 of traumatic cases admitted to the emergency department are hand injuries. In a study conducted in the United States, it was seen that 1.13% of all injuries were upper extremity injuries and the most injured area in the upper extremity was the fingers.

Flexor tendon injuries are common, require surgical treatment, and take time to heal. Although hand injuries are not life-threatening, they cause functional loss and disability in daily living activities.

In order to develop the ideal tendon repair technique, researchers and clinicians have conducted many in vivo and ex vivo studies on this subject, and many different tendon repair techniques have been described in the last few decades. However, although some points are generally accepted, a single ideal repair technique has not been agreed upon. The tendon repair technique that we have developed, which we will use in the experimental group in our study, has been designed by considering the delicate balance between the important factors as a result of these studies. This study was planned to show that this technique proposed by us is the closest to the ideal technique compared to other described techniques.

In conclusion, it can be said that the modified continuous horizontal mattress technique, which was developed by us and used in the experimental group of this study, creates a higher tensile strength than both the Modified Kessler method and the Bunnel methods at the time of repair.

Key words: tendon repair, modified kessler method, bunnel method, biomechanical evaluation

GİRİŞ

Biyolojik evrime uygun olarak beyin ve elin koordine hareket etmesi, insanların bir enstrümanı ustalıklı çalması veya düşündüğü manzarayı çizebilmesi gibi karmaşık işleri yapabilmesini sağlar. Kazalar, afetler, tufanlar, savaşlar ve kavgalar sonucu el yaralanabilir. Acil servise başvuran travmatik vakaların yaklaşık 1/5'i el yaralanmalarıdır [2]. Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmış bir çalışmada tüm yaralanmaların %1.13'ünün üst ekstremitelere yaralanması olduğu ve üst ekstremitelerde en çok yaralanan bölgenin ise parmaklar olduğu görülmüştür [1].

El yaralanmaları hayati tehlikeye neden olmamalarına rağmen fonksiyonel kayıplara ve günlük yaşam aktivitelerinde özürllük gelişmesine sebep olmaktadır. El yaralanmalarının çoğu iş yerlerinde, kirli ortamlarda, iş makineleri ve kesici aletlerle geliştiğinden yaralar enfekte ve kirlidir. Bu yüzden el yaralanmalarının değerlendirilmesi ve tedavisi çok önemlidir. Dikkatsiz bir girişim veya uygun olmayan rehabilitasyon programları hastalarda duyu, hareket ve beceri yönünden kalıcı hasar gelişmesine neden olabilir [3].

Gelişmiş ülkelerde fleksör tendon yaralanmaları daha çok iş kazası nedeni ile oluşurken gelişmekte olan ülkelerde sosyoekonomik düzey nedeniyle alkol tüketiminin ve taşkınlıkların fazla oluşuna bağlı cam kesileri ilk sırayı almaktadır [4]. Ülkemizde ise her ne kadar istatistiksel değerlendirme tam olarak yapılamasa da fleksör tendon kesilerinin daha çok cam kesisi, daha az olarak da iş kazaları nedeniyle olduğu bilinmektedir [3]. Elde fleksör tendon yaralanmaları en sık zone 2 ve zone 5 te görülmektedir [5]. Onarımlar zamanına göre primer, gecikmiş primer, erken ve geç sekonder olarak sınıflandırılır. Onarımın zamanını belirleyen birçok faktör vardır. Uygun olmayan koşullarda yapılan bir primer onarım, başarısızlıkla sonuçlanır ve parmak fonksiyonunda yetersizliğe neden olur.

Ekstansör tendonlar ise el dorsalinde ince bir cilt dokusunun altında fleksör tendonlara göre daha korunmasız oldukları için yaralanmaları daha sıktır.

Künt travmalarda bile ekstansör tendonlarda rüptürler oluşabilmektedir. Elde ekstansör tendon yaralanmalarının en sık görüldüğü yer zon 1 ve 6 bölgeleridir [6].

Yapılan bazı çalışmalar tendon onarımı sırasında kullanılan tekniğin merkezi (core) dikiş sayısının tendon gerilme kuvveti ile direkt doğru orantılı ilişkisi olduğunu göstermiştir.[7] Bu durum zamanla onarım hattını kat eden çoklu “strand veya uzunlamasına bileşen” (UB) kullanımına ve 4 UB, 6 UB ve hatta 8 UB içeren onarım tekniklerinin tanımlanmasına ve savunulmasına yol açmıştır. Ancak onarım başına kullanılan UB sayısının artması onarım süresi ve iyatrojenik travmanın artmasına neden olmakta ve dolayısıyla tendon iyileşmesini kötü yönde etkilemektedir. Özellikle artan ödem, onarım çapı ve onarım rijiditesinin artmasıyla birlikte tendonun kılıfı içerisinde yapması gereken kayma hareketini zorlaştırdığı ve kayma direncinin arttığı gösterilmiştir. [8] Bununla birlikte iplik sayısının yanında sütün konfigurasyonu, atılan sütün onarım bölgesine uzaklığı, tendon tutma miktarı, sütün materyalinin özellikleri, sütün gerginliği gibi faktörlerin de onarımın biyomekanik özelliklerini etkilediği gösterilmiştir. [9] Tüm bu faktörler kendi başlarına tendon onarım kalitesini sağlamak açısından önem arz etmekle birlikte, UB sayısı örneğinde görülebileceği üzere; tek tek önemsenmemeli ve kullanılan tekniğin bu faktörlerin arasındaki hassas dengeyi sağlaması gerekmektedir. [8]

Fleksör ve ekstansör tendon onarımında birçok teknik bulunmaktadır. Modifiye Kessler ve Bunnel gibi klasik tekniklere ek olarak biz bu çalışmamızda tendon onarımında yeni bir modifiye devamlı horizontal matress sütün tekniği uygulayarak tekniğimizin diğer teknikler ile biyomekanik olarak karşılaştırılmasını amaçladık.

GENEL BİLGİLER

TARİHÇE

Tendon onarımları ile ilgili kaynakların tarihçesi ikinci yüzyıla dayanır. Galen o dönemde tendonları onarmış, ancak sonrasında bunun ağrı ve kasılmalara neden olduğunu söyleyerek onarılmamasını önermiştir [10]. İbn-i Sina ilk olarak tendonlara sütür atılması gerektiğini savunanlardan birisi olsa da şüphesiz gladyatörlerin doktoru Galen'in bilimsel diseksiyonları ve klinik uygulamalarından haberdardı [10].

Avicenna'nın tendon onarım konsepti 14. yy'dan 16. yy'a kadar birkaç Avrupalı cerrah tarafından benimsenmiştir. Gratz'ın raporu, Meekren'in 1682'de doğrudan Galen'in konseptine meydan okuyan ilk deneysel çalışmayı gerçekleştirdiğini bildirmektedir [7]. 1772 yılında ise İsviçreli araştırmacı Albert von Haller (1708-1777) tendonların ağrıya hassas olmadığı sonucuna varmış olup yayınladığı çalışmayla tendon onarımı uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlamıştır [11].

1767'de John Hunter ilk defa tendon iyileşme sürecini araştıran deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmasında tendon iyileşme sürecinin aynı kemik iyileşmesinde olduğu gibi kallus oluşumuyla sağlandığını göstermiştir. Hunter'in çalışmasının ardından, tendon onarımı ile ilişkili morfolojik değişiklikleri, ekstrinsik fibroblastlar ve tendonun intrinsik bileşenlerinin tendon iyileşmesine katkısını ve tendondaki gerilim ve hareketin etkisini tanımlamaya çalışan çok sayıda başka çalışma izlemiştir. Fakat dijital kılıf içinde fleksör tendon iyileşmesinin spesifik araştırması yirminci yüzyılın başlarında başlamıştır [10].

Ambrose Parè ve Andre Della Groce da 17.yy ve 18. yy'larda tendon kesilerinde primer onarımı önermişlerdir, Vesisingius 1740'ta patella ve aşil tendonlarında başarılı onarım sonuçlarını yayınlamıştır [11]. 1920 yıllarında ise Bier ve Saloman köpek fleksör tendonlarının sütürasyonunu takiben zayıf tendon iyileşmesi kaydetmiştir. Saloman, bu zayıf yanıtı sinovyal sıvıdaki inhibitör bir

hormona ve tendon içinde çoğalma yeteneğine sahip hücrelerin azlığına bağlamıştır [10].

İlk transfer 1770'te Missia tarafından yapılmıştır [12]. 1889'da Bolognalı Codivilla, daha sonra 20. yüzyıl başlarında Lange, Kirschner, Rehn,[13, 14] ve Biesalski tendon tamirleriyle ilgili çalışmalar yapmıştır. 1916'da Mayer tendon yapısı, beslenmesi, yapışıklıklar ve iyileşme problemleriyle ilgili çalışmalar yapmış, daha sonra da Bunnell primer ve sekonder onarımları için başarılı çalışmalar yapmış ve 1957 yılında ölümüne kadar sütür teknikleri ve onarımlarla ilgili kabul edilebilir faydalı veriler ortaya koymuştur.[15]

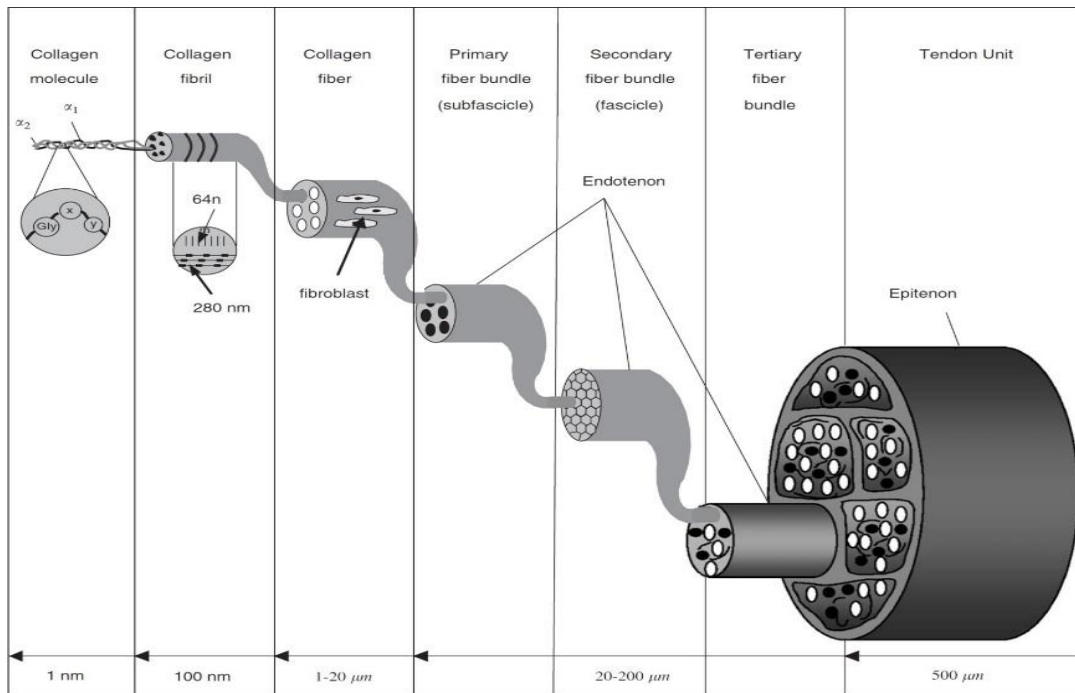
Bunnell ve Garlock, parmak içindeki fleksör tendon yırtık bölgesinde kısıtlayıcı adezyonların klinik oluşumunu fark ettiler. Bunnell, ilk defa "No Man's" terimini kullandı.[10] 1900'lü yılların ikinci yarısında Littler, Boyes, Flynn, Carroll, Iselin, Pulvertaft ve Verdan tendon onarımı konusunda büyük seriler yayınlamışlardır.[16] Mason (1932) ve Kessler (1961), birbirine paralel atılan yeni sütür teknikleri geliştirmişlerdir.[17, 18] Görüş ve fikir birliği olmamasına karşın 1960'tan sonra çok çeşitli çalışmalar yapılmış ve Lindsay, Lundborg, Manske gibi cerrahlar ve nihayetinde Kleinert ve Verdan'ın öncülüğünde primer tendon tamirinde bugünkü tekniklere kadar gelinmiştir.[19-23]

TENDON MORFOLOJİSİ

Kollajenler vücudun birçok yerinde yapı taşı olarak bulunmaktadır. Tendonların kuru ağırlığının %70'i kollajenlerden oluşur. Tendon yapısını oluşturan kollajenlerin tiplerinin %95'i Tip I, %5'i ise Tip III ve Tip IV kollajendir [24-26].

Tropokollajenlerden oluşan peptid zincirleri üçlü sarmal şeklinde bulunur. Fibroblastlar tendonların ekstrasellüler komponentlerinin sentezinden sorumludur. Ayrıca küçük miktarlarda elastin ve su bağlama kapasitesini arttıran çeşitli mukopolisakkaritler de fibroblastlar tarafından üretilir.

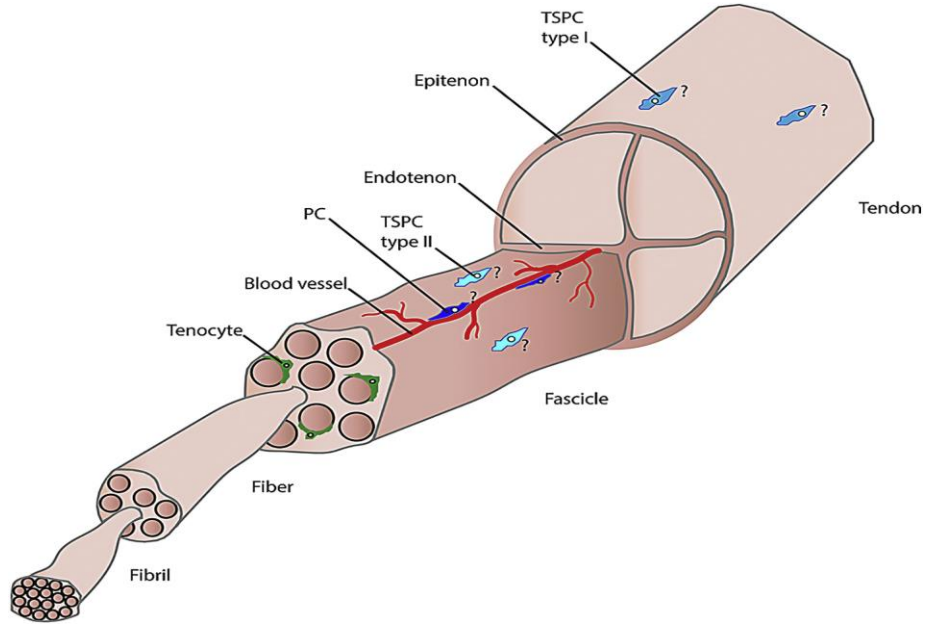
Tendon fasikülleri tenosit denilen olgun fibroblastlardan ve Tip I kollajen fibrillerinden oluşur. Fasiküllerin yüzeyi kollajen fibrilleri ve elastinden oluşan bir zarla örtülmüştür. Bu zarlar sayesinde direkt bağlantı ve hücresel ilişki olmadan fibriller birbiri üzerinde kayabilir. Her kollajen kümesinin üzeri endotenon ve endotenonların birbirine yakın kalmasını sağlayan bir septa olan epitenon ile örtülmüştür (Şekil 1). Elde fleksör tendon fasikülleri paratenon denilen ince visseral ve pariyetal adventisyadan oluşan içinde lumbrikan faktörler bulunan bir zarla örtülmüştür. Ayrıca mezotenon tendonun etrafını sarar, paratenon ile sıkı ilişki kurar ve tendona gelen damarları taşır [24-26]



Şekil 1. Tendonun çok birimli hiyerarşik yapısının şematik gösterimi (Silver ve ark. 2003, modifiye edilmiştir) [27].

Tendonlar, kas ve kemik arasındaki kuvvetleri iletmek için tasarlanmış, hiyerarşik olarak yapılandırılmış yoğun bağ dokularıdır (Şekil 1). Esas olarak, yüksek miktarda proteoglikan içeren, iyi düzenlenmiş bir ekstra selüler matriks (ECM) içine gömülü olan kollajen lifleri ve tenositlerden oluşurlar. Proteoglikanlar tendon için viskoelastik özellikleri sağlarken, kollajen liflerinin asıl amacı gerginliğe direnmektir. Çapraz bağlı tropokollajen, çözünmeyen kollajen molekülleri oluşturur

ve mikrofibriller halinde toplanır. Bu mikrofibriller, tendon içinde uçtan uca hizalanan lifler halinde gruplanan fibrilleri oluşturmak üzere birleşirler. Lifler, endotenon olarak bilinen ince bir gevşek bağ dokusu tabakası ile kaplanmış bir demet halinde gruplanır. Endotenon, lifleri birbirine bağlamanın yanı sıra lif gruplarının birbiri üzerinde kaymasını sağlar ve kan damarlarını, sinirleri ve lenfatikleri tendonun daha derin kısımlarına taşır. Fasiküller, endotenon tarafından sarılmış lif demetleri gruplarıdır. Yoğun bir fibriller kollajen ağı olan epitenon, tendonu oluşturmak için fasikülleri birbirine bağlar. Bu karmaşık iç ultrastrüktür, yüksek çekme kuvvetine ve esnekliğe yol açar, aynı zamanda mekanik stres altında hasarı ve liflerin ayrılmasını önler [28].



Şekil 2. Tendon yapısının şematik bir çizimi ve tenositlerin ve TSPC'lerin lokalizasyonu. Tendon, kollajen moleküllerinden oluşan fasiküller, lifler ve fibriller halinde hiyerarşik olarak yapılandırılmıştır. Tenositlere rağmen, tendonlar bir kök ve progenitör hücre havuzu içerir. Bu TSPC'lerin tam yeri henüz netlik kazanmamıştır ve bu nedenle soru işareti ile belirtilmiştir. Tendondaki farklı kök/progenitör hücre tipleri için tartışılan yerler epitenon (TSPC tip1), endotenon (TSPC tip2) ve perivasküler bölgedir.

Fleksör tendon anatomisi

Parmağı oluşturan kemikler dört adettir: sırasıyla (proksimalden distale doğru) metakarpal kemik, birinci veya proksimal falanks, ikinci veya orta falanks ve üçüncü veya distal falanks. Bu şema 5 parmağın 4'ü için aynıdır. Başparmağın sadece bir metakarpal kemiği ve bir distal ve bir de proksimal olmak üzere iki falanksı vardır. Son olarak, metakarpal kemikler, başparmağın metakarpal kemiğinden başlayarak 1'den 5'e kadar numaralandırılır [29].

Fleksör tendon kılıfı elemanlarının tam anatomisi ve isimlendirilmesi hakkında bazı tartışmalar olsa da, Hunter ve Manske ve Lesker'in bulgularıyla desteklenen Doyle ve Blythe'nin orijinal tanımları (aponeurosis pulley) kabul edilen çoğu el cerrahı için "çalışan" sistem olmaya devam etmektedir [24].

Kasların fonksiyonel devamı olan ve kaslarda oluşan gücü, tutunma noktalarına ileten bağ dokusu yapıya '*tendon*' denildiğini biliyoruz. Bu tendonlar tutunma yerine kadar peritendineum dediğimiz bağ dokusu kılıfı içinde seyrederek. Burada çok defa tendon etrafında iç yüzü, eklemlerde gördüğümüz sinovial zarla kaplı, dış kısmı ise daha dayanıklı bağ dokusundan oluşan, kapalı bir sistem halindeki kılıflardan oluşur. Özellikle tendonların belli bir yönde kalması için de işe yarayan bu yapılara '*vagina synovialis*' adı verilir. Bu kılıflar kirişlerin belli bir yönde kalması, yani ilettikleri gücün yönünün değişmemesi için kendi fibröz yapılarına sıkıca kaynaşmış, alttaki hareketsiz ve sağlam dokuya da '*vincula tendineum*' denilen bağlarla tutturulmuştur. Bu yapılar, hem tendonun yönünün sabit kalmasına, hem de tendonu besleyen damarların içinden geçmesine yarar[30].

Fleksör pulley sisteminin mekanizmasını tam olarak anlamak için hangi kasların dahil olduğunu ve nasıl çalıştıklarını bilmek çok önemlidir. 2., 3., 4. ve 5. parmakların pulley sistemi ile ilişkili kaslar, fleksör digitorum profundus (FDP) ve fleksör digitorum superficialis (FDS)'tir. (Şekil 3 ve 4) FDP, ulna'nın üst ¼ ön ve medial tarafından köken alır ve 2 ila 5. distal falanksların palmar tabanına girer.

Fleksör pollisis longus (FPL): Ön kolun ön kompartmanında fleksör digitorum profundus ve pronator quadratus ile derin tabakada yer alan uzun bir kاستر. Önkolda yer almasına rağmen, işlevi baş parmak hareketinde görüldüğü için elin dış kaslarının bir parçası olarak sınıflandırılır

FPL esas olarak başparmağın distal falanksının interfalangeal eklemine fleksiyon yaptırır. Aynı zamanda proksimal falanksın metakarpofalengeali ve birinci metakarpal kemiğın karpometakarpal eklemlerinin aksesuar fleksörleri olarak hizmet eder.

