

T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

PLASTİK, REKONSTRÜKTİF ve ESTETİK CERRAHİ

ANABİLİM DALI

**DÖRT UZUNLAMASINA BİLEŞENLİ DEVAMLI
EPİTENDİNÖZ SÜTÜR İLE TENDON ONARIMI
VE DİĞER TEKNİKLERLE
KARŞILAŞTIRILMASI:
TAVŞANLARDA DENEYSEL ÇALIŞMA**

FATİH ALP ÖZTÜRK

UZMANLIK TEZİ

İZMİR-2020

T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

PLASTİK, REKONSTRÜKTİF ve ESTETİK CERRAHİ

ANABİLİM DALI

**DÖRT UZUNLAMASINA BİLEŞENLİ DEVAMLİ
EPİTENDİNÖZ SÜTÜR İLE TENDON ONARIMI
VE DİĞER TEKNİKLERLE
KARŞILAŞTIRILMASI:
TAVŞANLARDA DENEYSEL ÇALIŞMA**

UZMANLIK TEZİ

FATİH ALP ÖZTÜRK

Danışman Öğretim Üyesi: Prof. Dr. Cenk Demirdöver

İÇİNDEKİLER

TABLolar LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
KISALTMALAR	vi
TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	1
ABSTRACT	4
1. GİRİŞ ve AMAÇ.....	7
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1.Tendon Onarımının Tarihçesi	10
2.2.Tendon Embriyolojisi ve Histolojisi	12
2.3.Fleksör Tendon Anatomisi (Şekil-3).....	16
2.3.1.Fleksör Digitorum Superficialis (FDS)	16
2.3.2.Fleksör Digitorum Profundus (FDP).....	17
2.3.3.Fleksör Pollicis Longus (FPL)	18
2.4.Fleksör Kılıf ve Makara (Pulley) Sistemi.....	19
2.5.Tendonların Kan Dolaşımı ve Beslenmesi.....	21
2.5.1.Vasküler Beslenme	21
2.5.2.Sinovyal Beslenme	24
2.6.Fleksör Zonlar	25
2.7.Aşil Tendonu Anatomisi.....	27
2.8.Tavşan Aşil Tendonu (Şekil-11).....	30
2.9.Tendon İyileşmesi	34
2.10.Tendon Onarım Teknikleri ve Biyomekanik Özellikleri.....	39
3. GEREÇ ve YÖNTEM	48
3.1.Deney Hayvanları	48
3.2.Deney Hayvanlarının Bakımı.....	49
3.4.Anestezi Uygulaması	50
3.5.Deney Grupları	51
3.6.Cerrahi Teknik ve Deney Modeli	54
4. BULGULAR	67
4.1.Onarım Sonrası Modeli Bulguları	67
4.2.İyileşme Sonrası Model Bulguları	71
4.3.Onarım Süresi Bulguları	74
5. TARTIŞMA	77

6. SONUÇ	88
7. KAYNAKLAR	90



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Deney grupları

Tablo 2: Onarım sonrası modelde elde edilen biyomekanik veriler

Tablo 3: Onarım sonrası modeli istatistik verileri

Tablo 4: Onarım Sonrası model Kruskal Wallis analizi

Tablo 5: Onarım sonrası model Mann-Whitney U analizi

Tablo 6: İyileşme sonrası modelde elde edilen biyomekanik veriler

Tablo 7: İyileşme sonrası modeli istatistik verileri

Tablo 8: Onarım süreleri istatistik verileri

Tablo 9: Deneklerin kaydedilen cerrahi onarım süreleri

Tablo 10: İyileşme Sonrası model Kruskal Wallis analizi

Tablo 11: İyileşme sonrası model Mann-Whitney U analizi

SEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Tip-1 kollajenin üretimi ve hücre dışına çıkarılması