Bilek eklemi fleksiyonuna da yardımcı olur. Radiusun ön yüzeyinin orta yarısından ve interosseöz membranın bitişik yarısından kaynaklanır. Kas, distal falanksın tabanına bağlanmak için elin üç eklemine geçerek karpal tünel boyunca ilerleyen yassı büyük bir tendon oluşturur. Proksimal el bileği krizi hizasında radial arter ve fleksör carpi radialis tendonlarının derininde seyreder ve tendon 1.parmağın distal falanksının bazisine insersiyoyapar. Median sinirin anterior interosseöz dalı önkolun proksimalinde FPL kasını innerve eder ve kas gövdesinin arteriyel beslenmesi baskın olarak radial arterden sağlanır. [31, 32] El bileği fleksiyonundan sorumlu 3 adet kas vardır. Bunlar Fleksör Carpi Ulnaris (FCU), Fleksör Carpi Radialis (FCR) ve Palmaris Longus (PL) tendonlarıdır. PL genel popülasyonun %15-20'sinde bulunmaz ve bu kasın bulunmaması el bileği fleksiyon fonksiyonunda herhangi bir kayba sebep olmaz. [33] Dokuz adet parmak fleksör tendonunun tamamı en derinde dört adet FDP tendonu, bunun yüzeyinde 2. ve 5. parmakların FDS tendonları olacak şekilde karpal tünel içerisine girer. 2. ve 3. parmağın FDS tendonları ise bu tendonların daha yüzeyinde; median sinirin hemen ulnarında olacak şekilde bulunur. FPL tendonu karpal tünel içerisinde en derinde ve radial

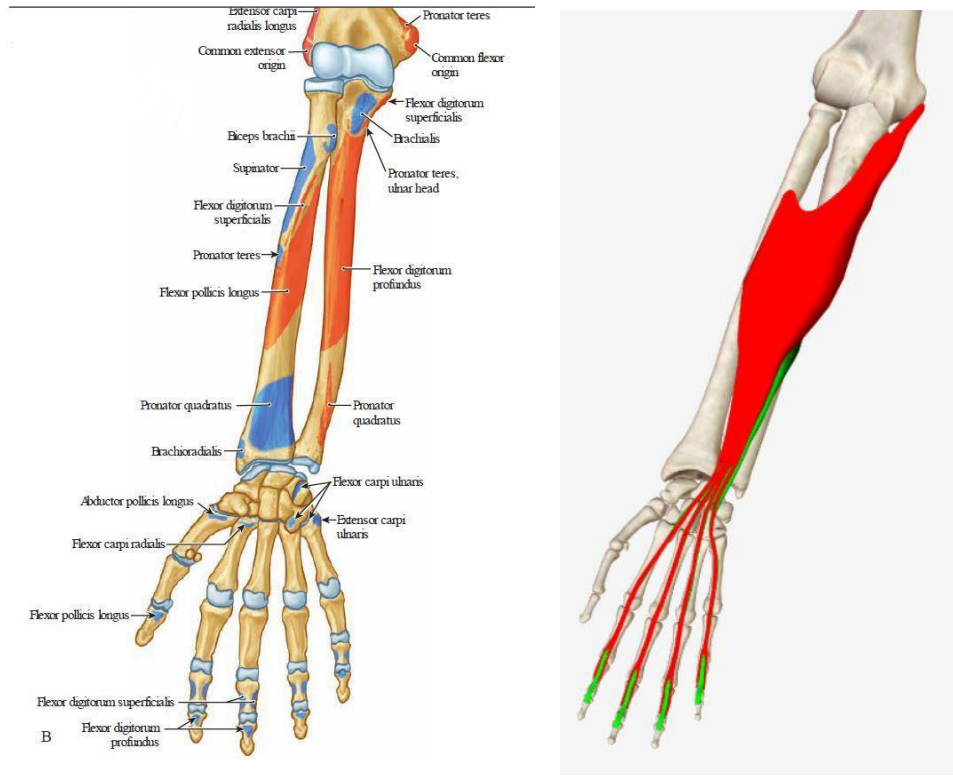
tarafında, skafoid ve trapezium kemikleri komşuluğunda yer alır. [31, 32] Karpal tünelden çıktıktan sonra tendonlar palmar bölgeye ulaşır. Burada yüzeysel palmar arteriyel ark seviyesinde lumbrikal kaslar FDP tendonlarından köken alır.[33] Fleksör tendon anatomisinin en karmaşık bölgesi palmar bölgenin distalidir. Burada tendonlar kendilerini saran bir sinovyal membran içerisine girer ve bu membrana fleksör kılıf adı verilir. Bu kılıf distal palmar bölgeden distal falanksların ortasına kadar uzanan kapalı bir fibroosseöz sinovyal kompartman oluşturur. Fleksör tendonlar bu kılıf içerisinde komşuluğundaki anatomik yapılarla temas etmeden rahat bir şekilde kayma hareketi yapar. Proksimalde fleksör kılıf metakarp boynunun hemen proksimalinden başlayarak distal falanksa kadar yer yer kalınlaşmalar oluşturarak devam eder. [33]

Fleksör Pollisis Brevis (FPB): Avuç içi radial tarafta bulunur. FPB, elin thenar kaslarından biridir. Aynı zamanda elin intrinsik kaslarının altında yer alır. Küçük, dar bir kastır. Dış kısım süperfisyel başı, iç kısım ise kasın derin başı olarak adlandırılır. Süperfisyel baş trapeziyumun krestinden ve fleksör retinakulumdan kaynaklanır. Derin başı, trapezoid ve capitat kemiklerden, ayrıca karpal kemiklerin distalindeki palmar bağlardan kaynaklanır.

Fleksör Pollicis Brevis, başparmağın opozisyonuna yol açan metakarpofalangeal ve karpometakarpal eklemlere fleksiyon yaptırır ve devam ederse, baş parmağın medial rotasyonunu sağlar. Bu fonksiyonu sayesinde nesnelere manipüle edebiliyor ve araçlar yaratabiliyoruz. Hassasiyet, sıkıştırma ve güçlü kavrama gibi ince hareketlerde de rol oynar.

FPB ve ilk dorsal interosseöz kaslar tip-pinch hareketlerine yardımcı olur. Hareket genellikle anahtar çevirme, paket açma gibi günlük aktivitelerde gerçekleşir.

Fleksör Digitorum Superficialis (FDS): Humerusun medial epikondilinden ve radius ile ulnanın bir kısmından köken alır. 4 parmağın (başparmak hariç) ikinci veya orta falankslarının ön kısmına girer (Şekil 3-4). Bu iki kasın ana işlevi, dört parmağın bilek, metakarpofalangeal ve interfalangeal eklemlerini esnetmektir. [34]

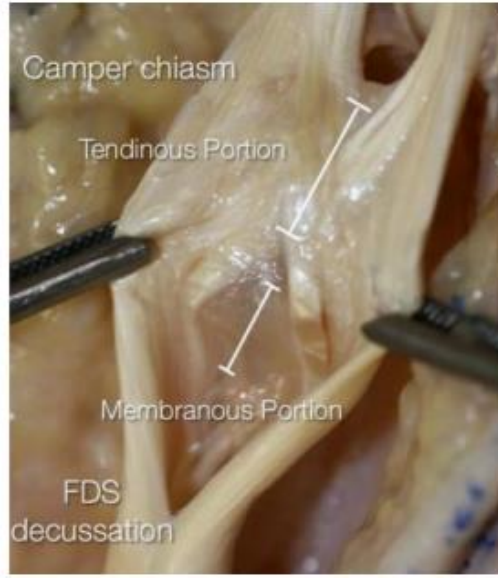


Şekil 3 ve 4. Fleksör kasların yapışma yerleri ve anatomisi [34]

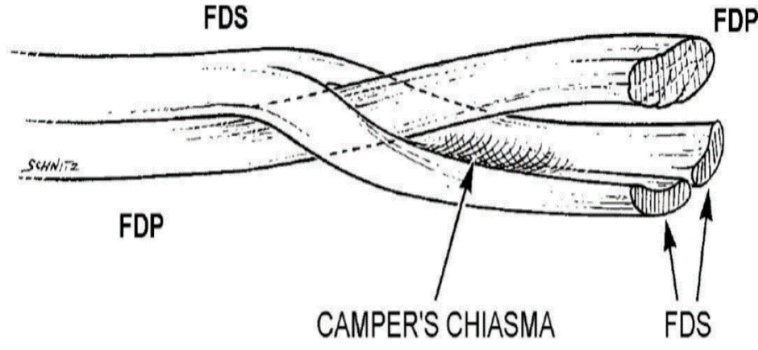
FDS 'nin humeral, ulnar ve radial olmak üzere üç başı vardır. Humeral ve ulnar baş birbirine kaynaşmıştır. Humeral baş en kalın bölümü olup humerusun iç epikondilinden ve iç kollateral bağdan başlar. Ulnar baş ulnanın proksimal koronoidinden, radial baş tuberositas radiiden tuberositas pronatoriaya kadar olan bölümde radiusun ön kenarından başlar. Bu kasın lifleri başparmak hariç diğer parmaklara gitmek üzere dört bölüme ayrılır. Orta ve yüzük parmaklarına ait olanlar yüzeysel, işaret ve küçük parmağa ait olanlar ise derinde bulunur. Bu tendonlar retinakulum fleksorumun derininde karpal kanaldan geçer ve avuçta yelpaze gibi dağılarak ait oldukları parmaklara doğru uzanır. Her bir kas tendonu birinci falanksın bazisi hizasında iki huzmeye ayrılarak bir geçit (hiatus tendineus) oluşturur. Bu geçitten daha derinde bulunan FDP tendonu geçer. Bu geçiti yanlardan sınırlayan iki huzme, içinden geçen tendonun derininde birbirlerini çaprazlayarak geçiti bir kanal

şekline dönüştürür. Oluğu oluşturan lifler tekrar iki huzmeye ayrılarak ikinci falanksın orta kısımlarının yan taraflarında sonlanır. Bu tendonların çapraz yaptıkları yere kiazma tendinum (Camper Chiazması) adı verilir (Şekil 5,6 ve 7).

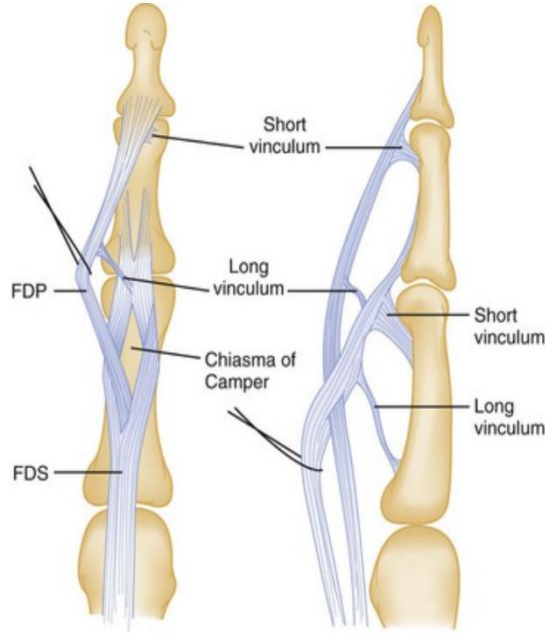
Fonksiyonu; önce sonlandığı ikinci falanksa, daha sonra da sırasıyla birinci falanksa ve ele fleksiyon yaptırır. Özellikle parmakların ince hareketleriyle ilgilidir. Siniri n. medianus'tur. [30]



Şekil 5. Camper Chiazması [35]



Şekil 6. *Fleksör kılıf içinde FDP FDS çaprazlaşması*[36]



Şekil 7. *Vinculum ve camper chiazması ilişkisi,*

Kaynak: [https://aneskey.com/hand/Şekil 50-17] Erişim tarihi: 15 Ekim 2021

Fleksör Digitorum Profundus (FDP): Ulnanın ön ve iç yüzünün $\frac{3}{4}$ proksimalinden ve interosseöz membranın ulnar yarısından başlar. Başparmak hariç diğer parmaklara gitmek üzere ön kolun distal $\frac{1}{3}$ 'ünde dört bölüme ayrılır. Yüzeysel

kas tendonlarının derininde olmak üzere karpal kanaldan geçerek avuç bölgesine uzanır. Birinci falanks hizasında FDS tendonundaki geçitten (hiatus tendineus) geçerek yüzeyleşir ve distal falanksın bazisinde sonlanır. Kasın radial tarafındaki lifleri ayrı bir grup oluşturur ve işaret parmağına gider. Orta, yüzük ve küçük parmaklara gidecek olan tendonlar ise el bileğine kadar kısmen birbiriyle kaynaşmış durumdadır. MCF eklemlerin distalinde yüzeyel ve derin fleksör kas tendonları vaginae fibrosae digitorum manus denen sağlam ligamentöz bir tüp tünelden geçerler. Tünellerin içi sinovyal membranla döşenmiş olup içindeki tendonları bir kılıf şeklinde sarar. Kılıf içindeki yüzeyel ve derin tendonlar '*vinkula tendinum*' denilen bağlar aracılığı ile hem birbirlerine hem de falanksa bağlanır.

Fonksiyonu; önce tutunduğu üçüncü, sonra sırasıyla ikinci, birinci falanksa ve ele fleksiyon yaptırır. Kasın ulnar kısmı ulnar sinirden, radial kısmı ise median sinirden innerve olur. [30]

Elin ekstrinsik fleksör tendonları, parmaklarda "fleksör kılıf" adı verilen gerçek fibroosseöz tünellere sahiptir. Amaçları, yön değişikliğine ve sürtünme artışına maruz kalan bir alanda etkili bir kayma sağlamaktır. Metakarpofalangeal (MCP) eklemlerin proksimalinde, fleksör tendonlar fleksör kılıfa girer. Bu tünel, tendonları falankslara yakın tutarak "yay gibi bükülmeyi (bowstring)" önlemek ve tendon kaymasının etkinliğini arttırmak için işlev görür.[37]

Dijital fleksör kılıf, FDP ve FDS tendonlarını falankslara yakın tutar, böylece parmaklara etkili bir kuvvet aktarımı sağlar (Şekil 5). Fleksör kılıf iki bileşen tarafından yapılandırılmıştır: sinovyal yapı ve pulley. [38]

Kılıftaki yoğunlaşmalara pulley denir. Bunlar neredeyse fleksör tendonları çevreleyerek tendonları falankslara bitişik tutan fibroosseöz bir tüp kanal oluşturur. Pulleyler kas tendon ünitesinden üretilen translasyon kuvvetinin falankslar üzerindeki dönme momentine transferini sağlar.[37]

Membranöz yapı, 2 fleksör kasın tendonlarının hareket ettiği sinovyal kaplı bir tüptür. Tüp, metakarpal kemiğin ventral kısmına ve distal interfalangeal ekleme kadar tüm falankslara bağlanır. Eklemler arasındaki boşlukta tüp, ventral volar plakaya veya palmar ligamente bağlanır. Tüpün sinovyal yapısı ona esneklik vererek elin hareketlerini hasar görmeden yapmasını sağlar. [38] Sinovyal membranlar genellikle hareketli eklemler arasındaki boşlukları doldurur. Bu membranların en önemli özelliği eklemi bükme ve eklem hareketlerini takip etme yeteneğinin yanı sıra sinovyal sıvının salgılanmasıdır. Sinovyal sıvı, sinovyal membran içinde kayganlaştırıcı olarak işlev görür, hareketi kolaylaştırır ve diğer dokularla arasındaki aşınmayı önler. Son olarak, sinovyal sıvı, bölgedeki mikropları uzaklaştıran makrofajlar içerir.[39]

Kılıfın retinaküler kısmı, tendonları saran fibröz dokudan yapılmıştır. Bu bağlar pulleyler ve fleksör tendonlara doğru uzanır. Her parmakta beş dairesel (annular) pulley ve üç çapraz (cruciform) pulley vardır ve şekillerine göre sınıflandırılır. Ligamentler proksimalden distale doğru numaralandırılmıştır (Şekil 4). Tüm dairesel pulleyler arasında A2 ve A4 pulleyler, sırasıyla proksimal ve orta falanksların üzerinden doğrudan kemiğe tutunur, en güçlü pulley olmalarını sağlayan gerçek fibroosseöz yapılarıdır. Diğerleri (A1, A3 ve A5), parmak fleksiyonu sırasında tendonu bozmadan kompresyonu mümkün kılmak için daha esnektir.[37, 38]

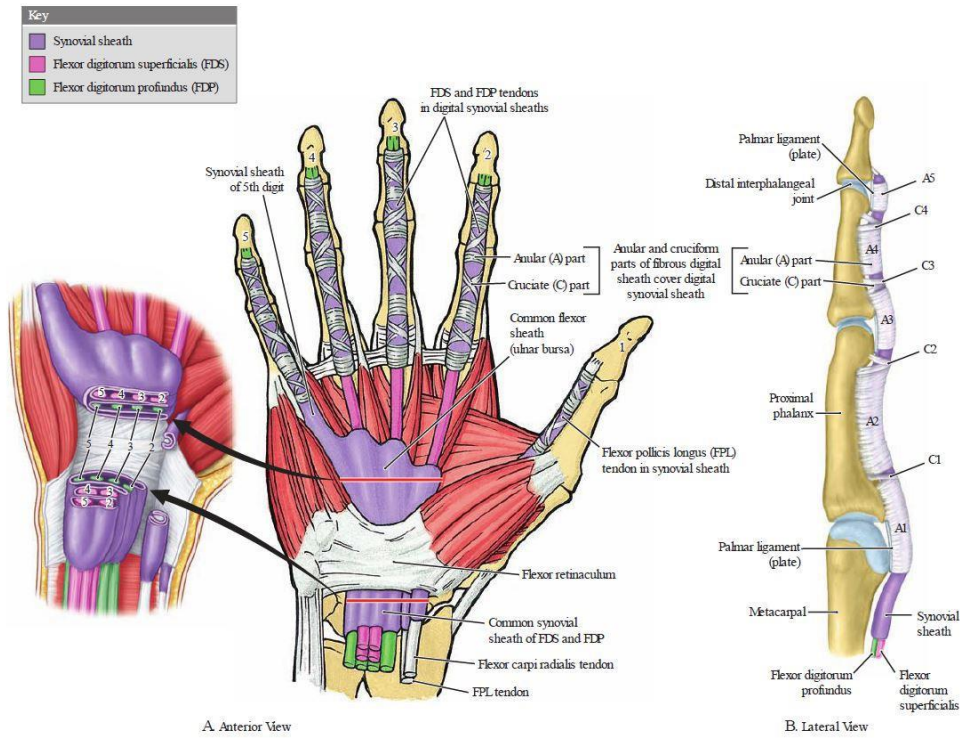
Geleneksel olarak, A2 ve A4, yay gibi bükülmeyi (bowstringing) önleyen pulleyler olarak kabul edilir. Bununla birlikte, A2 pulleyin %25'inin, A4 pulleyin %75'ine kadar ve A2 ve A4'ün birleşik %25'inin kısmi distal eksizyonunun, parmak hareket açıklığı veya fleksiyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir.

A1, A3 ve A5 pulleyler sırasıyla MCP, proksimal interfalangeal (PIP) ve distal interfalangeal (DIP) eklemlerin üzerinde bulunur. A1 pulleyin proksimalinde, tetik parmağın etiolojisinde rol oynayan palmar aponevroz (PA) pulleyi bulunur. Çapraz pulleyler sırasıyla A2–A3, A3–A4 ve A4–A5 pulleyler arasında yer alır. Bu

pulleyler, akordiyon gibi işlev görür ve kılıfın fleksiyon ve ekstansiyon ile genişlemesine ve sıkışmasına izin verir. [37]

Geleneksel olarak, bir zamanlar başparmağın A1, oblik ve A2 olmak üzere üç pulleyi olduğu düşünülüyordu. A1 pulley MCP eklemi üzerinde uzanır, oblik pulley proksimal falanks üzerinde proksimalde ulnar distalde ise radial taraf boyunca uzanır ve A2 pulleyi interfalangeal (İF) eklemin üzerinde bulunur. Dördüncü bir pulley (değişken dairesel şekilde pulley) ilk olarak 2012'de rapor edilmiş ve kadavra örneklerinin %93'ünde mevcut olduğu bulunmuştur. Transvers, oblik veya sürekli olmak üzere üç oryantasyona sahip olabilir. [40]

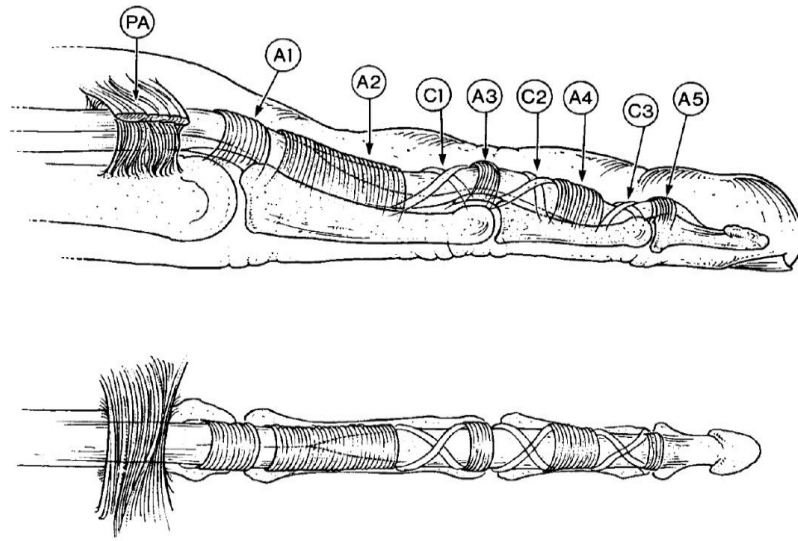
Ligamentler yoğun bağ dokusu bantlarıdır. Temel amaçları genellikle hareketi sınırlamak ve eklemlere destek vermektir. Pulley sistemi olduğunda, bağlar, hareketin etkinliğini artırmak için tendonların hareketini sınırlar. [38]



Şekil 8. Pulleylerin yapısı[29]

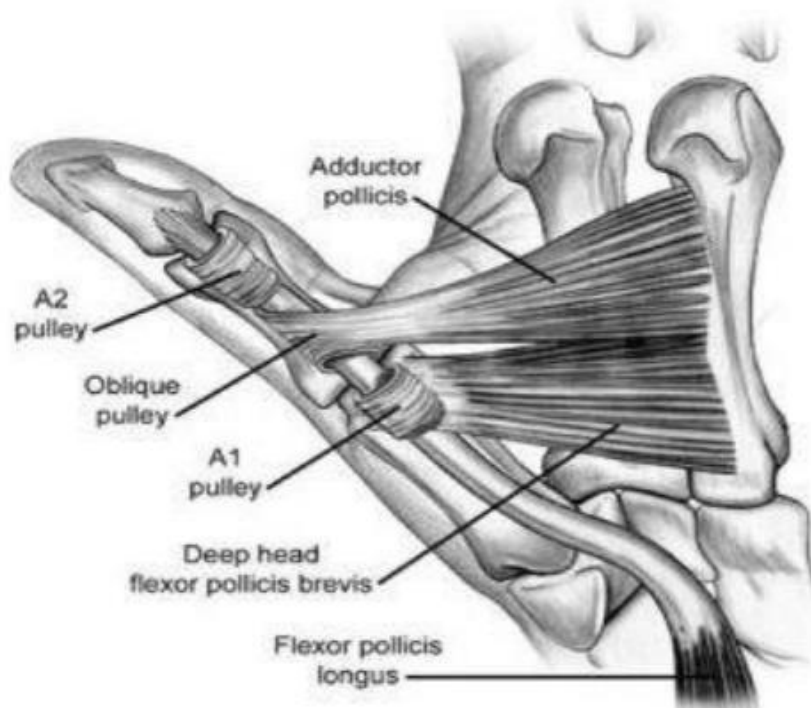
Fleksör pulley sistemi

Fleksör tendon kılıfları, dairesel şekildeki pulley sistemleri ile (Şekil 6), sadece tendonlar için koruyucu bir yuva olarak hizmet etmekle kalmaz, aynı zamanda sinovyal dökmesi sayesinde pürüzsüz bir kayma yüzeyi oluşturmasının yanı sıra tendonları parmak kemikleri ve eklemlere yakın tutmak için etkili bir mekanizma sağlar.[24]



Şekil 9. Bir parmağın fleksör kılıf bileşenlerinin lateralden (yan) ve palmardan (alt) görünümleri. Sağlam dairesel şekilli pulleyler (A1, A2, A3, A4 ve A5), tendonların falankslara yakın bir şekilde durmasında biyomekanik olarak önemlidir. İnce, bükülebilir çapraz pulleyler (C1, C2 ve C3) tam parmak fleksiyonuna izin vermek için kollabe olur. Kılıf sisteminin biyomekanik verimliliğine katkıda bulunan palmar aponevroz (PA).

Sinovyum kılıfı ve pulley ligamentleri, fleksör tendonları kemiğe yakın tutmak için birlikte hareket eder. Tendonlar kemiğe ne kadar yakın olursa, kuvvet aktarımı (ön koldaki kaslardan parmakların hareketine) o kadar verimli olur. Bunu yaparken, pulley sistemi ayrıca, parmağın fleksiyonu sırasında kuvvet üretme yeteneğini ciddi şekilde etkileyecek olan yay şeklini almayı da /yaylanmayı de engeller) (Şekil 9) [38].



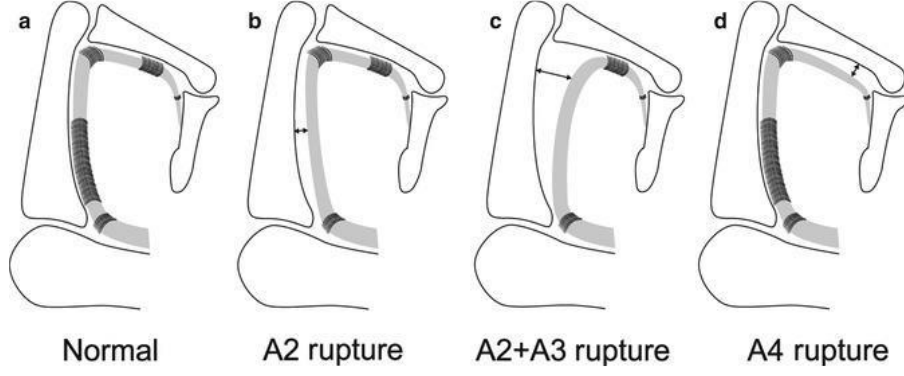
Şekil 10. Başparmağın pulley mekanizması [41]

Başparmak makara sistemiyle de diğer parmaklardan ayrılır. Başparmağın makara sisteminde FPL ye ait üç (pulley) makara vardır. İlk pulley MKF ekleme seviyesinde ve anulerdir. Diğer anuler makara IP ekleme hizasındadır. Tek olan çapraz (oblik) pulley iki anuler pulley arasında yer alır. Proksimal falanksın orta 1/3 kısmını, FPL nin üzerinden çapraz şekilde kaplayan fibröz bant şeklindedir. A1 ve oblik makaralar başparmak için önemlidir[20].

Pulley yaralanma mekanizması

Pulley yaralanmaları, dairesel pulleylere yüklenen kuvvet yükleme kapasitesini aştığında meydana gelir. Yükleme, halka sınırının üzerine hızla artırıldığında, bu kırılabilir veya yırtılabilir. Benzer şekilde, birden fazla seans için bozulma eşğine yakın bir seviyede çalışmak aşırı zorlanma yaralanmalarına neden olabilir. Eksantrik olarak yüklendiğinde, büyük olasılıkla pulley ve fleksör tendon

arasındaki yüksek sürtünme nedeniyle pulleylerin kopacağı yükün azaldığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, yalnızca iki veya daha fazla bitişik pulley tamamen koptuğunda yay şeklini alma (bowstring) gerçekleşir [38].



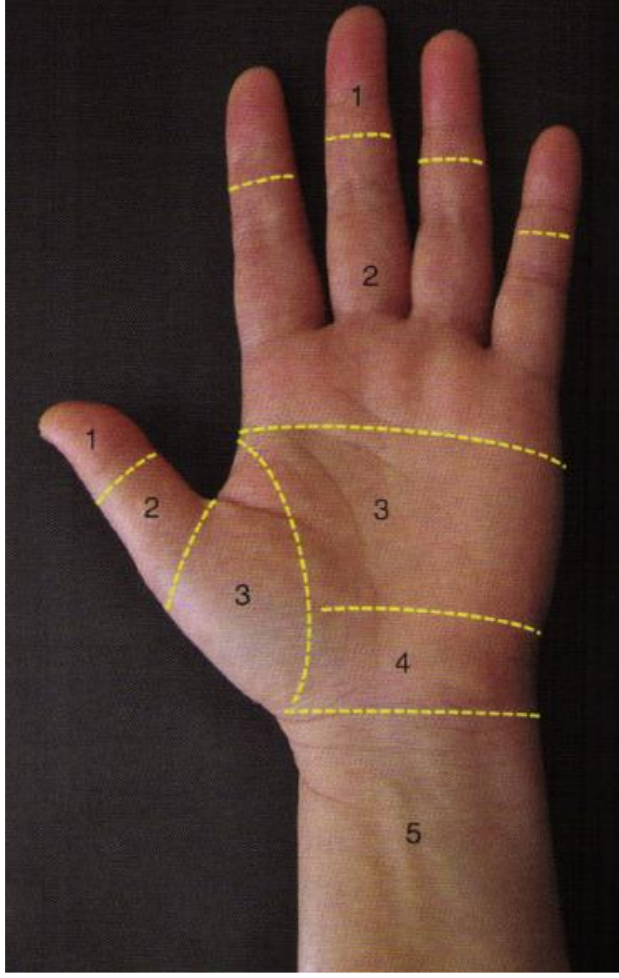
Şekil 11. Pulley rüptürü [42]

Elin zone'lara ayrılması

Parmak fleksör tendonları anatomik olarak Verdan'ın fleksör tendon sisteminin orijinal tanımına dayanan 5 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 12).

2.-5. Parmaklarda;

- Birinci (I.) bölge FDS tendon insersiyosunun distalindedir ve sadece distal falanksın bazisine yapışan FDP tendonunu içerir.
- İkinci (II.) bölge, fleksör kılıf içinde hem FDS hem de FDP'nin A1 pulleyden FDS'nin insersiyosuna kadar ilerlediği bölgeyi içerir. Distal palmar çizgi ile FDS'nin orta falankstaki insersiyosu arasında yer alır[43]. Fleksör tendonlar bu bölgede dijital kılıf içine girerler ve bu seviyedeki fleksör tendon yaralanmalarının tedavisi ile ilişkili kötü prognoz nedeniyle bu bölge Bunnell tarafından “no man's land (NML)” olarak adlandırılmıştır [10].
- 1960'larda, bu bölgedeki cerrahi sonrası klinik sonuçlarını yayınlayan Verdan ve Kleinert'in sunumuyla mevcut adlandırma “some man's land” terimine dönüşmüştür [44]. Tang ise ikinci bölgeyi IIa - d olarak 4 alt bölüme ayırmıştır [45]. A2 pulleyin altındaki alan olan II-c, primer FDS ve FDP tendon onarımı sonrasında tatmin edici fonksiyonel bir iyileşme elde edilmesinin en zor olduğu bölgedir.
- Üçüncü (III.) bölge karpal tünelin distal sınırı ile fleksör kılıfın A1 pulleyi arasında kalan alanı içerir ve distal palmar çizgiye kadar olan bölgedir. Digital sinirlere, digital arter-ven ve her iki fleksör tendona ek olarak, lumbrikal kaslar da bu bölgede bulunur.



Şekil 12: Fleksör tendonların anatomik bölgeleri [47]

- Dördüncü (IV.) bölge karpal tünelde, transvers karpal ligamentle kaplı fleksör tendon bölümünden oluşur. Bu bölgedeki fleksör tendon yaralanmalarına, median ve ulnar sinir yaralanmaları da eşlik edebilir.

- Beşinci (V.) bölge önkolda yer alan fleksör muskulotendinöz yapıdan transvers karpal ligamentin proksimal sınırına kadar uzanır. İlişkili damar ve sinir yaralanmaları bu bölgedeki iyileşme sonuçlarını da olumsuz etkileyebilir.[43, 46]

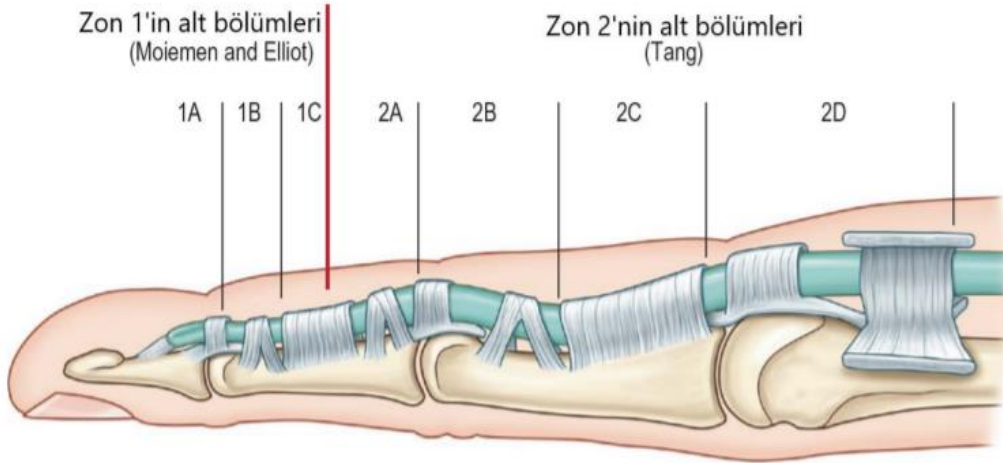
Başparmakta bulunan fleksör tendon sistemi için sadece bir fleksör tendon baz alınır;

- Birinci (I.) bölge FPL'nin insersiyö alanındadır.
- İkinci (II.) bölge başparmağın fleksör retinakulumuna denk gelir, metakarp boynundan proksimal falanksın boynuna kadar uzanan alandır.
- Üçüncü (III.) bölgede tenar kaslar yer alır.
- Dördüncü (IV.) bölge karpal tünel alanını temsil eder.
- Beşinci (V.) bölge FPL'nin muskulotendinöz bağlantısından transvers karpal ligamente kadar olan anatomik alandır. [48]

Ayrıca zone 1 ve zone 2 alt gruplara ayrılır:

Zon-1'in alt bölgelere ayrıldığı ve Moiemmen ve Elliot [49] tarafından tanımlanan sistem ise şu şekildedir (Şekil 13)

- 1A: FDP tendonunun en distal kısmı (genellikle <1 cm) merkezi dikiş atılabilmeye yeteneği yoktur.
- 1B: Zon 1A'dan A4 makaranın distal sınırı seviyesine kadar olan bölge
- 1C: A4 makara içerisindeki FDP tendonu



Şekil 13. Zon 1'in Moiemmen ve Elliot tarafından; Zon 2'nin Tang tarafından tanımlanan alt zonları Kaynak: [Tang JB. Flexor Tendon Injury and Reconstruction. In: Chang J, Neligan PC, Warren RJ, Beek AV, editors. Plastic Surgery Volume 6: Hand and Upper Limb. 6. 3rd edition ed: Elsevier Health Sciences; 2012. p. 178-99.]

Tang[50] ise Zon-2'yi alt bölgelere ayırmıştır.

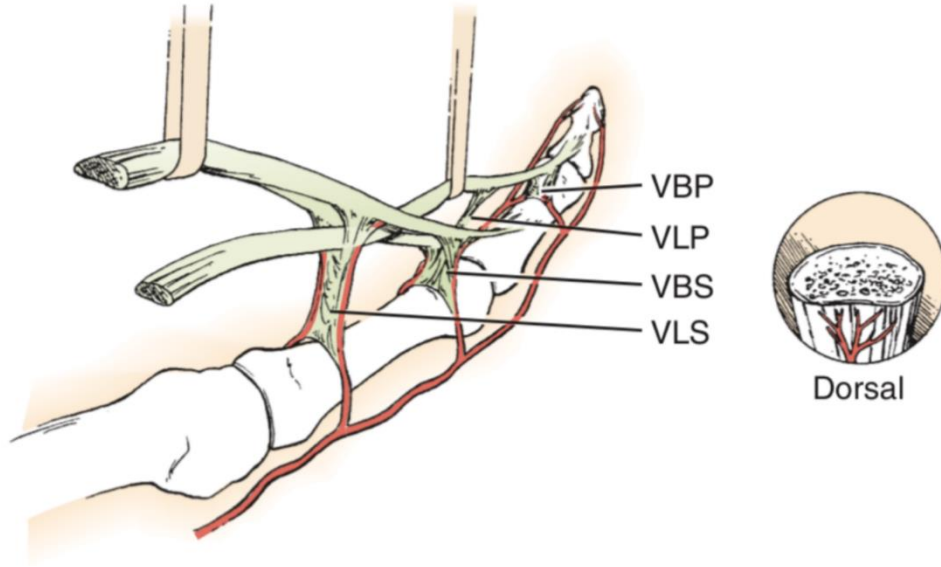
Bu sistem ise şu şekildedir (Şekil 13);

- 2A: FDS tendon insersiyon bölgesi

- 2B: FDS insersiyosunun proksimal sınırı ile A2 makaranın distal sınırı arasında kalan bölge
- 2C: A2 makara tarafından kaplanan bölge
- 2D: A2 makaranın proksimal sınırı ile dijital sinovyal kılıfın proksimal başlangıç kısmı arasında kalan bölge

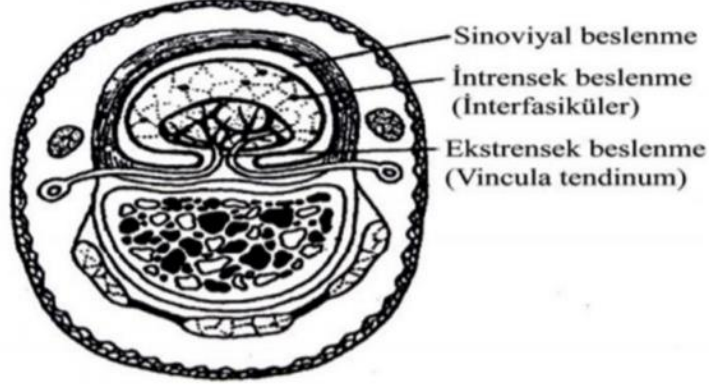
Fleksör tendon beslenmesi

Son 50 yıldaki araştırmalar, fleksör tendonların beslenmesine ilişkin mevcut bazı anlayışlara katkıda bulunmuştur. Armenta, Azar, Caplan, Chaplin, Hooper, Hunter, Lundborg, Manske, Ochiai, Peterson, Weber, Zbrodowski ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalar, tendonların hem vasküler hem de sinovyal kaynaklardan beslendiğini ortaya koymuştur. Fleksör tendonların vasküler perfüzyonu, avuç içine giren ve intratendinöz kanallar boyunca uzunlamasına uzanan damarlar, avuç içi proksimal sinovyal kat seviyesinden giren damarlar, uzun ve kısa vincula aracılığıyla tendon kılıflarına giren çift dijital arterlerin segmental dalları yanı sıra ve FDS ve FDP tendonlarına kemik insersiyonlarından giren damarlar aracılığıyla sağlanır. Her iki tendonun da proksimal falanks üzerinde nispeten avasküler segmentleri vardır; profundus, orta falanks üzerinde ek bir kısa avasküler bölgeye sahiptir (Şekil 14)[24].



Şekil 14. Kılıf içindeki fleksör tendonların beslenmesi. Fleksör tendonlara segmental vasküler beslenme uzun ve kısa vinküler bağlantılar vasıtasıyla sağlanır. Vinculum brevis superficialis (VBS) ve vinculum brevis profundus (VBP), sırasıyla FDS ve FDP tendonlarının insersiyonuna yakın küçük üçgen mezenterlerden oluşur. Superficialis tendonuna (VLS) giden vinculum longum, proksimal falanksın dijital kılıfının tabanından çıkar. Profundus tendonuna (VLP) giden vinculum longum, proksimal interfalangeal ekleme seviyesinde superficialis'ten kaynaklanır. Kesit görünüm, vinkula ile bağlanan dorsal taraftaki daha zengin kan kaynağı ile karşılaştırıldığında, I ve II bölgelerinde fleksör tendonların palmar tarafının göreceli avaskülaritesini gösterir[24, 51].

Sinovyal sıvı difüzyonu (Şekil 15), fleksör tendonlar için etkili bir alternatif beslenme ve kayma yolu sağlar. Besinlerin hızlı bir şekilde geçişi, parmak bükülürken ve uzatılırken (fleksiyon ve ekstensiyon), sıvının tendon yüzeyindeki küçük kanallar yoluyla tendonun aralıklarına zorlandığı, imbibisyon olarak bilinen bir pompa mekanizması ile gerçekleştirilir. Bu beslenme çalışmalarının klinik önemi, yaralanmaya verilen biyolojik yanıtın ve onarılan fleksör tendonların iyileşmesinin, vasküler ve doku sıvısı beslenme sistemlerindeki hasardan büyük ölçüde etkilenebileceğinin anlaşılmasıyla ilgilidir. Bu besin kaynakları, hızlı tendon iyileşmesi ve kaymanın restorasyonu için hayati önem taşıdığından, cerrahın tüm onarım çabaları sırasında bütünlüklerine saygı göstermesi zorunludur [24].



Şekil 15. Fleksör tendonun beslenmesi [52]

Tendon embriyolojisi ve histolojisi

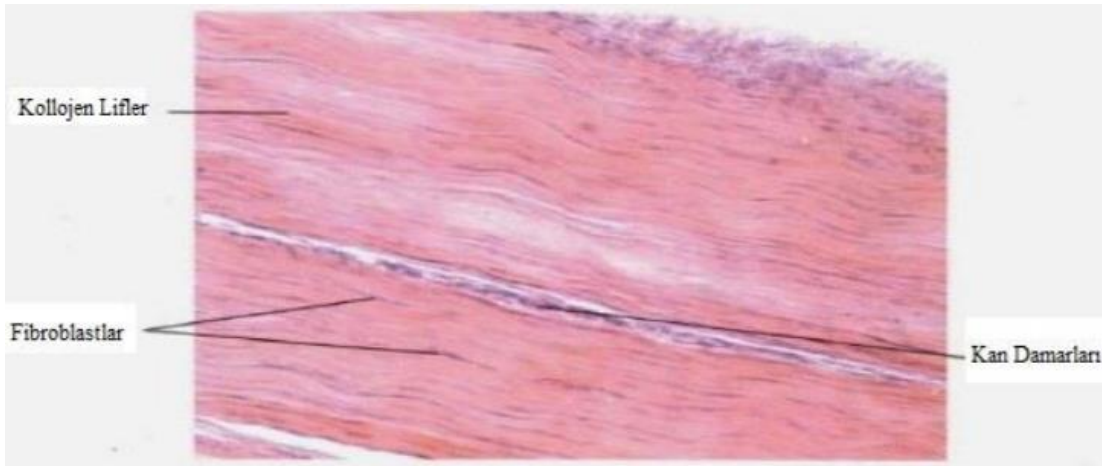
Tendon Embriyolojisi

Üst ekstremitte kas grupları mezenkimal dokudan gelişir. Mezenkimal dokudan migrasyona uğrayan olan myoblastlar kas blastemasını oluştururlar. Dorsal ve ventral yüze doğru ilerleyen bu hücreler fleksör ve ekstensör kas gruplarını meydana getirirler. Diferansiyasyon proksimalinden distale doğru gelişir. Öncelikle kas blasteması kemik orjinine yapışır. Distale doğru ilerleyerek tendonları oluşturur. Diferansiyasyon beşinci haftada başlar, sekizinci haftada tamamlanır. Kaynak: [Lee AW. Flexor tendons. Chapter 111. Plastic Surgery Indications Operations and Outcomes (Russel RC. Et.) Mosby, St. Louise.2000;1627-54.]