Şekil 2: Tendonun hiyerarşik histolojik yapısı

Şekil 3: El fleksör tendon anatomisi

Şekil 4: Camper kiazması

Şekil 5: 2, 3, 4 ve 5. parmaklardaki makara sistemi

Şekil 6: Birinci parmak makara sistemi

Şekil 7: Tendonların ve vinkulaların vasküler beslenmesi

Şekil 8: Vinkulalar içindeki vasküler yapılar ve tendonların sinovyal beslenmesi

Şekil 9: Elin fleksör zonları

Şekil 10: Zon 1 ve Zon 2'nin alt zonlara ayrılması

Şekil 11: Tavşan kalkaneal tendonun posterior görünümü

Şekil 12: Tavşan kalkaneal tendonunun yapısı

Şekil 13: Tendon iyileşmesi

Şekil 14: Farklı tendon onarım teknikleri

Şekil 15: Gergin tendon onarımı

Şekil 16: Farklı tendon-dikiş kavşaklama yöntemleri

Şekil 17: Epiteodinöz sütür teknikleri

Şekil 18: Yay kirişi (bowstring) deformitesi

Şekil 19: Deney hayvanlarının barınma koşulları

Şekil 20: Deney grubunda kullanılan onarım tekniğinin şematik görünümü

Şekil 21: Deney grubunda kullanılan onarım tekniğinin şematik görünümü

Şekil 22: Deneklerin cerrahi masaya alınması ve lokal anestezi uygulanması

Şekil 23: Cilt insizyonu, cilt fleplerinin eleve edilmesi ve kalkaneal tendonun hazırlanması

Şekil 24: Kontrol-1 ve kontrol-2 grupları onarım sonrası görünüm

Şekil 25: Deney grubu onarım sonrası görünüm

Şekil 26: Deney grubu onarım tekniğinin basamaklar şeklinde gösterimi

Şekil 27: Deney grubu onarım tekniğinin basamaklar şeklinde gösterimi

Şekil 28: Deney grubu onarım tekniğinin basamaklar şeklinde gösterimi

Şekil 29: Deney grubu onarım tekniğinin basamaklar şeklinde gösterimi

Şekil 30: Deney grubu onarım tekniğinin basamaklar şeklinde gösterimi

Şekil 31: Kontrol-1 grubu spesimenlerinin test öncesi ve sonrası görüntüleri

Şekil 32: Kontrol-2 grubu spesimenlerinin test öncesi ve sonrası görüntüleri

Şekil 33: Deney grubu spesimenlerinin test öncesi ve sonrası görüntüleri

Şekil 34: Spesimenlerin çaplarının ölçülmesi ve deney düzeneğine yerleştirilmesi

Şekil 35: Biyomekanik ölçümlerin yapıldığı cihaz (Shimadzu AG-IS 5kN)

Şekil 36: Spesimenlerin test sırasında deney düzeneğindeki görünümü

Şekil 37: Onarım sonrası modelde gruplar için örnek kuvvet-yer değiştirme grafikleri

Şekil 38: İyileşme sonrası modelde gruplar için örnek kuvvet-yer değiştirme grafikleri

KISALTMALAR

BF: Biceps Femoris Kası (tavşan)
BMP-4: Bone Morphogenic Protein-4
CCT: Common Calcaneal Tendon (tavşan)
CT: Calcaneal Tuber (Tuber Calcanei) (tavşan)
CTS: Calcaneal Tendon of Semitendinosus (Semitendinosus kasının kalkaneal tendonu) (tavşan)
D: Deney
DIP: Distal İnterfalangeal
DNA: Deoksiribonükleik Asit
ECM: Ekstraselüler Matriks
FCR: Flexor Carpi Radialis
FCU: Flexor Carpi Ulnaris
FDP: Flexor Digitorum Profundus
FDS: Flexor Digitorum Superficialis
FPL: Flexor Pollicis Longus
G: Gastrocnemius Kası (tavşan)
GT: Gastrocnemius Tendonu
IP: İnterfalangeal
LG: Lateral Gastrocnemius (Gastrocnemius lateral başı) (tavşan)
MG: Medial Gastrocnemius (Gastrocnemius medial başı) (tavşan)
MK: Modifiye Kessler
MKP: Metakarpofalangeal
mRNA: Mesajcı ribonükleik asit
N: Newton
PIP: Proksimal İnterfalangeal
PL: Palmaris Longus
PTA: Posterior Tibial Arter
S: Soleus Kası (tavşan)
SDft: Superficial Digital Flexor Tendon (Yüzeyel Dijital Fleksör kasın Tendonu) (tavşan)
SPSS: Statistical Package for the Social Sciences
ST: Semitendinosus Kası (tavşan)
T: Tang
UB: Uzunlamasına Bileşen
VBP: Vinculum Brevis Profundus
VBS: Vinculum Brevis Superficialis
VEGF: Vascular Endothelial Growth Factor (Vasküler Endotelial Büyüme Faktörü)
VLP: Vinculum Longus Profundus
VLS: Vinculum Longus Superficialis