Tendon Hücresi Histolojisi

Tendon hücrelerinin %90-95'ini tenoblastlar veya tenositler oluşturur. [53] Diğer %5-10'u kondrositler (basınç ve yerleştirme bölgelerinde), tendon kılıfının sinovyal hücreleri (tendon yüzeyinde) ve vasküler hücrelerdir (kılcal endotel hücreleri ve arteriyollerin düz kas hücreleri). Patolojik durumlarda tendon dokusunda inflamatuvar hücreler, makrofajlar ve miyofibroblastlar gibi başka hücreler de görülebilir[54].

Tenoblastlar ve tenositler, tendon hücrelerinin farklı olgunlaşmalarını temsil eder. Yenidoğan tendonlarına tenoblast denir ve farklı şekil ve boyutlara sahiptir. Genç bireylerde, tenoblastlar iğ şeklinde olduklarından birbirine benzemeye başlar. Yetişkinlerde hücrelere tenosit denir ve çok uzundur [54]. Tenoblastlar ve tenositler metabolik olarak aktif hücrelerdir ve kollajen ve diğer matris bileşenlerini sentezler. Artan yaşla birlikte enerji üretimi için kullanılan metabolik yollar aerobikten anaerobik hale gelir. İyi gelişmiş anaerobik enerji üretimine ek olarak, tendon dokusunun düşük metabolik hızı, tendonun iskemi veya nekroz riski olmaksızın yükleri taşıması ve uzun süre gergin kalması için gereklidir [53]. Bu düşük metabolik hızın olası bir dezavantajı, yaralanma sonrası yavaş iyileşme ve yavaş iyileşme hızıdır [37].

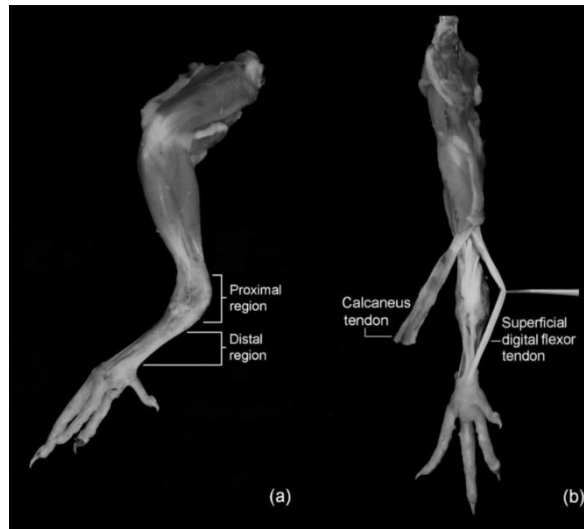


Şekil 16. Tendonun histolojik kesiti[55]

TAVUKLARDA FLEKSÖR TENDON ANATOMİSİ

Tavuk fleksör tendonları anatomik ve fonksiyon açısından insan eline çok benzerlikler göstermeleri ve kolay elde edilmeleri nedeniyle çalışmada özellikle tercih edilmişlerdir. Tavuklarda uzun olan parmakta 4 adet falanks bulunur[56].

Üç adet fleksör tendon mevcuttur. En ince olan ve en yüzeysel seyreden fleksör perforatus proksimal falanks orta kısmına insersiyoy yapar. İnsersiyoy yapmadan hemen önce ikiye ayrılarak FDS ve FDP tendonlarının yanlarından band halinde geçerek falanksın medial ve lateral kısmına yapışır. Ortada seyreden fleksör dijitorum sublimis tendonu aynen insanda olduğu gibi birinci falanks üzerinde ikiye ayrılarak FDP tendonu etrafında band halinde seyrederek ikinci falanks ortasına medial ve lateralden insersiyoy yapar. Fleksör dijitorum profundus tendonu ise en derinden seyrederek ve en uzun olanıdır. Dördüncü falanks proksimaline plantar yüzde insersiyoy yapar. Fleksör tendonlar ince elastik bağ dokusundan oluşan bir zar ile çevrilmiştir. Tendon kılıfı FDP insersiyosundan ayak tabanına kadar uzanır. Tendon kılıfının yüzeyi, yumuşak ve düzgün tenosinoviyal zar ile çevrilmiştir. Tendon kılıfı plantar yüzde eklem kapsülü ve periost ile sıkı olarak bağlanmıştır. Tendonlarda vinkular çıkıntılar da bulunur. Birinci ve ikinci falanklarda iki adet kısa pulley sistemi mevcuttur[56].



Şekil 17. B kısmında calcaneus tendonu ve superficial dijital fleksör tendonu görmekteyiz. Çalışmamızda kullandığımız tendon, calcaneus tendondur [57].

GELENEKSEL TENDON DİKİŞLERİ

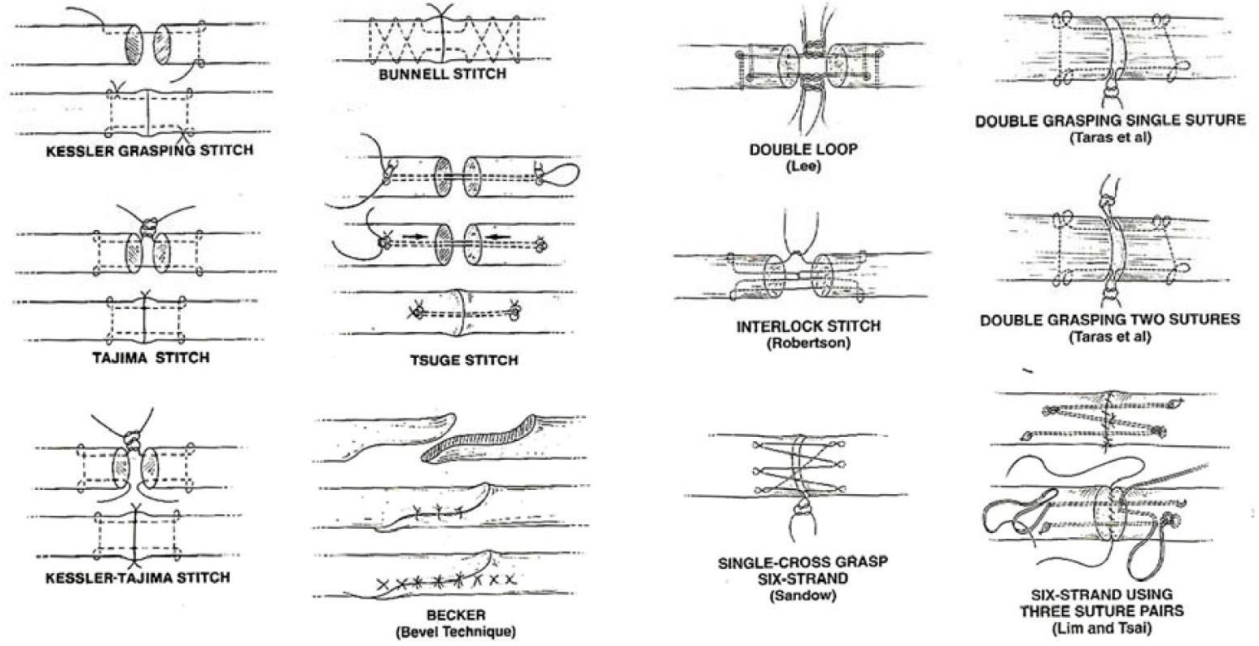
Tendon iyileşmesinde güç kazanma ve normal ekskürsion sağlamada en önemli faktörün güçlü, aralık bırakmayan, pulleylerde takılmaya yol açmayan ve peritendinöz kılıfta gerginliğe yol açmayan tendon yüzeyinde takılmaya sebep olmayan sutur tekniği kullanılmasıdır.

Tüm uç uca onarımlarda ana prensipler; sütün, tendonda tam hareket sağlayıcı gerginlikte atılması, tendona kolayca uygulanabilmesi, düğümlerin sağlam olması, onarım sahasında minimal aralık bırakılması ve tendonun kanlanması bozulmadan, onarım yerinin pürüzsüz bırakılmaya çalışılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda tendon iyileşmesinde ve yapışıklığın önlenmesinde en önemli faktörlerden birinin de sütün tekniği olduğu ortaya konmuştur[24, 26] .

Kısmi tendon kesilerinde, tendonun %50'sinde veya daha fazla hasar varsa tendonun primer onarılması önerilmektedir[24, 26].

Uç uca onarım yöntemleri

İlk kez 1917'de Kirchmayer tarafından tendon onarımı tarif edilmiş ve daha sonra 1973 'den sonra Kessler 'le birlikte birçok modifikasyonlar geliştirilmiştir. İn vitro ve in vivo çalışmalarla birçok sütün tipi tarif edilmiştir.

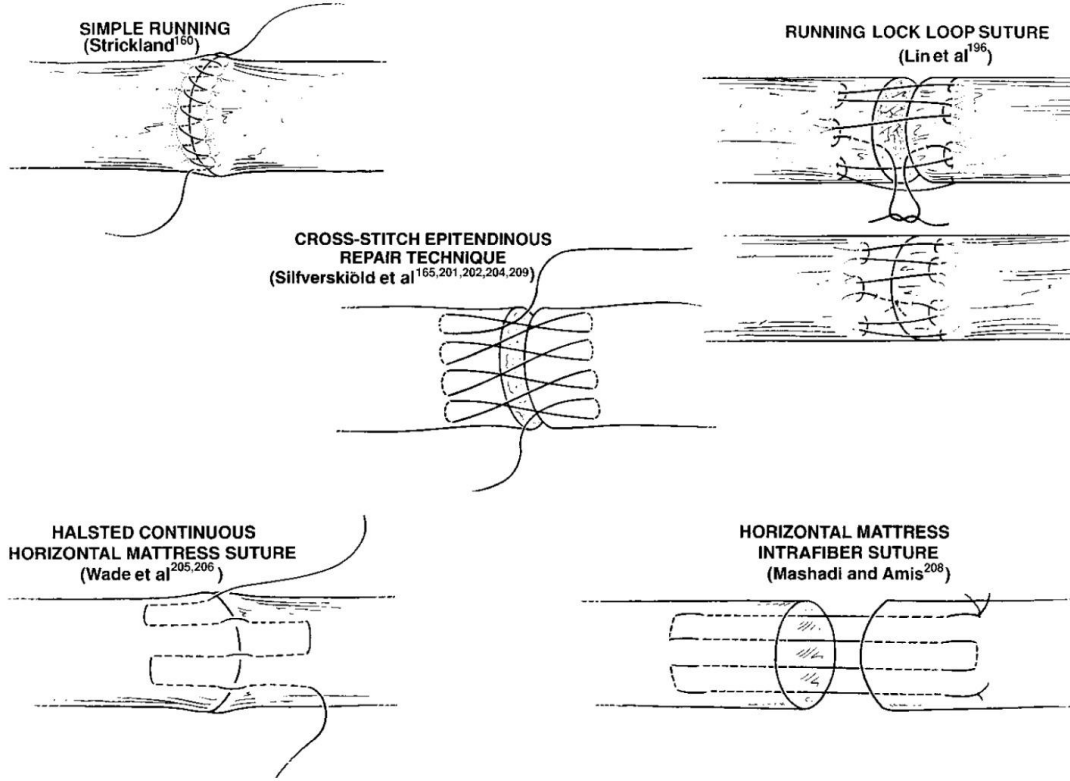


Şekil 18. Uç uca onarımda kullanılan bazı sütün teknikleri[24]

- a) Kessler Grasping Sticth
- b) Bunnel stitch
- c) Double loop stitch
- d) Double Grasping Single Suture
- e) Tajima Stitch
- f) Tsuge Stitch
- g) İnterlock Stitch
- i) Double Grasping Two Suture
- j) Kessler-Tajima Stitch
- k) Becker (Bevel Technique)
- l) Single-Cross Grasp Six-Strand Suture (Sendow)
- m) Six-Strand Using Three Suture Pairs (Lim and Tsai)

Çevresel onarım yöntemleri

Çevresel onarım yöntemleri, tendon onarımı sırasında oluşan aralığı önlemek ve daha pürüzsüz bir tendon yüzeyi oluşturmak amacıyla geliştirilmişlerdir. Uç uca onarıma ilaveten ya da tek başına onarım yöntemi olarak seçilebilir.



Şekil 19. Bazı çevresel suture yöntemleri [24]

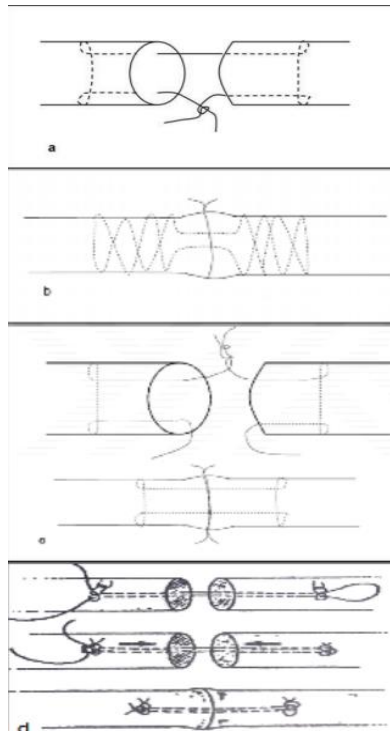
- a) Simple Running Suture (Strickland)
- b) Running Lock Loop Suture
- c) Cross-Stitch Epitendinous Repair Technique
- d) Halsted Continuous Horizontal Mattress Suture
- e) Horizontal Mattress İntrafiber Suture

Merkezi (core) sütürler

Tendon merkezinden 2 ya da daha fazla uzunlamasına bileşenin (UB) geçtiği tekniklerde temel hedef yaralanma alanında erken aktif mobilizasyonun sağlanmasıdır. İn vitro ve in vivo biyomekanik çalışmalarda tendon dikişlerinde kesi hattından geçen uzunlamasına bileşen (UB) (strand) sayısı ile onarım sıklığının ve maksimum kopma yükünün doğru orantılı olduğu bildirilmiştir.[58-60]

A) 2 UB'li Teknikler:

- Kessler tekniği'nin 2 UB içeren merkezi-tek düğümlü Pennington modifikasyonu (Şekil 20a)
- Bunnell dikiş tekniği (Şekil 20b)
- Kessler-Tajima dikiş tekniği (Şekil 20c)
- 2 iplik taşıyan iğnelerle atılan Tsuge dikişi (Şekil 20d)



Şekil 20. 2 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri

a) Kessler dikişinin tek merkezi düğümlü Pennington modifikasyonu

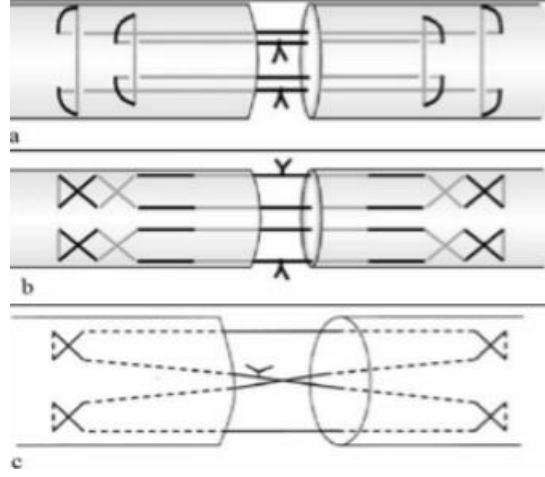
b) Bunnell dikiş tekniği

c) Kessler-Tajima dikiş tekniği

d) Tsuge dikiş tekniği

B) 4 U B içeren teknikler:

- 4 UB içeren 2 katmanlı modifiye Kessler tekniği (Şekil 21a)
- 4'lü Savage dikiş tekniği (Şekil 21b)
- Basit çapraz 4'lü dikiş (Şekil 21c)



Şekil 21. 4 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri

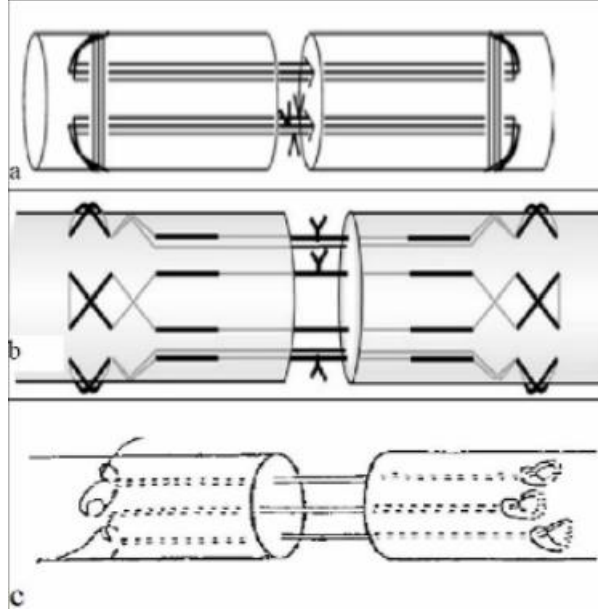
a) 4 UB içeren 2 katmanlı modifiye Kessler tekniği

b) 4'lü Savage dikiş tekniği

c) Basit çapraz 4'lü dikiş

C) 6 UB içeren teknikler:

- Kessler dikiş tekniği [58](Şekil 22a)
- Savage dikiş tekniği [58](Şekil 22b)
- Tang dikiş tekniği [33] (Şekil 22c) dikiş teknikleri sıralanabilir.



Şekil 22. 6 uzunlamasına bileşenli tendon dikiş teknikleri

a) Kessler dikişi

b) Savage tekniği

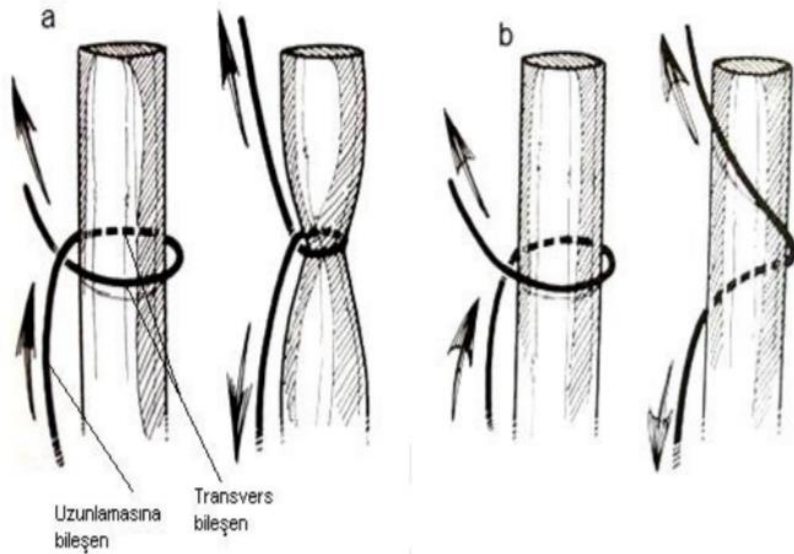
c) Tang'ın 3 noktadan geçilen kilitli tekniği

Tendon çevresini dönen devamlı dikişler

Bunlar ilk onarımlarda tek başlarına denenmiş ancak takip sürecinde atel kullanılmasına rağmen sorunlarla karşılaşmıştır. Devamlı üst üste epitendinöz dikiş ve çapraz devamlı dikiş temel örnekleridir. Bugün merkezi (kor) dikişlere takviye olarak atılmaktadırlar. Tendon uçlarının kenar kısımlarının birbirine daha iyi adaptasyonunu sağlarlar.