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca tecrübelerinden faydalandığım, asistanları olmaktan gurur duyduğum, ihtiyacım olduğunda mesleki ve kişisel yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım:

Bir uzmanın “müstakilen bir kliniği yönetebilmesi gerektiği” gerçeğini her fırsatta bana aşlamak için elinden geleni yapan, gösterdiği örnek klinik yönetimi sayesinde bölüm içinde her zaman birleştirici ve yapıcı olmayı öğreten, engin cerrahi ve hayat tecrübelerini her zaman bizlerle paylaşan Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Can Karaca’ya;

Bir plastik cerrahın sahip olması gereken mesleki saygı ve disiplini anlamamı sağlayan; kıdemliye, kullanılan cerrahi malzeme ve ekipmana, hastaya ve dokuya saygı göstermeyi bana öğreten Prof. Dr. Mustafa Yılmaz’a;

Sonuç odaklı bakışını ve mantıklı çözümlerini, mesleğin her alanında gösterdiği planlı ve programlı yapısını, sistematik düşünce tarzını her zaman örnek aldığım, cerrahi beceri ve pratiklik anlamında bana çok şey katan Prof. Dr. Adnan Menderes’e;

Cerrahide sabrın ne kadar önemli olduğunu bana öğreten, sahip olduğu inanılmaz temiz kalbi, merhameti ve insan sevgisine gıpta ettiğim; “Hastaya yazık abim” diyerek daima hekimlik mesleğindeki amacımı bana hatırlatan ve aşılayan, yaşadığım mesleki veya özel hiçbir konuda hiçbir zaman desteğini esirgemeyerek bir ağabeyin nasıl olması gerektiğini bana en güzel şekilde gösteren Prof. Dr. Haluk Vayvada’ya;

Mesleki duruşu, esnemeyen tıp etiği ve ahlakı, bitmek tükenmek bilmeyen enerjisi ve çalışkanlığı ile bana kişisel olarak çok şey katan; plastik cerrahinin kliniğimizden ibaret olmadığını ulusal ve uluslararası platformlarda hiçbir karşılık beklemeden yaptığı çalışmalar ve elde ettiği başarılar sayesinde anlamamı sağlayan; katılmama ön ayak olduğu yurtiçi ve yurtdışı toplantılar sayesinde ufhumun açılmasında büyük katkısı olan; bana hiçbir zaman inancını kaybetmeyip büyük sorumluluklar vererek yeterli olmam için kazanmam gereken cerrahi ve kişisel tüm tecrübeleri kazanmam için elinden geleni yapan; zorlu ve uzun asistanlık sürecim boyunca içinden çıkamadığım her durumda fikir ve tecrübesine başvurduğum, desteğinin eksikliğini bir an olsun hissetmediğim; benim ve diğer asistan ekibinin tüm sorunları ile ilgilenerek örnek bir “ağabey” figürünün nasıl olması gerektiğini bana öğreten; bilimsel anlamda her zaman bizleri biraz daha zorlayan ve sonuçlar elde etmemize ön ayak olan; mesai saatleri dışında bile olsa asistanların talebi doğrultusunda hasta başı ve teorik dersler anlatarak bizlere ve bilimselliğe verdiği önemi gösteren; bana karşı

gerektiğinde sert gerektiğinde şefkatli ve yapıcı yaklaşımı ile olabileceğimin en iyisi olmam için her zaman beni zorlayan; aynı zamanda tez danışmanım olan ve bu konuda da her zaman beni destekleyerek bu tezin yazılmasında büyük katkısı olan Prof. Dr. Cenk Demirdöver'e

Her zaman sakin ve mantıklı yaklaşımı ile desteklerini benden esirgemeyen; hem cerrahi eğitimime hem de kişisel gelişimime büyük katkı sağlayan; farklı anneden olma büyük ağabeyim, üzerimdeki büyük emeğini hiçbir zaman unutmayacağım Dr. Hasip Şamil Yazgan'a;