Loop tekniği

Tendon dikişlerinin geliştirilmesi sürecinde üzerinde durulan diğer önemli nokta dikişin dönüşlerde tendondaki kavrama noktalarıdır. Bunlar dönüşlerde oluşan halkaların tendon kitlesini sıkıştırarak kilitlemesi (locking) (şekil 22a) ve etrafından dönerek tendon kitlesini sadece yakalaması (grasping) (şekil 22b) şeklinde iki tiptedir. Kilitleyici mekanizmada transvers bileşen uzunlamasına bileşenin yüzeyinde iken yakalayıcı mekanizmada da transvers bileşen uzunlamasına bileşenin derininde yer alır. Kilitleyici mekanizmanın tendon dikişlerinde yakalayıcı mekanizmaya göre daha sağlam olduğu ve dikişin maksimum yükte tendondan sıyrılma ihtimalini azalttığı biyomekanik çalışmalarda gösterilmiştir[61-64]. Kilitleyici mekanizmanın tendon kütlesi içerisinde içine kavradığı miktarın etkilerini araştıran bir çalışmada 1,2 ve 3mm çaplı dönüşlerde çap arttıkça maksimum kopma yükünün arttığı saptanmıştır[65]



Şekil 23. Tendon dikişlerinde a) kilitleyici (locking) ve b) yakalayıcı (grasping) halkalar. Kaynak: [Boyer, Taras and Kaufman, Flexor tendon injuries, Green's Operative Hand Surgery, 5th edition, Volume-I, Pg.227. Fig 7-9.]

Tendon onarımı

Travma sonucunda elin yalnızca cilt, ciltaltı ve tendonları değil, damar, sinir, eklem kapsülü, kartilajı ve kemikleri de etkilenebilir. Bu nedenle fizik muayene sonucunda uygun tedavi planı oluşturma ilk prensip olmalıdır[26]. Tedaviye başlamadan önce travmanın oluş şekli ve tendon kesisi sırasında parmağın fleksiyon ya da ekstansiyonda oluşu da çok önemlidir. Tendon kesilerinin tam ya da kısmi olup olmadığı, proksimal güdüğün seviyesi ve kısmi kesilerde kesi miktarı (yüzdesi) tespit edilmelidir[66].

İlk 24 saat içinde yapılan onarıma erken primer, 1-10 gün içinde yapılan onarıma geç primer, 2-4 hafta içinde yapılan onarıma sekonder, 4 haftadan sonra yapılan onarıma ise geç sekonder onarım denilir [26]. Primer onarımdaki başarısızlık, nihai iyileşmede kayıp ile sonuçlanır [67]. Yaranın temiz ve kontamine olmayan hale getirilmesi esastır.

Primer tamirin avantajları şunlardır:

- 1) Tendona dikiş atmak daha kolaydır.
- 2) Ödem minimal olduğundan tendon dikişi daha iyi tutar.
- 3) Tendon uçları daha iyi karşı karşıya getirilir.
- 4) Kesik tendon uçlarında gap minimaldir.
- 5) Tendon vaskülaritesinde bozukluk minimaldir.
- 6) Erken aktif harekete izin verir.

Primer, gecikmiş primer ve erken sekonder tamir sonuçları, genellikle birbiri ile mukayese edilebilir. Oysa geç sekonder tamirler; skar dokusu, tendon uçlarında şişme, kas iskelet bileşkelerinde kontraktürler ile karşılaşılan ve sonuçların daha kötü olma eğiliminde olduğu tamir şeklidir. Bu gibi geç olgularda, bir veya iki basamaklı tendon greftleme prosedürleri tercih edilir [68].

Primer tamir keskin yüzeyli, temiz kesisi olan, kooperasyonu ve genel durumu iyi olan hastalarda endikedir. Gecikmiş primer ve sekonder tamirler kirli, kontamine yarası olan ya da başka faktörlerden dolayı cerrahinin ertelenmek zorunda olduğu hastalarda endikedir. Tendon yaralanması ile birlikte cilt, kemik, eklem, pulleyler ve damar-sinir yapılarının da zedelendiği olgularda, en iyi tedavi şekli geç rekonstrüksiyondur [69].

Tendon iyileşmesinde güç kazanma ve normal ekskürsion sağlamada en önemli faktörün güçlü, aralık bırakmayan, peritendinöz kılıfta gerginliğe yol açmayan tendon yüzeyinde takılmaya sebep olmayan sütür tekniği kullanılmasıdır. Tüm uç uca onarımlarda ana prensipler; sütürün, tendonda tam hareket sağlayıcı gerginlikte atılması, tendona kolayca uygulanabilmesi, düğümlerin sağlam olması, onarım sahasında minimal aralık bırakılması ve tendonun kanlanması bozulmadan, onarım yerinin pürüzsüz bırakılmaya çalışılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda tendon iyileşmesinde ve yapışıklığın önlenmesinde en önemli faktörlerden birinin de sütür tekniği olduğu ortaya konmuştur [26, 66-70].

Kısmi tendon kesilerinde, tendonun %50'sinde veya daha fazla hasar varsa tendonun primer onarılması önerilmektedir[26, 66-70].

TENDON İYİLEŞMESİ VE ADEZYONU

Araştırmacılar tarafından tendonların intrinsik ve ekstrinsik iyileşme kapasitesinin mevcut olduğu ortaya konulmuş, ancak klinik olarak bu iki ayrı iyileşme mekanizmasının hangisinin daha etkin olduğu tam olarak ortaya konulamamıştır.

Tendon iyileşmesi üç ayrı evreden oluşur. Tendonda iyileşme evreleri inflamasyon evresi , fibroblast veya kollajen sentezi evresi ve organizasyon ya da remodeling evresi olmak üzere 3 kısımda incelenir[70].

İnflamasyon evresi

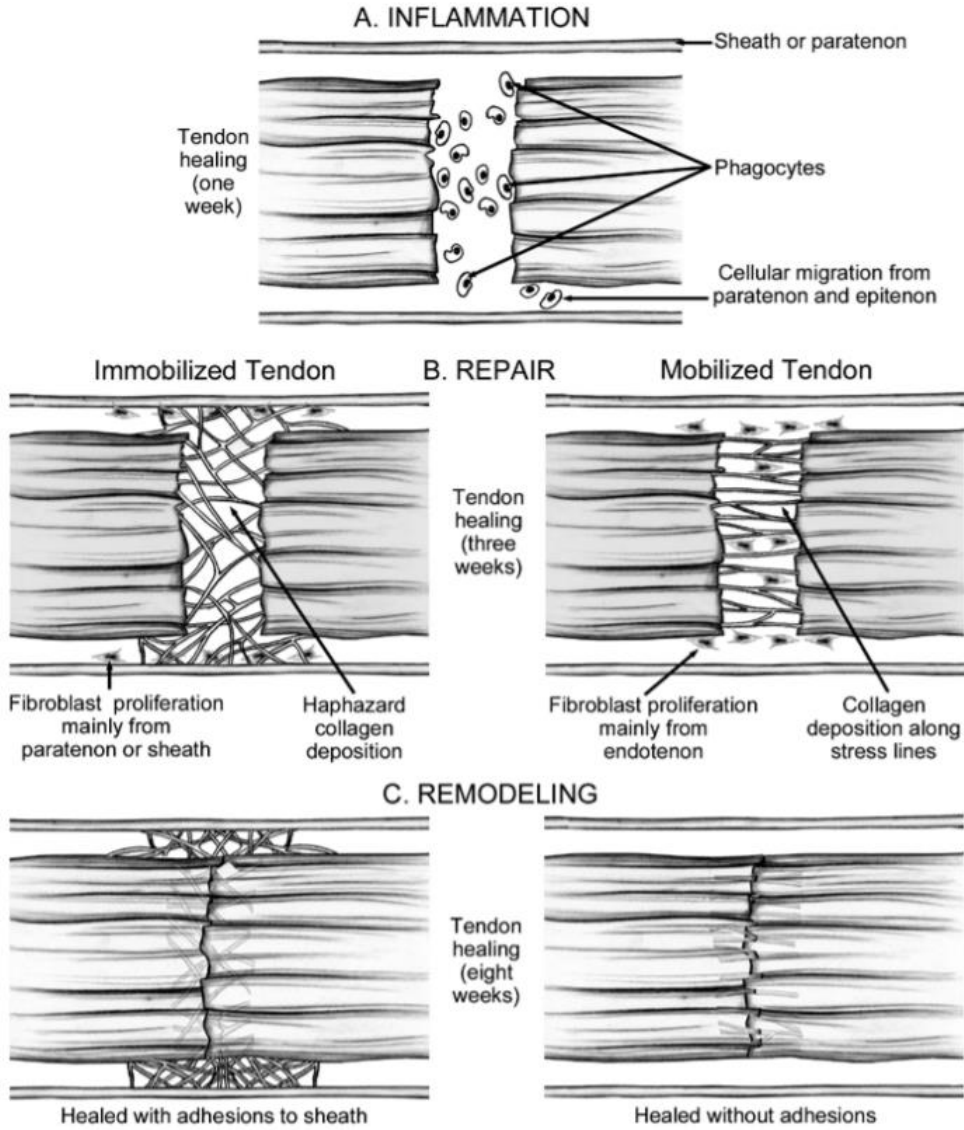
Tendon iyileşmesinin bu safhası neredeyse yaralanmadan hemen sonra başlar. İlk olarak bütünlüğü bozulan damarlardan sızan kan ile hematoma oluşur. Sonrasında mast hücrelerinden salınan pro-inflamatuar kimyasalların etkisiyle, platelet kümelenmesi ve vazodilatasyonun aktive olduğu hemostaz süreci başlar. Kemotaktik etkili fibronektin düzeyinde ve hücre yüzeyindeki integrinlerde artış olur. Fleksör tendon onarımında aktive olan bFGF (basic Fibroblast Growth Factor) erken mitojenik aktiviteden rol alan bir büyüme faktörüdür. Aynı zamanda güçlü bir anjiyojenik faktördür. İnflamatuar hücreler yara alanına göç eder ve agresif şekilde nekrotik dokuları ve debris fagosite ederek pıhtıyı yıkarlar. İlk 24 saatte monositler ve makrofajlar baskın hücrelerdir. Vazoaktif ve kemotaktik faktörler salınır. Vasküler permeabilite artar, anjiogenezis başlar, tenosit proliferasyonu stimüle olur ve daha fazla inflamatuvar hücre toplanır. Tenositler yavaş yavaş yaraya göç eder ve tip 3 kollajen sentezi başlar[70].

Fibroblast (kollajen sentez) evresi

Bu safhada disorganize bir doku olan granülasyon matriksi yara alanında boy gösterir. Histolojik olarak az sayıda makrofaj ve mast hücreleri bulunurken baskın hücre grubu fibroblastlardır. Elektron mikroskopik çalışmalar fibroblastların endoplazmik retikulumlarında artış olduğunu gösterir. Bu artış aslında aktif matriks ve tip 3 kollajen sentezi için indikatördür. Bütün bu değişimlerin aşamalı olarak tip 3 kollajenin tip 1'e dönüşümü kollajen sentezinin optimizasyonu için var olduğuna inanılır[71]. 7. ve 10. günler arası endotenon ve epitenonda hızlı bir vaskülarizasyon artması görülür. Yoğun kan damar ağı oluşur ve yara skarlaşmış gibi görülür. Bu evrenin sonunda, onarım dokusu yüksek derecede hücrelidir ve su miktarında ve ECM komponent de fazlalık vardır[72].

Remodeling (olgunlaşma) evresi

Birbirini takip eden bu evrelerden sonra ikinci haftada oluşan onarım dokusu ile tendon uçları birbirine bağlanmıştır. Yeniden şekillenme evresi selüllerite, matriks sentezi ve tip III kollajende azalma, buna karşın tip I kollajen sentezinde artma ile karakterizedir. Tip I kollajen lifleri tendon uzun eksenine boyunca uzunlamasına dizilirler ve mekanik güçten ve doku rejenerasyonundan sorumludurlar [65-66]. Yeniden şekillenme evresinin daha sonraki sürecinde, kollajen yapı birimleri arasındaki etkileşimler, tendonda daha yüksek sertliğe ve dolayısıyla daha büyük gerilme kuvvetine yol açar. Bununla birlikte onarılan doku asla normal tendon dokusu özelliğini kazanamamaktadır [73]. Tendon iyileşmesine katılan tüm bağ doku hücreleri iyileşme süreci içinde farklılaşma, çoğalma ve olgunlaşma aşamalarından geçer. Tüm bu olaylar kılıflı ve paratenonlu tendonlarda geçerlidir. Tendon iyileşme mekanizmasını açıklamak için iki ayrı model öne sürülmüştür. Bu modellerden ilki hücrelerin ve damarların çevre dokulardan göç etmesi ile oluşan ekstrinsik iyileşme modeli, ikincisi ise kesilen uçlarının kendi iyileşme kapasitesi ile oluşan intrinsik iyileşme modelidir. Çoğu olguda, her iki mekanizma, tendon lokalizasyonu, travmanın yaygınlığı ve cerrahi sonrası hareketi içeren çeşitli faktörlere bağlı olan iyileşme sürecine katılır. İntrinsik mekanizmadan daha erken aktive olan ekstrinsik mekanizma, yüksek selüllerite ile dağıntık kollajen matriks ve yaralanma hattında yüksek su içeriği ile başlangıçta meydana gelen yapışıklık oluşumundan sorumludur. Buna karşın intrinsik mekanizma, kollajen liflerinin yeniden düzenlenmesi ve kollajen fibrillerinin devamlılığının sürdürülmesinden sorumludur[72-74].



Şekil 24. Tendon iyilemesinin aşamaları[74]

A-) İnflamasyon Evresi: İlk bir haftaki tendon iyileşmesidir. Paratenon ve epitenondan fagosit migrasyonu gerçekleşir.

B-) Fibroblast (Repair) Evresi: Sonraki yaklaşık üç haftalık süreçtir. Asıl olarak paratenon veya endotenondan fibroblast proliferasyonu gerçekleşir. Stres çizgileri boyunca kollajen depolanması meydana gelir.

C-) Remodeling Evresi: Sonraki yaklaşık sekiz haftalık süreci kapsar. Önce adeziv daha sonra nonadeziv doku iyileşmesi meydana gelir.

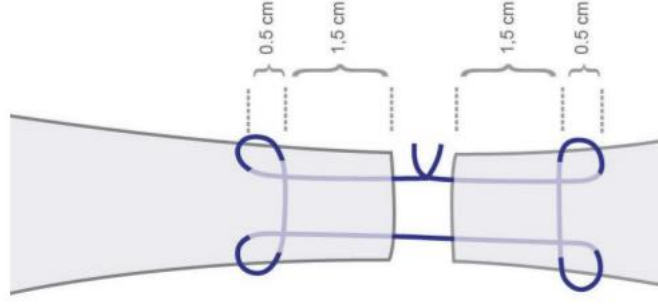
GEREÇ VE YÖNTEM

DENEY ÖNCESİ HAZIRLIK SÜRECİ

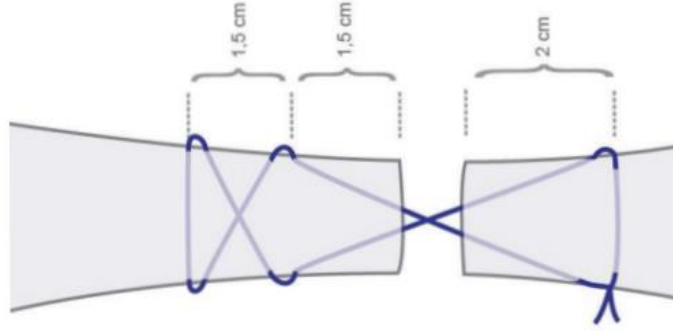
Çalışma öncesi izin Uşak Valiliği İl, Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün 21.09.2021 tarihli ve 65124556-105491 sayılı yazısına müteakiben alınan E-98096979 280.01.01-2931717 numaralı izni ile yapılmış ve çalışma boyunca hayvan deneyleri araştırma protokollerine uyulmuştur. Deney hayvanlarının sakrifikasyonu Gedik Piliç Kesimhanesi/UŞAK'ta yapılmıştır. Sütürasyon işlemi Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Deney Hayvanları Laboratuvarında, biyomekanik testler ise Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

DENEY PROTOKOLÜ

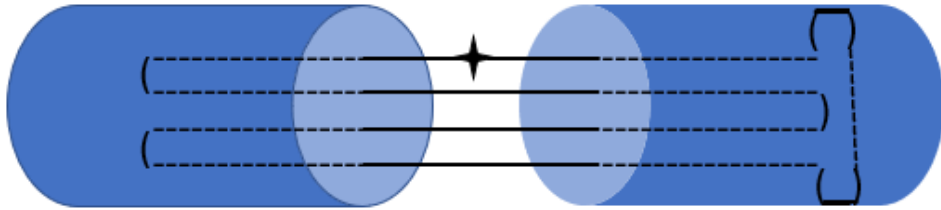
Toplamda 30 adet tavuk aşil (calcaneal) tendonu ortalama ağırlığı 2,1 kg olan leghorn cinsi tavuklardan elde edilir. Bu tendonların kullanılmasının nedeni, kolay elde edilebilirliği yanı sıra hem kalibrasyonlarının (6-7 mm olmasından dolayı) insan el fleksör tendonları ile benzerlik göstermesi, hem de 7-8 cm'lik uzunluklarından dolayı test cihazına kolay uygulanabilir olmalarıdır. Tendonlar, entegre et tesislerinden elde edilen tavukların her iki baceden alınan tüm spesimenler proksimalde muskulotendinöz junktionsdan ayrılarak aynı günde çıkarıldı ve çalışmanın yapılacağı güne kadar serum fizyolojik emdirilmiş spançlara sarılarak plastik torbalar içinde eksi 20 °C'de saklandı. Spesimenler randomize olarak her grupta 20 adet olacak şekilde in situ sütürasyon uygulanmak üzere Modifiye Kessler, Bunnel ve kodifiye devamlı horizontal matris tekniği olarak üç gruba ayrıldı.



Şekil 25. Modifiye Kessler Yöntemi



Şekil 26. Bunnell Yöntemi



Şekil 27. Modifiye Devamlı Horizontal Matress Sütür yöntemi.

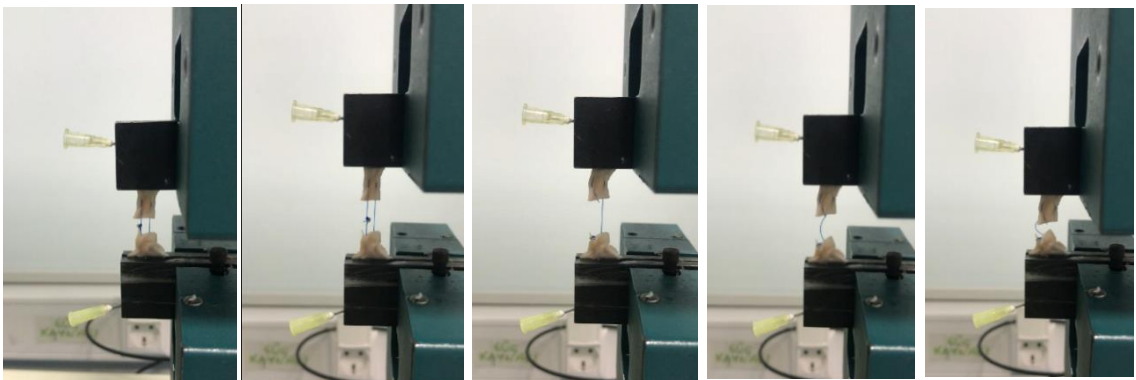
Birinci grup için Modifiye Kessler tekniği (n=20) (Şekil 25), ikinci grup için Bunnel tekniği(n=20) (Şekil 26)[75] ve üçüncü grup için modifiye devamlı horizontal matress tekniği(n=20) (Şekil 27) uygulandı. Hiçbir grupta epitendinöz dikiş yöntemi kullanılmamıŐtır.



Resim 1. Tendonun sütürasyona hazırlanması.

Tendonlar öncelikle rahat tamir ve manipölasyon imkânı sağlaması için her iki uçtan tamiri mümkün kılan bir köpük plakanın üzerindeki enjektör uçları ile sabitlendi.

Örneklerin soğuk zincirde biyomekanik testlerin yapılacağı laboratuvara taşınmasının ardından her birinin oda sıcaklığında çözünmesi beklendi. Aşıl tendonunun en dar yeri dijital caliper ile ölçüldükten sonra marker ile işaretlenir. Ayrıca tenotomi alanı ve diğer parametreler bir cetvel yardımıyla işaretlenip kaydedildi. Sütür iğnesinin giriş ve çıkış noktaları da ayrıca işaretlendi. Her bir tendon, No. 20 bistüri kullanılarak en dar bölgede enine düzlemde kesildi. Bundan sonra her bir spesimen sütür iğnesinin giriş ve çıkış noktaları dikkate alınarak tüm gruplarda merkezi dikişler yuvarlak uçlu 3/0 monofilament polypropylene (demeTech, Prolene, Ethicon, Somerville, NJ) ile gerçekleştirildi. Tendon uçları arasındaki boşluklar kapanana kadar yaklaştırmaya devam edildi. Sütürler 5-6 kez bağlanır EpiTendinöz sütür ile augmentasyon objektif sonucu etkilememesi için kullanılmadı. Tendonların çalışma gününde oda ısısında çözünmesi sağlandıktan sonra tüm çalışma sürecinde serum fizyolojik ile ıslatılmış spançlar ile nemli tutulmasına özen gösterildi. Tüm ölçümler, işaretlemeler ve onarımlar aynı araştırmacı tarafından yapıldı. Biyomekanik testler uluslararası bir test cihazı olan Tinius Olsen – H10TK marka test cihazı ile ölçülerek yapılmıştır. Örnekler iki özel yapım klemp ile test cihazına monte edilir. Biyomekanik testlerde tamir sahasında 1 N başlangıç yükü sonrası 2 mm ayrılma, 5 mm ayrılma oluşumu sırasında uygulanan güç ve kopma olana kadar uygulanan maksimum güç kaydedildi.