Asistanlık sürem boyunca birlikte çalıştığımız tüm asistan arkadaşlara; eğitimimde çok katkısı olan ve ablalığımı eksik etmeyen Dr. Müge Sevindik'e, çalışkanlığı ve iş ahlakı ile çalışmaktan zevk aldığı ve tezimin hayvan deneyleri sırasında bana çok yardımcı olan başta Dr. Süleyman Çakmak olmak üzere Dr. Hüseyin Emre Ulukaya ve Dr. Safa Eren Atalmış'a;

Uzmanlık tezimin biyomekanik konularıyla ilgili her adımında büyük emeği ve desteği olan, aynı zamanda biyomekanik ölçümleri yaparak deney sürecine de katkı veren; tüm bunların yanında arkadaşlık ve kahvelerini de eksik etmeyen Reşit Buğra Hüsemoğlu'na;

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi'ndeki hekimlik eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma;

Beni ben yapan her şeyi bana kazandıran; gerektiğinde kendilerinden vazgeçerek beni ve kardeşimi yetiştirerek bugünlere getiren; gösterdikleri fedakarlıklarla bize olan sevgilerini ve verdikleri önemi her zaman dolu dolu hissettiğim; beni yetiştirirken gösterdikleri örnek ebeveyn modeli ve sonsuz sevgi ve destek sayesinde belki de farkında olmadan aynı sevgi ve şefkati gösterecek olan iyi bir ebeveyn yetiştiren; hekimlik mesleğinin ne kadar önemli ve kutsal olduğunu, insanlara elinden gelen en iyi şekilde yardım etmenin önemini, daima empati yaparak başkalarına karşı merhameti kaybetmemeyi bana aşılaman; başkasına haksızlık yaptığımda bana kızmaktan çekinmeyerek bana adalet duygusunu aşılaman; örnek hekimin nasıl olması gerektiğini daha küçüklükten beri bana göstererek mesleği sevmemi sağlayan; annem Jale Öztürk ve aynı zamanda hocam olan babam Hasan Serdar Öztürk'e;

Koşulsuz şartsız sevginin ne olduğunu bana gösteren, daha çok küçüklükten beri sadece ağabeyi olduğum için beni sonsuz seven ve hayatlarımızda ilk defa bu kadar uzak kaldığımız bu asistanlık süresi boyunca da ne zaman ihtiyacım olsa bana koşulsuz destek ve sevgisini gösteren kardeşim Dilara Nur Öztürk'e;

Kendi evinin sessiz ve huzurlu ortamından vazgeçerek hayatının son üç yılının büyük çoğunluğunu bizimle geçiren; çocuklarımızı gözümüz kapalı emanet ettiğimiz, şefkat ve hoşgörüsünü bizden eksik etmeyerek gecesini gündüzüne katarak bize hem destek olan hem de annelik yapan, kendisi farkında olmasa da bu tezin yazılmasında büyük emeği olan Binnur Suna'ya;

Özellikle, tanıştığımız günden beri beni her gün daha iyi bir insan yapan; hem tıp fakültesi hem de asistanlık eğitimimde bana sonsuz destek sağlayan; eve çok uğramadığım zamanlarda bile bana karşı hoşgörüsünü hiç kaybetmeyerek her ihtiyacımıza yetişen; gösterdiği destek ve motivasyon sayesinde hem uzmanlık sınavını kazanmamdaki hem de asistanlığı bitirmemdeki en büyük role sahip olan; beni rezil değil vezir eden; bana dünyada aldığım en güzel iki hediye veren; meslekteki başarısının daha da fazlasını annelikte de göstererek beni gururlandıran; en iyi arkadaşım, aşkım ve eşim Dr. Gözde Öztürk'e

Bu tezin yazılması aşamasında biraz da olsa benden uzak kalan huzur kaynağım, canım evlatlarım Cemre Duru ve Tuna Alp'e...

sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Fatih Alp Öztürk

DÖRT UZUNLAMASINA BİLEŞENLİ DEVAMLI EPİTENDİNÖZ SÜTÜR İLE TENDON ONARIMI VE DİĞER TEKNİKLERLE KARŞILAŞTIRILMASI: TAVŞANLARDA DENEYSEL ÇALIŞMA

Fatih Alp Öztürk, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi

ozturkalp4@gmail.com

ÖZET

Amaç

Travmatik tendon kesileri günümüzde hayat kalitesini ciddi şekilde bozan, uzun süreli işgücü kaybına sebep olan ve sık görülen yaralanmalardır. 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 uzlaşılammıştır. Çalışmamızdaki deney grubunda kullanacağımız kendi geliştirmiş ve pratiğimizde kullanmakta olduğumuz tendon onarım tekniği bu çalışmaların sonucunda çıkan önemli faktörler arasındaki hassas denge düşünülerek tasarlanmıştır. Tarafımızca önerilen bu tekniğin karşılaştırma için kullanılan diğer tekniklere göre ideale en yakın teknik olduğunu göstermek amacıyla bu çalışma planlanmıştır.

Yöntem

Çalışma için 21 adet, 8-12 aylık, 4000±500 gr, erkek cinsiyet Yeni Zelanda tavşanı kullanılmıştır. İki gruptan birer hayvanın kaybedilmesi ve bir gruptan bir hayvanın çalışmadan çıkarılması ile grup başına 6 denek kalmıştır. Çalışma 6 hayvandan oluşan 3 grup olmak üzere toplamda 18 denekle yürütülerek tamamlanmıştır. Birinci kontrol grubunda 4 merkezi dikişli modifiye Kessler yöntemi uygulanmış ve iki numara küçük başka bir sütür kullanılarak kilitli devamlı epitendinöz onarım gerçekleştirilmiştir. Epitendinöz dikiş kullanılmayan ikinci kontrol grubunda ise Tang yöntemi uygulanmış ve diğer gruplarla aynı materyal ve kalınlıkta dikiş kullanılarak 6 merkezi dikişli onarım uygulanmıştır. Üçüncü grupta ise tarafımızca tanımlanmış olan teknik uygulanmış ve bu grup deney (D) grubu olarak adlandırılmıştır. Söz konusu teknikte kor dikişler 4 uzunlamasına bileşenli modifiye kessler

dikiş tekniğine benzer olacak şekilde ikili penington kilit sistemi kullanılarak atılmış, merkezi dikiş düğümlenirken düğüm sürtünmeyi azaltmak amacı ile onarım hattı içerisinde bırakılmıştır. Ardından sütür kesilmeyerek devamlı, kilitli epitendinöz dikiş olarak devam ettirilmiş, onarım hattının etrafı tamamen bu şekilde dönülmesinin ardından kor dikişi düğümü ile aynı noktada düğümlenerek onarım tamamlanmıştır. Onarım sonrasında düğümün onarım hattı dışına çıkmasını engellemek amacıyla iğnesiz uç düğüme yakın bir noktadan kesilerek onarım hattı içerisinde proksimale doğru iğne geçirilip gömülmüştür. İlk cerrahi sonrası denekler 56 gün (8 hafta) izlem yapılmıştır. İzlem döneminin sonunda hayvanların kontralateral kalkaneal tendonları da aynı noktadan kesilerek gruplara atanmış olan tekniklerle onarılmış ve bilateral tendon spesimenleri hayvanlardan alınmıştır. Bu aşamada onarım süreleri de kaydedilerek onarımlar arasındaki zaman farklılıkları not edilmiştir. Hayvanlardan elde edilen bilateral kalkaneal tendonlar sayesinde her grup için farklı onarım teknikleriyle onarılmış 8 haftalık iyileşme süreci sonrası modeli ve onarım sonrası modelini temsil edecek olan yeni onarım yapılmış olan tendonlar elde edilmiştir. Her grup başına 6 tavşandan elde edilmiş olan 12 adet spesimen her hayvan ve grup için ayrı ayrı olacak şekilde biyomekanik testlerden geçirilmiştir.

Bulgular

Onarım sonrası modelinde kopma için gereken maksimum kuvvet değerlerinin gruplar arası varyans analizi için yapılan Kruskal-Wallis testi sonucu istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,002$; $p<0,05$). İkili olarak grupların karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Deney grubu diğer gruplara karşı yapılan ikili değerlendirmesinde onarım anında oluşan maksimum gerilme kuvveti açısından her iki gruba üstün olduğu görülmüştür. Birinci kontrol grubuna karşı p değeri 0,015 ($p<0,05$); ikinci kontrol grubuna karşı ise 0,002 ($p<0,05$) olarak saptanmıştır.