A

B

C

D

E

Resim 2. Modifiye Kessler yöntemiyle birlikte kopana kadar yapılan çekme testine bir örnek. Sütür hattından üst ve altta en az 10 mm olmak üzere toplamda 20 mm lik simetrik bir boşluk bırakarak tendonlar test cihazına yerleştirildi. Tendon – fibril yönelimlerini doğrulanması ve deplasman miktarının boş yükte ölçülmesini engellemek için 1N’luk bir ön yük verildi. Test cihazına yerleştirilen numunelerin aksiyel çekme testleri 10 mm/dk’lık sabit bir hızda gerçekleştirildi ve tendon-sütür sistemi kopana kadar çekme kuvveti uygulanarak maksimum kuvvetleri belirlendi. Mekanik test cihazının tutma çenelerine yerleştirilen örnekler, %100 uzama hızında tamamen kopuncaya kadar çekirildi.

SÜTÜR SEÇİMİ VE DÜĞÜMÜN YERLEŞİMİ

Sütür seçimi

İdeal sütür materyali konusunda fikir birliği yoktur[76]. Sütür materyali olarak genelde erimeyen sütürler polyester, polipropilen, tercih edilmekle beraber, uzun sürede absorbe olması nedeniyle, polidioksanon(PDS) da tercih edilen sütürler arasındadır. İdeal sütür; direnci yüksek, düğüm güvenliği yüksek, kullanımı kolay, boşluk oluşumuna izin vermeyecek esneklikte, tendon hareketini engellemeyecek, uzun süre direncini koruyacak özellikte olmalıdır[43, 77, 78]. En çok tercih edilen tendonun volar üçte birlik kısmına yerleştirilen 3-0 veya 4-0 örgülü polyester sütür olmaktadır[48, 79]. Örgülü sütürler monoflaman sütürlere göre kullanımı daha kolay, sütür güvenliği daha fazladır ancak az da olsa enfeksiyon riskini artırır. Fleksör tendon kesilerinde onarımın efektif olmasını merkezi sütür iplik sayısı, sütürün konfigürasyonu, epitendinöz sütür varlığı belirler. Sütürün gücüne etki eden diğer etkenler, dikiş malzemesinin özellikleri, kilitleme sütürlerinin varlığı, düğüm sayısı, çekirdek sütür direnci ve sütür derinliğidir[46, 76, 80, 81]. Çekirdek (core) sütürlerde 2-8 arasında sarmalı olan değişik teknikler tanımlanmıştır. (Şekil 18-19-20) Ancak sarmal sayısı, sütürün gücü ile doğru orantılı olduğu kabul edilirken ideal sayının kaç olacağı konusunda fikir birliği bulunmamaktadır[79, 82]. Kessler’in 2 sarmallı tekniği ortaya çıktığından bu yana birçok modifikasyonu tanımlanmış ve en popüler tekniklerden biri olmuştur[43, 80]. Yine çapraz sütürler de kullanılmakta, çapraz tamir tekniğinde transvers komponent olmadığı için aksiyel yüklenmelerin daha iyi

tolere edildiği düşünölmektedir. Güçlendirilmiş Becker (Massachusetts Genel Hastanesi Onarımı) gibi diğer güçlü tamirler ve modifikasyonlarının ise dinamik, lineer olmayan test sırasında zayıflamadığı görölmüştür[41, 46, 82]. Sarmal sayısı ile sütün gücü arasında doğru orantı vardır. Fakat sarmal miktarının fazlalığı tendon için travmatik ve yabancı madde miktarının fazlalığı demektir. Tendon iyileşirken yükü sadece sütün çekmemeli, dengeli olmalıdır.

Günümüzde de en çok kullanılan teknikler kor sütün sayısı 4 olan sütün teknikleridir. Son zamanlarda kullanılan ve pek çok çalışma yapılan Loop'lu sütün kullanımı, tendona dokunma ihtiyacını azaltarak çok iplikli kor sütünlerin yerleştirilmesini kolaylaştırabilir[83]. Ayrıca hem sütün alanının daha düzgün olması ve bazı çalışmalarda gerime yaklaşık 50 N'luk katkı sağladığı yönünde çalışmalar olan epitendinöz sütün de eklenmesi önerilmektedir[84].

Rüptür ihtimalini azaltma adına günümüzde önerilen, epitendinöz sütün ile beraber 4 veya daha çok iplikli merkezi bir sütün kullanmaktır. Eğer epitendinöz dikiş konulmayacaksa, gap oluşumunu önlemek için 6 iplikli bir kor onarımı tavsiye edilmektedir[10, 41, 82]. Ancak kor sütünlerin yeterli derecede gerimi sağlayacak düzeyde ve sayıda olması durumunda epitendinöz sütünre gerek olmadığını söyleyen görüşler de mevcuttur[45]. Sütün sağlamlığını belirleyen bir diğer özellik kesi alanından uzaklığıdır. Bu mesafenin tendonun kesi yerinden yaklaşık 7 ila 10 mm uzaklıkta olması önerilmektedir[45, 76]. Yine sütün dorsal veya volar olarak yer açısından tam bir net fikir birliği olmamasına karşın dorsal yerleşimli olmasının daha güçlü olacağı belirtilmiştir[84]. Bir diğer husus, loop kilitlemelerinin genişliğidir. Bununda en az tendonun 1/4 ü kadar olması önerilmiştir[82].

Yine sütün kalınlığı da kuvveti artıran etken olmakla birlikte, 3/0'dan daha kalın sütünlerin hacmi genişleteceği ve hareketi azaltacağı düşüncesiyle kullanılması önerilmemektedir[41, 46, 79]. Bu çalışmada ise 3-0 polipropilen sütün kullanıldı.

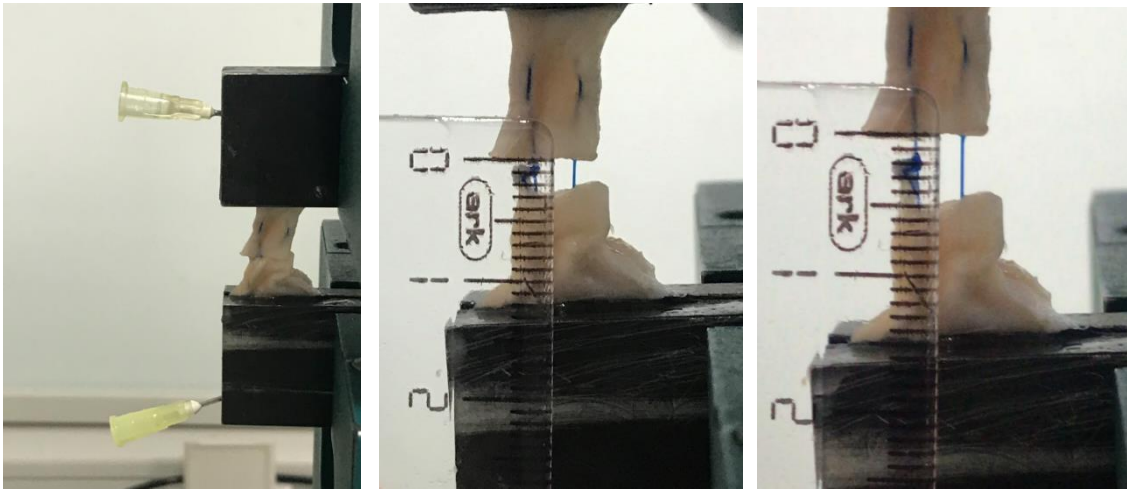
Düğümelerin yerleşimi

Düğümelerin sayısı ve yerleşimi tendon onarım kuvvetini etkileyen bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Ex vivo çalışmalarda, düğüm sayısını azaltmak ve düğümleri onarım sahasının dışına, tendon yüzeyine yerleştirmek, tendon uçları arasında yerleşen düğümlere kıyasla tendonun onarım kuvvetini artırdığı gösterilmiştir. İn vivo çalışmalarda ise aksine, onarım bölgesinin içine yerleştirilen düğümlere sahip onarımlarda altı hafta sonrasında, dışa yerleştirilen düğümlere sahip onarımlara kıyasla belirgin bir şekilde artmış dayanıklılığa sahip olduğu görülmüştür.

Tendon enine kesitsel alanının %26'sına kadar sütür materyali miktarındaki artış, onarımın gerim kuvvetini olumsuz yönde bir etkiye sahip olmadığı da gösterilmiştir[85].

MAKROSKOBİK DEĞERLENDİRME

Modifiye kessler yöntemi görüntüleme



A

B

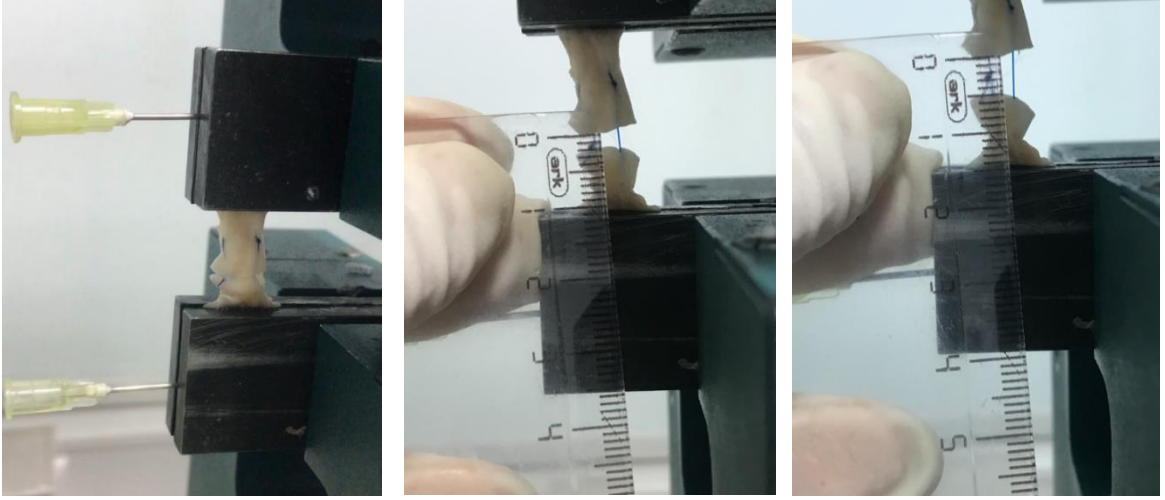
C

Resim 3A. Modifiye Kessler Yöntemi Başlangıç Aşaması

Resim 3B. Modifiye Kessler Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması

Resim 3C. Modifiye Kessler Yöntemi 5 mm Aralık Aşaması

Bunnel yöntemi görüntüleme



A

B

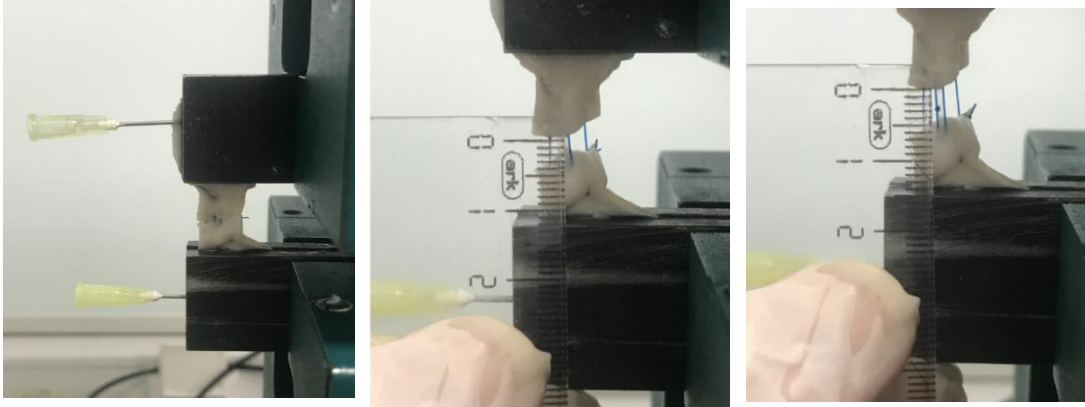
C

Resim 4A. Bunnel Yöntemi Başlangıç Aşaması

Resim 4B. Bunnel Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması

Resim 4C. Bunnel Yöntemi 5 mm Aralık Aşaması

Devamlı horizontal matress yöntemi görüntüleme



A

B

C

Resim 5A. Devamlı Horizontal Matress Yöntemi Başlangıç Aşaması

Resim 5B. Devamlı Horizontal Matress Yöntemi 2 mm Aralık Aşaması

Resim 5C. Devamlı Horizontal Matress Yöntemi 5 mm Aralık aşaması

BİYOMEKANİK DEĞERLENDİRME

Biyomekanik testler için örneklerin hazırlanması

Mekanik test öncesi ortadan kesilip onarım yöntemleri uygulanan tendonlar; ilgili grubun cerrahi süreçlerin tamamlanması için tamir sonrası +4 derecedeki buzdolabında serum fizyolojik içerisinde 0,5 – 1 saat tutuldu. Ardından aynı seanstaki biyomekanik testleri yapmak üzere ilgili gruptaki tüm tendonlar serum fizyolojik içerisinde ve ısı izolasyonlu taşıma kaplarında Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı'na getirildi.

Biyomekanik testlerin yapılması

Deney koşullarının homojenizasyonu amacıyla, mekanik testler öncesi tüm tendonların oda sıcaklığında olmasına dikkat edildi. Tüm mekanik deneyler 23 ± 2 derece oda sıcaklığında yapıldı. Biyomekanik çekme testleri uluslararası ölçüm cihazı olan Tinius Olsen-H10KT (Resim 6) ile yapıldı. Çekme testi boyunca tendonların kuruyup mekanik özelliklerinin değişmemesi amacıyla germe boyunca tendonlara sprey şeklinde serum fizyolojik sıkıldı.

Çene bağlantılarından tendonun kaymasını ve sıyrılmasını engellemek için pürüzlü yüzeyli çene uçları kullanıldı ve stabilizasyon sağlandı. Sütür hattından üst ve altta en az 10 mm olmak üzere toplamda 20 mm mesafede simetrik bir boşluk bırakılarak tendonlar test cihazına yerleştirildi. Tendon – fibril yönelimlerini doğrulanması ve deplasman miktarının boş yükte ölçülmesini engellemek için 1N'luk bir ön yük verildi. Test cihazına yerleştirilen numunelerin aksiyel çekme testleri 10 mm/dk sabit bir hızda gerçekleştirildi ve tendon-sütür sistemi kopana kadar çekme kuvveti uygulanarak maksimum kuvvetleri belirlendi. Mekanik test cihazının tutma çenelerine yerleştirilen örnekler, %100 uzama hızında tamamen kopuncaya kadar çektirildi (Resim 2 A-E).

Mekanik test cihazının iç uzama sensörlerinden alınan uzama (elongation) değerleri ile 1000 Newtonluk yük hücresinden alınan kuvvet (force) değerleri cihazın kendi yazılımı yoluyla kaydedildi. Elde edilen rakamsal değerler MS Excel'e aktarılarak uzama-kuvvet grafikleri elde edildi. Tendonların tamamen kopmasına kadar geçen sürede 2 mm aralık, 5 mm aralık değerleriyle birlikte ulaşılan maksimum kuvvet değeri; kopma kuvveti olarak kaydedildi.



Resim 6. Tinius Olsen H10KT test cihazı

Sonuçların istatistiksel analizi

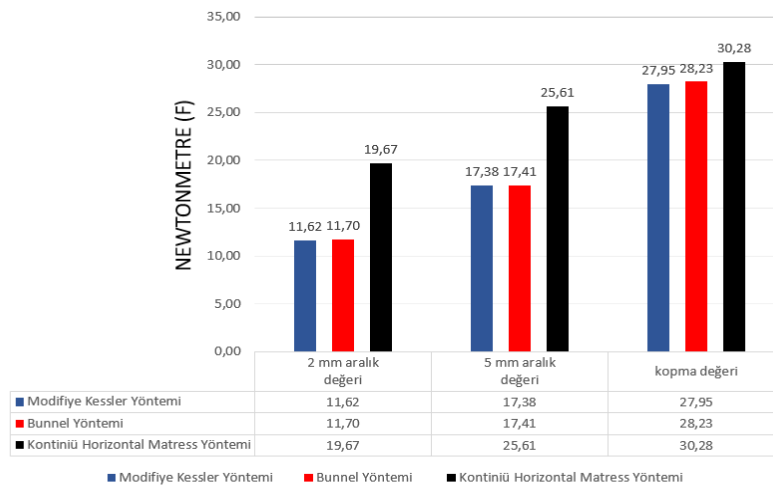
Veriler SPSS 25.0 IBM SPSS Statistics 25 software (Armonk, NY: IBM Corp.) paket programıyla analiz edilmiştir. Sürekli değişkenler ortalama \pm standart sapma, ortanca (en küçük – en büyük değerler) olarak ifade edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Sürekli verilerin incelenmesinde parametrik test varsayımları sağlandığında “Tek yönlü varyans analizi” (post hoc: Tukey testi); parametrik test varsayımları sağlanmadığında ise Kruskal Wallis Varyans Analizi (post hoc: Bonferroni düzeltmeli Mann Whitney U testi) kullanılmıştır. Bağımlı grup incelemelerinde “İki eş arasındaki farkın önemlilik testi yöntemi” kullanılmıştır. İstatistiksel olarak $p < 0,05$ değeri anlamlı kabul edilmiştir.

BULGULAR

BİYOMEKANİK DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

Tendonların biyomekanik çekme testinden elde edilen değerler tablo 1’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Biyomekanik değerlendirme sonuçları



- Bulgulara göre 2 mm aralık değeri en yüksek olarak modifiye devamlı horizontal matress tekniğinde tespit edilmiştir. (19.67 ± 6.88 Newton). Bunu sırasıyla Bunnel onarım yöntemi (11.7 ± 5.12 Newton) ve modifiye Kessler (11.62 ± 3.5 Newton) yöntemi izlemiştir (tablo 1). 2mm aralık değerleri 3 yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir. Matress değerlerinin Kessler ve Bunnel değerlerine göre anlamlı şekilde yüksek olduğu görülmüştür (tablo 2).
- Bulgulara göre 5 mm aralık değeri en yüksek olarak modifiye devamlı horizontal matress tekniğinde tespit edilmiştir. (25.61 ± 8.24 Newton). Bunu sırasıyla Bunnel onarım yöntemi (17.41 ± 5.36 Newton) ve modifiye Kessler onarım (17.38 ± 3.99 Newton) yöntemi izlemiştir (tablo 1). 5 mm aralık değerleri 3 yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir. Matress değerlerinin Kessler ve Bunnel değerlerine göre anlamlı şekilde yüksek olduğu görülmüştür (tablo 2).
- Bulgulara göre kopma değeri en yüksek olarak modifiye devamlı horizontal matress tendon onarım modeline aittir. (30.28 ± 8.47 Newton). Bunu sırasıyla Bunnel onarım yöntemi (28.23 ± 7.83 Newton) ve modifiye Kessler onarım (27.95 ± 5.82 Newton) yöntemi izlemiştir (tablo 1). Kopma değerleri 3 yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemektedir. Matress değerlerinin Kessler ve Bunnel değerlerine göre anlamlı şekilde yüksek olmadığı görülmüştür (tablo 3).

Tablo 2. Onarım tekniği gruplarının 2 mm aralık değeri, 5 mm aralık ile ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri grup içi ve gruplar arası p değerleri tabloda gösterilmiştir.

A.O ± S.S Med (min - maks)	2 mm aralık	5 mm aralık	Grup içi p
Modifiye Kessler	11.62 ± 3.5	17.38 ± 3.99	0.0001* δ
	11 (5.3- 17.7)	17.35 (10.7- 24.3)	
Bunnel	11.7 ± 5.12	17.41 ± 5.36	0.0001* δ
	12.5 (2- 19)	18.65 (4.3- 24.7)	
Devamlı Modifiye Horizontal Matress	19.67 ± 6.88	25.61 ± 8.24	0.0001* δ
	18.3 (12- 34.7)	24 (14.7- 47.3)	
Gruplar arası p	0.0001* (1-3, 2-3) β	0.0001* (1-3, 2-3) α	

* $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı farklılık; Tanımlayıcı istatistiksel Aritmetik ortalama ± standart sapma; ortanca (en küçük – en büyük değerler) olarak ifade edilmiştir. α : Tek Yönlü Varyans Analizi; β : Kruskal Wallis Varyans Analizi; δ : İki eş arasındaki farkın önemlilik testi

Tablo 3. Onarım tekniği gruplarındaki kopma değerleri ile birlikte ortalamaları, standart sapmaları, minimum ve maksimum değerleri ve gruplar arası p değerleri tabloda gösterilmiştir.

		Modifiye Kessler	Bunnel	Devamlı Modifiye Horizontal Matress	Gruplar arası p
Kopma Aralığı	A.O ± S. S	27.95 ± 5.82	28.23 ± 7.83	30.28 ± 8.47	0.355
	Med (min- maks)	29.15 (14.4- 35)	29.35 (6.7- 40)	28 (19- 51.3)	

* $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı farklılık; Tek Yönlü Varyans Analizi

Tablo 4. Üç dikiş tekniği için başarısızlık modları

Gruplar	Sütür kopması	Sütür başarısızlığı	Düğümünden kopma
Modifiye kessler n:20	n:19	n:0	n:1
Bunnel n:20	n:18	n:0	n:2
Modifiye Devamlı Horizontal Matress n:20	n:15	n:0	n:5

TARTIŞMA

Tendonlar iskelet kas sisteminin bir ünitesi olarak kaslardan kemiklere kuvvet iletimi yapan yapılardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık olarak bildirim yapılan 33 milyon kas iskelet sistemi yaralanmalarının yaklaşık %50'si tendon ve ligamanlarını da içeren yumuşak doku yaralanmalarıdır. Genel nüfusun artan oranda fiziksel ve rekreasyonel aktivitelere katılımından dolayı yumuşak doku yaralanmaları ve buna bağlı maliyet ve morbidite de artma eğilimindedir[2]. Bu nedenle tendon işlevlerinin kritik önem arz ettiği elde, tendon yaralanmalarının onarımı elin işlevselliğinin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Tendon onarımı sonrasında oluşan yapışıklıklar tedavi sonuçlarını olumsuz etkilemektedir. Bu durum hem tedavi maliyetlerini hem de hastanın yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte, ideal tendon onarımına ulaşmak, sütün materyali, onarım yöntemi, iplik sayısı, konfigürasyon paterni, düğümler ve gerilimde kısalma gibi değişkenler nedeniyle çok zordur[76].

Çeşitli sütün materyalleri kullanılarak farklı birçok fleksör tendon onarım tekniği tanımlanmıştır, fakat hangi metodun en iyi olduğuna dair el cerrahları arasında yerleşmiş ortak bir fikir birliği yoktur. Yapışıklıkların azaltılması ve fleksör tendon onarımı sonrası sonuçların geliştirilmesi ile ilgili tartışma devam etmektedir [86, 87] .

Tendon onarımında ideal sütün güçlü, esnemeyen, reaksiyona neden olmayan, kullanımı kolay ve düğümü güvenilir olmalıdır[88, 89]. Strickland'e göre sütün erken cerrahi sonrası harekete izin verecek şekilde kolay ve sağlam yerleştirilmiş olması, tendon uçlarının düzgün bir şekilde yaklaştırılmış olması, en az düzeyde aralık oluşması ve tendon vaskülaritesinin en az düzeyde bozulması primer tendon onarımının ideal karakteristiklerini oluşturmaktadır[90].

Momose ve ark.[91] ideal sütür tekniğinin uygulanması kolay, erken dönemde harekete izin verecek kadar kuvvetli ve onarım alanında kabarıklığı artırmadan düzgün bir dış yüzey sağlaması gerektiği belirtilmiştir.

Geleneksel fleksör tendon onarım teknikleri tendon içinde veya dış kısmında yerleştirilmiş düğüme dayanmaktadır. Düğümler tendon içinde yerleştiğinde, düğüm tendon uçları arasına girdiğinden tendonun nihai iyileşmesine engel olabilir[92-94]. Emilemeyen sütür kullanıldığında tendon uçları arasında kalıcı bir engel yerleştirilmiş olur. Dğmsz onarımda veya tendon uçları arasına düğüm girmediğinden daha iyi iyileşme ve artmış uzun vadeli g potansiyeli görüldüğü belirtilmiştir [92].

Fleksör tendonlar direnç uygulamadan yapılan pasif fleksiyon sırasında 2-3 N, hafif derecede dirence karşı yapılan fleksiyonda 9 N, orta derece dirence karşı fleksiyonda yaklaşık 15 N g uygular. Güçlü kavrama sırasında bu miktar 70 N'ye kadar çıkabilmektedir [95, 96]. Ayrıca fleksör tendon onarımından sonra gelişecek olan dem, eklem sertlikleri, yapışıklık ve tamir sahasında gelişen kayma direnci, bu değerlerin üzerine çıkılmasını zorunlu hale getirir [58, 97]. 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[64, 98].

Urbaniak ve arkadaşları [95], FDP tendonunda pasif fleksiyon ekstansiyon sırasında 200-300 g (2-3 N), hafif dirence karşı fleksiyon sırasında 900 g (9 N) ve orta derecede dirence karşı fleksiyon sırasında 1500 g (15 N) bir gerilim geliştiğini bildirmiştir. Schunind ve ark.[96] yaptıkları çalışmada fleksör tendon güçlerini in vivo olarak ölçmüşlerdir. Buna göre; Aktif DİF eklem fleksiyonu için ortalama 19 Newton (N)'lk bir g gerekir. Pasif fleksiyon için ortalama 5 N, zayıf bir kavrama için 15 N, kuvvetli bir kavrama için 50 N'lk g gerekir. Fleksör tendon onarımı sonrası erken aktif hareket protokolü başlanabilmesi için dikiş tekniğinin dayanma gücünün en az 20 N üzerinde olması gereklidir. Bu bilgiler göz

önüne alındığında yeni teknik olan devamlı horizontal matress yöntemi bu bilgiler ışığında kullanılabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkıyor. Aynı grupta 2 mm ayrılma test sonuçlarında elde edilen ortalama 19.67 ± 6.88 N'lik kuvvet de ayrıca 30.28 ± 8.47 'lik kopma değeri, fleksör tendonlarda hafif ve orta derecelerde üretilen kuvvet göz önüne alındığında, ameliyat sonrası erken dönemde aktif harekete başlamaya yeterli görülmektedir.

Wade ve ark.[99] ise 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. [59, 100, 101] Daha güçlü tamir yapabilmek için farklı dikiş teknikleri denenmiştir[95, 102]. Bu çalışmalarda, tamir gücünün, dikiş tasarımı ve tamir sahasını geçen uzunlamasına bileşen sayısı ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir[60, 103-105].

Aktif hareket üzerine en kapsamlı in vitro çalışmalardan birini gerçekleştiren Tang ve arkadaşları [106], 6 uzunlamasına bileşenli (UB) Tang dikiş tekniği, 2UB'li modifiye Kessler dikiş tekniği, 2 UB ve epitendinöz dikiş içeren Silfverskiold dikiş tekniği, 4 UB içeren krusiyat dikiş tekniği ve 4 UB içeren Robertson dikiş tekniğini taze insan kadavra tendonlarında denemişler ve yapılan mekanik gerim testinde maksimum kopma yükü açısından en başarılı tekniği Tang dikiş tekniği olarak belirlemişlerdir. Buna karşılık modifiye Kessler metodu onarım yöntemleri içerisinde en düşük maksimum kopma gücü sergilemiştir. Tang metodunu krusiyat dikiş tekniği ve sonra sırasıyla Robertson ile Silfverskiold dikişi izlemiştir. Tang'in kendi tekniğinde elde ettiği veriler uzunlamasına bileşen sayısının 1/3'üne sahip modifiye Kessler tekniğinden daha başarılı görülmüştür. Öte yandan Tang metodunda 3 ayrı dikiş, tendon her iki ucu üzerinde toplam 6 düğüm oluşturmakta ve bu da maksimum kopma yükünü olumlu etkilerken tendonun yataktaki hacmini olumsuz etkilemektedir. Tang dikiş tekniğinde 2 mm gap load 43,0 N ile modifiye Kessler dikiş tekniğinde 21,2 N kuvvet ile kopmaları için uygulanan kuvvet Tang

dikiş tekniğinde 53,6 N, modifiye Kessler dikiş tekniğinde 24,7 N olarak ölçülmüştür. Yaptığımız çalışmada ise Modifiye Kessler dikiş tekniğinde 2 mm gap load 11.62 ± 3.5 , 5 mm gap load 17.38 ± 3.99 N ve kopma değeri ise 27.95 ± 5.82 olarak bulunmuş olup yeni tekniğimiz olan devamlı horizontal mattress yönteminde ise 2 mm gap load 19.67 ± 6.88 , N 5 mm gap load 25.61 ± 8.24 N ve kopma değeri ise 30.28 ± 8.47 olarak bulunmuştur.

Çalışmamızda kaydedilen gerilim kuvveti, daha önce açıklandığı gibi 2 mm'lik bir boşluk oluşturan kuvvettir[107, 108]. Tendon ucu ile dikişin geçtiği nokta arasındaki mesafe onarımın gücünü etkileyebilir[109]. 2 mm açıklık oranı, tendon onarımından sonra direnç gücünü değerlendirmek için önemli bir indekstir. Tendon iyileşmesi sırasında 2 mm veya daha fazla boşluk oluşması tendon yapışma riskini artırır ve tendon iyileşmesini etkiler[110]. Seradge[111] Lindsay ve ark.[112] ve Ejeskar ve İrtam[113], 2 mm'den büyük boşlukların artmış adezyon oluşumu ve daha kötü klinik sonuçlarla ilişkili olduğunu göstermiştir. 2 mm gap load, onarım alanında 2 mm'lik bir boşluk boyutu oluşturmak için gereken yükün büyüklüğüdür. Bu, orijinal uzunluğa yakın tendon iyileşmesini sağlamak için önemli bir parametre olarak kabul edilir[114]. 5 mm gap load ise bu çalışmada kabul edilebilir tendon uzaması için üst sınır olarak alınan 5 mm'lik bir boşluk boyutu oluşturmak için gereken yükün büyüklüğüdür.

Onarım sonrası tendon gerilme kuvvetine etki eden birçok faktörden bahsedilebilir[33]. Bunların arasında en önemli olarak gösterilen faktör onarım sırasında kullanılan merkezi dikişte kullanılan uzunlamasına bileşen (UB) (strand) sayısıdır [7, 8, 115]. Son zamanlarda tanımlanan yeni onarım tekniklerinin çoğunda 6 veya daha fazla UB kullanılırken erken rüptür ve ayrılmayı engellemek adına en azından 4 UB'li tekniklerin kullanılması önerilmektedir. Bu yüzden Modifiye Kessler ve Bunnel yöntemlerinde olduğu gibi 2 UB yerine, 4 UB'li devamlı horizontal mattress yöntemi oluşturduk.

Son zamanlarda 4 UB içeren bir çok yeni teknik geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Modifiye Becker,[116, 117] , modifiye çift Tsuge[117-119] , Lee [120] ,

locking crutiate[121, 122] , Robertson [123], ve Strickland[77] yöntemleridir. Angeles ve ark.[105] 2002 yılında yaptıkları biyomekanik değerlendirmede sırasıyla M.Becker → 69.37 N, M.Ç.Tsuge → 60,28 N, Lee → 51,08 N , L.crutiate → 64,12 N, Robertson → 34,28 N ve son olarak da Strickland → 46,41 N'luk kopma değerleri bildirmiştir. Bizim kendi çalışmamızda sırasıyla modifiye kessler yöntemi → 27.95 ± 5.82 bunnel yöntemi → 28.23 ± 7.83 ve son olarak da devamlı horizontal matress yöntemi kopma değeri → 30.28 ± 8.47 'lik sonuç vermiştir. Bunun sebebi de muhtemelen kopmadan önce, öncelikle bazı sütürlerin ortasından sıyrılıp aynı 2 UB'li sütürlerdeki gibi kopmasıdır.

Literatürde 3-0 dikiş materyali ile fleksör tendon onarımının 4-0 tendon onarımından daha iyi olduğu bildirilmiştir; ancak iplik sayısının sütür tipinden daha önemli olduğunu bildirilmektedir[109]. Barrie ve arkadaşları[124] tendon onarımlarında 3-0 Ethibond sütürlerinin sadece 4-0 sütürlerden önemli ölçüde daha güçlü olmadığını, aynı zamanda sütür kırılmasından ziyade tendonda sütür çekilmesine yol açtığını göstermek için lineer bir model kullanmışlardır. Taras ve arkadaşları[125] yaptığı çalışmayla 2 UB dikişlerde eğer erken hareket düşünülüyorsa 3/0 kalınlıkta bir dikişin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu yüzden bizde çalışmamızda her üç gruptaki tüm işlemlerde 3/0 polipropylene sütür materyali kullandık.

Tera ve Åberg[126] bir sütür veya ligatürdeki en zayıf noktanın düğüm olduğunu gösterdi. Papandrea ve arkadaşları[127] yakın zamanda düğümü onarım bölgesinden uzağa yerleştirmenin onarım gücünü iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Strickland [77] tekniğinin onarım alanında 3 düğümü vardı, oysa Lee'nin[120] daha düşük çekme yüklerinde kopma riskini artıran 2 düğümü vardı. Robertson [123] tekniği sadece 1 düğüm kullandı, ancak onarım alanına 2 birbirine kenetlenen loop yerleştirdi. Bu konfigürasyon 2 potansiyel kopma bölgesi üretmiş olabilir; birincisi düğümün kendisi diğer ise onarım bölgesi içinde birbirine kenetlenmiş loop'lardır. Bizim çalışmamızda ise düğümden kopma modifiye kessler yönteminde 1 adet, sütürün kopması ise 19 adet olarak gözlemlenmiştir. Bunnel yönteminde ise bu sayılar 2 düğümden kopma ve 18 adet sütürden kopmadır. Fakat devamlı horizontal

matress yönteminde 5 adet düğümden kopma gözlenmesine rağmen 15 adet sütür kopması gözlemlenmiştir.

Tendon onarımının gücü, yaralanmayı takiben tendon uçlarının yumuşaması nedeniyle ilk 5 ila 7 gün boyunca azalır[128]. Bu, amaç parmakları erken harekete geçirmekse, güçlü bir onarım türü kullanılması gerektiği anlamına gelir. Yeni teknik olan devamlı horizontal matress tekniğinin diğer klasik yöntemlere göre avantajları daha yüksek gerilme mukavemeti ve boşluk oluşumuna karşı yüksektir.

Ameliyat sonrası rehabilitasyonun amacı tendonu hareketli halde tutarak yapışıklıktan korumaktır. Bu rehabilitasyonun 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[64].

Tendon cerrahisi sonrası immobilizasyon uygulanması halinde adezyon oluşumu kaçınılmazdır [129, 130]. Tendon iyileşmesi sırasında ise hiç adezyon oluşmasına beklememek unrealistik bir düşüncedir. Tendon tamiri sonrası 3 çeşit adezyon oluşabilir [131].

- 1- Loose Adezyon:** Subkutan dokudan kaynaklı tendonun içinde kolayca kayabileceği bir adezyondur.
- 2- Moderate Adezyon:** Sinoviyal kılıf veya makara sistemlerinden kaynaklanan adezyon olup tendon hareketini önemli ölçüde sınırlayabilir.
- 3- Dense Adezyon:** Kemik yüzeyinden veya volar plaktan kaynaklanıp tendonun dorsal yüzeyine penetre olan adezyondur.

Minimal tendon hareketine yol açarken tendon iyileşmesini de kötü yönde etkiler. Loose adezyon cerrahi sonrası erken rehabilitasyonla kolayca çözülebilir. Fakat moderete ve severe adezyonu önlemek için dikkatli cerrahi tedavi ve cerrahi sonrasında oluşumunu önlemek için erken mümkünse agresif rehabilitasyon

başlanmalıdır[131]. Bu agresif rehabilitasyonu yapabilmek için buna dayanabilecek kuvvette dikiş tekniği ile tendondaki yaralanmanın onarılması gerekmektedir. Bu çalışmayla günümüzde uygulanan dikiş tekniklerinden çok daha kuvvetli olan geliştirdiğimiz devamlı modifiye horizontal matress dikiş tekniği ile rehabilitasyon sırasında uygulanacak kuvvetin artırılmasına olanak sağlanmıştır.

Çalışmamız in vitro şartlarda gerçekleştirildiğinden tendon iskemisi, onarım sonrası tendon iyileşmesi, ödem, adezyon oluşumu ve biyomekanik özelliklerin zamanla nasıl değişeceği gibi faktörler değerlendirilememiştir. Onarımın iyileşmesi ve çevresel etkileşimleri değerlendirmek için bir hayvan modelinde in vivo çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu kısıtlılıklarına rağmen yaptığımız deneysel çalışmanın sonuçlarının kullanılan teknikler konusunda önemli bilgiler sunduğunu düşünmekteyiz. Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz bilgiler ışığında, geliştirdiğimiz tekniğin kontrol gruplarında kullanılan diğer tekniklere göre özellikle çekme kuvvetine karşı direnç gücünün daha fazla olduğu, kopmaya karşı daha güçlü olduğu görülmektedir. Öğrenmesi ve uygulaması kolay olan modifiye devamlı matress sütür tekniğinin hem fleksör hem de daha yassı yapıya sahip ekstansör tendonlarda uygulanabilme avantajı ile el cerrahisi pratiğinde kullanılabilir alternatif yöntemlerden biri olduğunu düşünüyoruz.

SONUÇ

Bu çalışmada el cerrahisinde fleksör tendon onarımında kullanımı çok yaygın iki geleneksel suture olan modifiye kessler ve bunnell yöntemi ile yeni bir teknik olan modifiye devamlı horizontal mattress onarım tekniği ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Çalışma sonucuna göre modifiye devamlı horizontal mattress olarak geliştirilen basit onarım modelinin etkinliğinin Modifiye Kessler ve Bunnell yöntemlerine göre anlamlı olarak daha üstün olduğu gözlenmiştir. Yapılan tendon onarımlarında uzunlamasına bileşen sayısı arttıkça elde edilen kopma kuvvetinin de artacağı sonucuna varılmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler sonucunda devamlı horizontal mattress yöntemiyle fleksör tendon onarımının diğer tekniklere Modifiye Kessler ve Bunnell gibi UB sayısı iki olan diğer tekniklere kıyasla üstünlükleri bulunmakla birlikte klinik uygulanabilirliği ileri ex vivo ve in vivo testlerle desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Ootes, D., K.T. Lambers, and D.C. Ring, *The epidemiology of upper extremity injuries presenting to the emergency department in the United States*. Hand (N Y), 2012. **7**(1): p. 18-22.
2. Smith, M.E., J.M. Auchincloss, and M.S. Ali, *Causes and consequences of hand injury*. J Hand Surg Br, 1985. **10**(3): p. 288-92.
3. Ergüner, H., et al., *Travmatik el yaralanmalı hastalarımızın klinik özellikleri*. Romatol Tıp Rehab, 2002. **13**: p. 243-51.
4. Sorock, G.S., et al., *Acute traumatic occupational hand injuries: type, location, and severity*. Journal of occupational and environmental medicine, 2002. **44**(4): p. 345-351.
5. Kitsis, C., et al., *Controlled active motion following primary flexor tendon repair: a prospective study over 9 years*. Journal of Hand Surgery, 1998. **23**(3): p. 344-349.
6. Carl, H.D., R. Forst, and P. Schaller, *Results of primary extensor tendon repair in relation to the zone of injury and pre-operative outcome estimation*. Arch Orthop Trauma Surg, 2007. **127**(2): p. 115-9.
7. Dogramaci, Y., et al., *Does strand configuration and number of purchase points affect the biomechanical behavior of a tendon repair? A biomechanical evaluation using different Kessler methods of flexor tendon repair*. Hand, 2008. **3**(3): p. 266-270.
8. Rawson, S., S. Cartmell, and J. Wong, *Suture techniques for tendon repair; a comparative review*. Muscles, ligaments and tendons journal, 2013. **3**(3): p. 220.
9. Kozono, N., et al., *A biomechanical comparison between asymmetric Pennington technique and conventional core suture techniques: 6-strand flexor tendon repair*. The Journal of hand surgery, 2018. **43**(1): p. 79. e1-79. e8.
10. Manske, P.R., *History of flexor tendon repair*. Hand Clin, 2005. **21**(2): p. 123-7.
11. CH, T., *Grabb and Smith's plastic surgery*. US: LWW, 2007. **91**: p. 868-83.
12. Tubiana, R., *Historical survey of the treatment of tendon lesions in the hand*. The Hand. Philadelphia: WB Saunders Co, 1981: p. 3-5.

13. Adamson, J.E. and J.N. Wilson, *The history of flexor-tendon grafting*. JBJS, 1961. **43**(5): p. 709-716.
14. Beredjiklian, P.K., *Biologic aspects of flexor tendon laceration and repair*. JBJS, 2003. **85**(3): p. 539-550.
15. Bunnell, S., *Repair of tendons in the fingers and description of two new instruments*. Surg Gynecol Obstet, 1918. **26**: p. 103-110.
16. Wren, T.A., et al., *Mechanical properties of the human achilles tendon*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2001. **16**(3): p. 245-51.
17. Mason, M.L. and C.G. Shearon, *The process of tendon repair: An experimental study of tendon suture and tendon graft*. Archives of Surgery, 1932. **25**(4): p. 615-692.
18. Kessler, I. and F. Nissim, *Primary repair without immobilization of flexor tendon division within the digital sheath: an experimental and clinical study*. Acta Orthopaedica Scandinavica, 1969. **40**(5): p. 587-601.
19. Lindsay, W. and E. McDougall, *Direct digital flexor tendon repair*. Plastic and Reconstructive Surgery, 1960. **26**(6): p. 613-621.
20. Lundborg, G., *Experimental flexor tendon healing without adhesion formation—a new concept of tendon nutrition and intrinsic healing mechanisms: a preliminary report*. Hand, 1976. **8**(3): p. 235-238.
21. Verdan, C.E., *Primary repair of flexor tendons*. JBJS, 1960. **42**(4): p. 647-657.
22. Kleinert, H.E., et al., *Primary repair of flexor tendons*. Orthopedic Clinics of North America, 1973. **4**(4): p. 865-876.
23. Lindsay, W.K. and H.G. Thomson, *Digital flexor tendons: an experimental study. Part I. The significance of each component of the flexor mechanism in tendon healing*. Br J Plast Surg, 1960. **12**: p. 289-316.
24. Strickland, J.W., *Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress*. J Hand Surg Am, 2000. **25**(2): p. 214-35.
25. Strickland, J.W., *Flexor tendon repair*. Hand Clin, 1985. **1**(1): p. 55-68.
26. Hotchkiss, R.N. and W.C. Pederson, *Green's operative hand surgery*. 1999: Churchill Livingstone.
27. Silver, F.H., J.W. Freeman, and G.P. Seehra, *Collagen self-assembly and the development of tendon mechanical properties*. J Biomech, 2003. **36**(10): p. 1529-53.