İyileşme sonrası modelinde gruplar arası farkın araştırılması amacı ile yine Kruskal Wallis testi uygulanmıştır. Özellikle ikinci kontrol grubu ve deney grupları arasında gözle görünen ortalama iyileşme sonrası kopma değerlerindeki farka rağmen Kruskal Wallis testine göre 3 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Onarım sonrası modelinde olduğu gibi gruplar ikili olarak birbirleri ile Mann-Whitney U testi kullanılarak yeniden karşılaştırılmıştır. Yapılan ikili karşılaştırma analizlerine göre de en büyük istatistik farklılık ikinci kontrol ve deney grupları arasında bulunmuş ($p=0,109$) ancak gruplar arası anlamlı istatistiksel farklılık saptanmamıştır ($p>0,05$).

Ortalama onarım süreleri bağımsız 3 grubun istatistiksel değerlendirilmesi amacı ile kuvvet ölçümlerine benzer şekilde Kruskal-Wallis yöntemi ile değerlendirilmiştir. Test sonucuna göre yöntemler arasında onarım için gereken süre açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,001$; $p<0,05$). Yapılan karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre birinci kontrol grubu onarım süresi açısından ikinci kontrol grubundan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde onarım için daha kısa süre gerektirmektedir ($p=0,026$; $p<0,05$). Deney grubu ise her iki gruba göre anlamlı düzeyde daha kısa sürede onarılmıştır. Her iki grup ile de karşılaştırıldığında p değeri 0,002 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$). Bu durumda onarım için gereken süre $K2 > K1 > D$ olarak saptanmıştır.

Sonuç

Sonuçta tarafımızca geliştirilen ve bu çalışmanın deney grubunda kullanılan tekniğin onarım anında ve iyileşme sonrasında hem Modifiye Kessler yönteminden hem de Tang yöntemlerinden daha yüksek gerilme kuvveti oluşturduğu söylenebilir. Onarım sonrası modelinde gerilme kuvvetlerinin ölçümünde elde edilen istatistiksel olarak anlamlı farklılık özellikle tendon iyileşmesi için çok önemli role sahip olan erken rehabilitasyon protokollerine daha uyumlu olacağı anlamına gelmektedir. İyileşme sonrası modelinden elde edilen biyomekanik veriler ve yapılan istatistiksel analizlerin sonucu da deney grubunda kullanılan tekniğin iyileşme dönemindeki tendon üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığını; onarım sonrasında yapılan ölçümlerde gösterdiği üstünlüğü iyileşme döneminde de koruduğunu göstermiştir. Aynı zamanda ölçülen cerrahi onarım süreleri ve bunların istatistiksel analizleri de hem uygulanma hızı hem de kolaylığı açısından deney grubunda kullanılan tekniğin daha üstün olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tendon, tendon onarım tekniği, çoklu uzunlamasına bileşenli onarım, tendon biyomekanik ölçümleri

FOUR STRAND TENDON REPAIR WITH UNINTERRUPTED EPITENDINOUS SUTURE AND COMPARISON TO OTHER POPULAR TECHNIQUES: STUDY ON RABBIT MODEL

Fatih Alp Öztürk, Dokuz Eylül University Faculty of Medicine

ozturkalp4@gmail.com

ABSTRACT

Objective

Traumatic tendon lacerations are very common in clinical practice today with potential to cause a prolonged loss of labor power and have a detrimental effect on quality of life of the injured. To find the ideal tendon repair technique; clinicians and scientists have conducted many studies *in vivo* and *ex vivo* lately, resulting in the discovery of many new repair techniques in the last few decades. Despite many widely accepted discoveries on the subject, these studies have failed to produce the one ideal repair technique to be used universally. The intricate balance between the widely accepted findings of these studies were taken into consideration and integrated during the development of the technique used in the experiment group of this study. Thus, this experimental study was designed to demonstrate the usability and effectivity of our newly developed technique.