28. Schneider, M., et al., *Rescue plan for Achilles: Therapeutics steering the fate and functions of stem cells in tendon wound healing*. *Advanced drug delivery reviews*, 2018. **129**: p. 352-375.
29. Agur, A.M. and A.F. Dalley, *Grant Atlas d'anatomie*. 2019: De Boeck supérieur.
30. Arıncı, K. and A. Elhan, *Anatomi 1. cilt*. Güneş Kitabevi, Ankara, 1995. **388**: p. 1192-210.
31. Rayan, G.M. and E. Akelman, *The hand: anatomy, examination, and diagnosis*. 2012: Lippincott Williams & Wilkins.
32. Salgado, A.A., *Essentials of Hand Surgery*. 2018: BoD–Books on Demand.
33. Tang JB , C.J., Neligan PC, Warren RJ, Beek AV, *Flexor Tendon Injury and Reconstruction*. *Plastic Surgery Volume 6: Hand and Upper Limb*. 6, 2012. **3rd edition** p. p. 178-99.
34. Agur, A.M. and A.F. Dalley, *Grant's atlas of anatomy*. 2009: Lippincott Williams & Wilkins.
35. Gordon, J.A., L. Stone, and L. Gordon, *Surface markers for locating the pulleys and flexor tendon anatomy in the palm and fingers with reference to minimally invasive incisions*. *The Journal of hand surgery*, 2012. **37**(5): p. 913-918.
36. Idler, R.S., *Anatomy and biomechanics of the digital flexor tendons*. *Hand Clinics*, 1985. **1**(1): p. 3-11.
37. Yousef, J., *Physiology of Flexor Tendon Healing and Rationale for Treatment Protocols*, in *Tendons*. 2019, IntechOpen.
38. Crowley, T.P., *The flexor tendon pulley system and rock climbing*. *Journal of hand and microsurgery*, 2012. **4**(1): p. 25-29.
39. Tortora, G.J. and B.H. Derrickson, *Principles of anatomy and physiology*. 2018: John Wiley & Sons.
40. Schubert, M.F., et al., *Varied anatomy of the thumb pulley system: implications for successful trigger thumb release*. *The Journal of hand surgery*, 2012. **37**(11): p. 2278-2285.
41. Dy, C.J. and A. Daluiski, *Update on zone II flexor tendon injuries*. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2014. **22**(12): p. 791-799.

42. Guermazi, A., F.W. Roemer, and M.D. Crema, *Imaging in sports-specific musculoskeletal injuries*. 2015: Springer.
43. Singh, R., et al., *A review of current concepts in flexor tendon repair: physiology, biomechanics, surgical technique and rehabilitation*. Orthopedic reviews, 2015. **7**(4).
44. Kleinert, H.E., S. Špokevičius, and N.H. Papas, *History of flexor tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1995. **20**(3): p. S46-S52.
45. Tang, J.B., *New developments are improving flexor tendon repair*. Plastic and reconstructive surgery, 2018. **141**(6): p. 1427-1437.
46. Lutsky, K.F., E.L. Giang, and J.L. Matzon, *Flexor tendon injury, repair and rehabilitation*. Orthopedic Clinics, 2015. **46**(1): p. 67-76.
47. Mehling, I.M., A. Arsalan-Werner, and M. Sauerbier, *Evidence-based flexor tendon repair*. Clinics in Plastic surgery, 2014. **41**(3): p. 513-523.
48. Taras, J., G. Martyak, and P. Steelman, *Primary care of flexor tendon injuries, in Rehabilitation of the hand and upper extremity*. 2011, Elsevier Mosby, St. Louis, MO. p. 445-456.
49. Moiemmen, N. and D. Elliot, *Primary flexor tendon repair in zone 1*. Journal of Hand Surgery, 2000. **25**(1): p. 78-84.
50. Tang, J.B., *Flexor tendon repair in zone 2C*. J Hand Surg Br, 1994. **19**(1): p. 72-5.
51. Scott, W., N. Robert, and C. William, *Green's operative hand surgery*. Handchirurgie· Mikrochirurgie· Plastische Chirurgie, 2016. **48**(06): p. 383-383.
52. Messina, A., *The double armed suture: tendon repair with immediate mobilization of the fingers*. The Journal of hand surgery, 1992. **17**(1): p. 137-142.
53. Kannus, P., *Structure of the tendon connective tissue*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2000. **10**(6): p. 312-320.
54. Jozsa, L., et al., *Three-dimensional infrastructure of human tendons*. Cells Tissues Organs, 1991. **142**(4): p. 306-312.
55. Eroschenko, V., *Histoloji atlası fonksiyonel ilişkileriyle ed. R.ç.A.C. Demir*. 2001: Ankara: Palme Yayıncılık. s37.
56. Farkas, L.G., H.G. Thomson, and R. Martin, *Some practical notes on the anatomy of the chicken toe for surgeon investigators*. Plast Reconstr Surg, 1974. **54**(4): p. 452-8.

57. Nakagaki, W.R., et al., *Biomechanical and Biochemical Properties of Chicken Calcaneal Tendon Under Effect of Age and Nonforced Active Exercise*. *Connective Tissue Research*, 2007. **48**(5): p. 219-228.
58. Savage, R., *In vitro studies of a new method of flexor tendon repair*. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume*, 1985. **10**(2): p. 135-141.
59. McLarney, E., H. Hoffman, and S.W. Wolfe, *Biomechanical analysis of the cruciate four-strand flexor tendon repair*. *The Journal of hand surgery*, 1999. **24**(2): p. 295-301.
60. Winters, S.C., et al., *The effects of multiple-strand suture methods on the strength and excision of repaired intrasynovial flexor tendons: A biomechanical study in dogs*. *The Journal of hand surgery*, 1998. **23**(1): p. 97-104.
61. Wada, A., et al., *The mechanical properties of locking and grasping suture loop configurations in four-strand core suture techniques*. *Journal of Hand Surgery*, 2000. **25**(6): p. 548-551.
62. Xie, R.G. and J.B. Tang, *Investigation of locking configurations for tendon repair*. *The Journal of hand surgery*, 2005. **30**(3): p. 461-465.
63. Hatanaka, H., J. Zhang, and P.R. Manske, *An in vivo study of locking and grasping techniques using a passive mobilization protocol in experimental animals*. *The Journal of hand surgery*, 2000. **25**(2): p. 260-269.
64. Tanaka, T., et al., *Gliding characteristics and gap formation for locking and grasping tendon repairs: a biomechanical study in a human cadaver model*. *The Journal of hand surgery*, 2004. **29**(1): p. 6-14.
65. Xie, R.G., et al., *Effects of locking area on strength of 2-and 4-strand locking tendon repairs*. *The Journal of hand surgery*, 2005. **30**(3): p. 455-460.
66. Strickland, J.W., *Flexor tendon surgery. Part 1: Primary flexor tendon repair*. *J Hand Surg Br*, 1989. **14**(3): p. 261-72.
67. Thorne, H., *Tendon iyileşme ve fleksör tendon cerrahisi (çeviri: P. Zidel, B. Kaya)*. Gültaş SM, Editör). *Grabb and Smith's Plastic Surgery*. **6**: p. 803-9.
68. Miles, J.W., et al., *The effect of anabolic steroids on the biomechanical and histological properties of rat tendon*. *J Bone Joint Surg Am*, 1992. **74**(3): p. 411-22.

69. Rees, S.G., C.M. Dent, and B. Caterson, *Metabolism of proteoglycans in tendon*. Scand J Med Sci Sports, 2009. **19**(4): p. 470-8.
70. Sharma, P. and N. Maffulli, *Basic biology of tendon injury and healing*. The surgeon, 2005. **3**(5): p. 309-316.
71. Lin, T.W., L. Cardenas, and L.J. Soslowsky, *Biomechanics of tendon injury and repair*. J Biomech, 2004. **37**(6): p. 865-77.
72. Aydın, O., *Tensor fasya lata tendon grefti ile onarılan metakarpofalangeal eklem ve distalindeki ekstansör tendon defekti olgularının retrospektif analizi*. 2013.
73. James, R., et al., *Tendon: biology, biomechanics, repair, growth factors, and evolving treatment options*. The Journal of hand surgery, 2008. **33**(1): p. 102-112.
74. Bindra, R.R., *Basic pathology of the hand, wrist, and forearm: tendon and ligament*. Hand surgery, 2004. **1**: p. 24-34.
75. Dündar, N., et al., *Biomechanical comparison of Bunnell, modified Kessler, and Tsuge tendon repair techniques using two suture types*. Acta Orthop Traumatol Turc, 2020. **54**(1): p. 104-113.
76. Wu, Y. and J. Tang, *Recent developments in flexor tendon repair techniques and factors influencing strength of the tendon repair*. Journal of Hand Surgery (European Volume), 2014. **39**(1): p. 6-19.
77. Strickland, J.W., *Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress*. Journal of Hand Surgery, 2000. **25**(2): p. 214-235.
78. Wong, J.K. and F. Peck, *Improving results of flexor tendon repair and rehabilitation*. Plastic and reconstructive surgery, 2014. **134**(6): p. 913e-925e.
79. Sandvall, B.K., et al., *Flexor tendon repair, rehabilitation, and reconstruction*. Plastic and reconstructive surgery, 2013. **132**(6): p. 1493-1503.
80. Neumeister, M.W., A. Amalfi, and E. Neumeister, *Evidence-based medicine: flexor tendon repair*. Plastic and reconstructive surgery, 2014. **133**(5): p. 1222-1233.
81. Khor, W.S., et al., *Improving outcomes in tendon repair: a critical look at the evidence for flexor tendon repair and rehabilitation*. Plastic and reconstructive surgery, 2016. **138**(6): p. 1045e-1058e.
82. Klifto, C.S., et al., *Flexor tendon injuries*. JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2018. **26**(2): p. e26-e35.

83. Yildiran, G., O. Akdag, and Z. Tosun, *Biomechanical Comparison of a New Loop Suture Technique With Conventional Techniques of Flexor Tendon Repair: An In Vitro Study*. *Annals of plastic surgery*, 2019. **82**(4): p. 441-444.
84. Mitsunaga, K.A. and R.M. Szabo, *What is the Best Method Of Rehabilitation After Flexor Tendon Repair in Zone II: Passive Mobilization or Early Active Motion? What is the Best Suture Configuration for Repair of Flexor Tendon Lacerations?*, in *Evidence-Based Orthopaedics: The Best Answers to Clinical Questions*. 2009, Elsevier Inc. p. 91-103.
85. Strickland, J.W., *Flexor tendon injuries. Part 5. Flexor tenolysis, rehabilitation and results*. *Orthop Rev*, 1987. **16**(3): p. 137-53.
86. Tang, J.B., *Indications, methods, postoperative motion and outcome evaluation of primary flexor tendon repairs in Zone 2*. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 2007. **32**(2): p. 118-129.
87. Joyce, C., et al., *Flexor tendon repair: a comparative study between a knotless barbed suture repair and a traditional four-strand monofilament suture repair*. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 2014. **39**(1): p. 40-45.
88. Trail, I., E. Powell, and J. Noble, *An evaluation of suture materials used in tendon surgery*. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume*, 1989. **14**(4): p. 422-427.
89. Parikh, P.M., S.P. Davison, and J.P. Higgins, *Barbed suture tenorrhaphy: an ex vivo biomechanical analysis*. *Plastic and reconstructive surgery*, 2009. **124**(5): p. 1551-1558.
90. Strickland, J., *Flexor tendons-acute injuries*. *Green's operative hand surgery*, 1999: p. 1851-1897.
91. Momose, T., et al., *The effect of knot location, suture material, and suture size on the gliding resistance of flexor tendons*. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 2000. **53**(6): p. 806-811.

92. McClellan, W.T., et al., *A knotless flexor tendon repair technique using a bidirectional barbed suture: an ex vivo comparison of three methods*. Plastic and reconstructive surgery, 2011. **128**(4): p. 322e-327e.
93. Pruitt, D.L., M. Aoki, and P.R. Manske, *Effect of suture knot location on tensile strength after flexor tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1996. **21**(6): p. 969-973.
94. Van Rijssel, E., et al., *Tissue reaction and surgical knots: the effect of suture size, knot configuration, and knot volume*. Obstetrics and gynecology, 1989. **74**(1): p. 64-68.
95. Urbaniak, J. *Tendon suturing methods, analysis of tensile strength*. in *AAOS symposium on tendon surgery in the hand*. 1975. The CV Mosby Co.
96. Schuind, F., et al., *Flexor tendon forces: in vivo measurements*. The Journal of hand surgery, 1992. **17**(2): p. 291-298.
97. Tran, H.N., et al., *In vitro cyclic tensile testing of combined peripheral and core flexor tenorrhaphy suture techniques*. The Journal of hand surgery, 2002. **27**(3): p. 518-524.
98. AOKI, M., et al., *Work of flexion after tendon repair with various suture methods: a human cadaveric study*. Journal of Hand Surgery, 1995. **20**(3): p. 310-313.
99. Wade, P., R. Wetherell, and A. Amis, *Flexor tendon repair: significant gain in strength from the Halsted peripheral suture technique*. The Journal of Hand Surgery: British & European Volume, 1989. **14**(2): p. 232-235.
100. Singer, G., et al., *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*. JBJS, 1998. **80**(10): p. 1498-1506.
101. Barmakian, J.T., et al., *Comparison of a suture technique with the modified Kessler method: resistance to gap formation*. The Journal of hand surgery, 1994. **19**(5): p. 777-781.
102. Wray, R.C. and P.M. Weeks, *Experimental comparison of technics of tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1980. **5**(2): p. 144-148.

103. Kubota, H., et al., *Mechanical properties of various circumferential tendon suture techniques*. The Journal of Hand Surgery: British & European Volume, 1996. **21**(4): p. 474-480.
104. Lawrence, T., et al., *An assessment of the tensile properties and technical difficulties of two-and four-strand flexor tendon repairs*. Journal of Hand Surgery, 2005. **30**(3): p. 294-297.
105. Angeles, J.G., H. Heminger, and D.P. Mass, *Comparative biomechanical performances of 4-strand core suture repairs for zone II flexor tendon lacerations*. The Journal of hand surgery, 2002. **27**(3): p. 508-517.
106. Tang, J.B., et al., *Evaluation of four methods of flexor tendon repair for postoperative active mobilization*. Plastic and Reconstructive Surgery, 2001. **107**(3): p. 742-749.
107. Zhao, C., et al., *Effect of gap size on gliding resistance after flexor tendon repair*. JBJS, 2004. **86**(11): p. 2482-2488.
108. Gelberman, R.H., et al., *The effect of gap formation at the repair site on the strength and excursion of intrasynovial flexor tendons. An experimental study on the early stages of tendon-healing in dogs*. JBJS, 1999. **81**(7): p. 975-82.
109. Myer, C. and J.R. Fowler, *Flexor tendon repair: healing, biomechanics, and suture configurations*. The Orthopedic Clinics of North America, 2016. **47**(1): p. 219-226.
110. Yang, W., et al., *A biomechanical analysis of the interlock suture and a modified Kessler-loop lock flexor tendon suture*. Clinics, 2017. **72**: p. 582-587.
111. Seradge, H., *Elongation of the repair configuration following flexor tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1983. **8**(2): p. 182-185.
112. Lindsay, W., H. Thomson, and F. Walker, *Digital flexor tendons: an experimental study: Part II. The significance of a gap occurring at the line of suture*. British Journal of Plastic Surgery, 1960. **13**: p. 1-9.
113. Ejeskär, A. and L. Irstam, *Elongation in profundus tendon repair: a clinical and radiological study*. Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery, 1981. **15**(1): p. 61-68.

114. Shepard, M.E., D.P. Lindsey, and L.B. Chou, *Biomechanical testing of epitendon suture strength in Achilles tendon repairs*. Foot & ankle international, 2007. **28**(10): p. 1074-1077.
115. Cao, Y., et al., *Influence of core suture purchase length on strength of four-strand tendon repairs*. The Journal of hand surgery, 2006. **31**(1): p. 107-112.
116. Greenwald, D.P., H.-Z. Hong, and J.W. May Jr, *Mechanical analysis of tendon suture techniques*. The Journal of hand surgery, 1994. **19**(4): p. 641-647.
117. Greenwald, D.P., et al., *Augmented Becker versus modified Kessler tenorrhaphy in monkeys: dynamic mechanical analysis*. The Journal of hand surgery, 1995. **20**(2): p. 267-272.
118. Veitch, A., et al., *In vitro biomechanical evaluation of the double loop suture for flexor tendon repair*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2000. **377**: p. 228-234.
119. Haddad Jr, R.J., et al., *Comparative mechanical analysis of a looped-suture tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1988. **13**(5): p. 709-713.
120. Lee, H., *Double loop locking suture: A technique of tendon repair for early active mobilization Part I: Evolution of technique and experimental study*. The Journal of hand surgery, 1990. **15**(6): p. 945-952.
121. Barrie, K.A., et al., *A biomechanical comparison of multistrand flexor tendon repairs using an in situ testing model*. The Journal of hand surgery, 2000. **25**(3): p. 499-506.
122. Barrie, K.A., et al., *The role of multiple strands and locking sutures on gap formation of flexor tendon repairs during cyclical loading*. The Journal of hand surgery, 2000. **25**(4): p. 714-720.
123. Robertson, G. and M. Al-Qattan, *A biomechanical analysis of a new interlock suture technique for flexor tendon repair*. Journal of Hand Surgery, 1992. **17**(1): p. 92-93.
124. Barrie, K.A., et al., *Effect of suture locking and suture caliber on fatigue strength of flexor tendon repairs*. The Journal of hand surgery, 2001. **26**(2): p. 340-346.
125. Taras, J., et al., *The double-grasping and cross-stitch for acute flexor tendon repair: applications with active motion*. Atlas Hand Clin, 1996. **1**: p. 13-28.
126. Tera, H. and C. Aberg, *Tensile strengths of twelve types of knot employed in surgery, using different suture materials*. Acta Chirurgica Scandinavica, 1976. **142**(1): p. 1-7.

127. Papandrea, R., et al., *Biomechanical and clinical evaluation of the epitenon-first technique of flexor tendon repair*. The Journal of hand surgery, 1995. **20**(2): p. 261-266.
128. Mason, M.L. and H.S. Allen, *The rate of healing of tendons: an experimental study of tensile strength*. Annals of Surgery, 1941. **113**(3): p. 424.
129. POTENZA, A.D., *Critical evaluation of flexor-tendon healing and adhesion formation within artificial digital sheaths: an experimental study*. JBJS, 1963. **45**(6): p. 1217-1233.
130. Potenza, A.D., *Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog: an experimental study*. JBJS, 1962. **44**(1): p. 49-64.
131. Tang, J.B., *Clinical outcomes associated with flexor tendon repair*. Hand clinics, 2005. **21**(2): p. 199-210.

ETİK KURUL ONAYI

Tarih ve Sayısı: 06.10.2021-114152



T.C.
UŞAK VALİLİĞİ
İl Tarım ve Orman Müdürlüğü

GIDANI KORU
SOFRANA SAHİP ÇIK

Sayı : E-98096979-280.01.01-2931717

Konu : Araştırma İzni

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜNE
(Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi)

İlgi : Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürlüğünün 21.09.2021 tarihli ve 65124556-105491 sayılı yazısı.

İlgi (a) yazı incelendiğinde tez çalışmalarında kullanılmak üzere talep edildiği anlaşılmakta olup, Deneysel ve Diğer Bilimsel Amaçlar İçin Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Yönetmelik 19 uncu maddesinde "Kullanıcı kuruluş dışında gerçekleştirilecek prosedürler için İl Müdürlüğünden önceden izin alınması zorunludur. İzin için proje yöneticisi; proje özeti, prosedürde kullanılacak hayvan sayısı ve türleri ile prosedürün uygulanacağı yer hakkında açıklama içeren bilgilerle il müdürlüğüne müracaat eder. İl müdürlüğü gerektiğinde ek bilgi ve belge isteyebilir." hükmü yer almaktadır.

Bu kapsamda Pamukkale Üniversitesi Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi bölümünde görevli Öğretim görevlisi Dr.Süleyman ALİYAZICIOĞLU'nun projesi ile ilgili olarak Müdürlüğümüzce gerekli incelemeler yapılmış olup "Deneysel ve Diğer Bilimsel Amaçlar İçin Kullanılan Hayvanların Refah ve Korunmasına Dair Yönetmelik" in 19 uncu maddesi ve Hayvan deneyleri Etik kuralları dikkate alınarak çalışmanın uygun görülmüştür.

Bilgilerinize ve gereğini arz ederim.

Halil İbrahim GÜRCAN
İl Müdürü V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 8763A96A-DD1A-42F9-9AC9-2B43C1A6074A

Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/tarim-ebys>

Sarayaltı Mah. Gazi Bulvarı No:135/A

Tel :0276 231 15 04 Fax: 0276 231 15 00

E-Posta: usak@tarimorman.gov.tr Kep: tarimveormanbakanligi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Ayhan ÇANLI
Veteriner Hekim