Material and Method

Twenty-one male New Zealand albino rabbits with an average age of 8-12 months and 4000±500 gr in weight were used in the experiment. 2 animals from different groups were lost during the study and another animal was excluded from the other group leaving 6 animals for each of the three groups. As a result, the study was conducted and finalized with 3 groups of 6 animals with a total of 18 animals evenly distributed. First two groups were designed as the control groups and two commonly used repair techniques were assigned to each. The third group was determined as the experiment group and our new technique was used during the repairs conducted in this group. Four strand modified Kessler with a running peripheral suture technique was used in the first control group. In the second control group; six strand Tang technique was used without any peripheral sutures. Our newly developed technique with four strand repair with uninterrupted running epitendinous suture was used in the third group

which was determined as the experiment group of this study. The animals were monitored for 56 days (8 weeks) after the first tendon repair surgery for all groups. At the end of this time period, contralateral calcaneal tendons of the animals were cut and repaired using the same techniques as the first surgery, after which subjects were euthanized and bilateral tendon specimens were collected for all animals. During the second surgery, repair times were recorded and noted to determine the practicality of the techniques. At the end of the experimental procedure, two tendon specimens were collected for each of the animals; one of which represented the healing model and the other representing the time of repair model. Lastly; biomechanical tests were conducted on 12 tendon specimens from each of the six animals from each group to determine mechanical strength of the three different techniques.

Results

To determine the statistical significance between the groups for the time of repair model, the biomechanical findings were compared using Kruskal Wallis analysis. The difference between the three groups were found to be statistically significant ($p=0,002$; $p<0,05$). Mann-Whitney U test was used for the two-way analysis between groups and the results for the experiment group were found to be significantly higher than the other two control groups for the time of repair model ($p<0,05$).

Kruskal Wallis test was used similarly for the healing model to determine statistical significance between groups. Despite the noticeable difference between the mean values of each group, we were not able to demonstrate a statistically significant difference ($p>0,05$). Two way comparisons were conducted identically using Mann-Whitney U test for the analysis between groups; but this analysis too failed to show any significant differences between groups for the healing model ($p>0,05$).

Similarly, Kruskal Wallis test was used to determine any significant difference between groups in terms of repair time. The result of the analysis showed a statistically significant difference between the three groups ($p=0,001$; $p<0,05$). Mann-Whitney U test was then conducted to analyze any two-way difference between groups. Results demonstrated that the first control group required significantly less time to repair than the second control group ($p=0,026$; $p<0,05$). In addition; the experiment group required significantly less time to apply the repair separately compared to both of the control groups with both test resulting in a p value of 0,002 ($p<0,05$). Therefore, it is safe to state that in terms of repair time, the experiment group was found to be superior than the both of the control groups, and the first control groups is found to be superior to the second control group

Conclusion

As a result of the findings of this study, it is safe to say that the technique used in the experiment group has more mechanical strength than both the four strand Modified Kessler and the six strand Tang methods. Statistically superior results for the experiment group compared to both the control groups in our post-repair model also leads to the conclusion that our technique is more suitable for the early passive mobilization and active exercise protocols which are proven to be so crucial for proper healing of repaired flexor tendons. In addition, the results of the healing model yields to the conclusion that the experiment group technique does not impair or disrupt the healing of the tendon after repair as the difference in the mean mechanical strength values suggests. Furthermore, the comparative results of the tendon repair times show that the technique used in the experiment group is superior to both the techniques used in the control groups in terms of practicality and usability.

Keywords: Tendon, tendon repair techniques, multi-strand tendon repair, biomechanical tendon repair evaluation

1. GİRİŞ ve AMAC

Travmatik tendon kesileri günümüzde hayat kalitesini ciddi şekilde bozan, uzun süreli işgücü kaybına sebep olan ve sık görülen yaralanmalardır. Tüm tendon yaralanmalarının yaklaşık üçte ikisinin el yaralanmalarına eşlik ettiği ve kullanılamayan bir elin ne kadar ciddi bir fonksiyonel kayba yol açacağı göz önünde bulundurulduğunda tendon yaralanmalarının tedavisinin ne kadar büyük önem arz ettiği aşikardır. İdeal bir tendon onarımı ve takip eden rehabilitasyon sürecinin başlıca amacı yaralanan uzuv fonksiyonlarının kısa sürede ve daha da önemlisi tam olarak geri kazanılmasını sağlamak olmalıdır. Bu yönde yapılan sayısız çalışma ve ilerlemeye rağmen el tendon yaralanması hastalarının %25'inin klinik olarak tatmin edici olmayan sonuçlara ulaştığı ve %7,7'sinin ise tekrar rüptüre olarak yeniden operasyona ihtiyaç duyduğu saptanmıştır.¹

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. Farklı sütür tekniklerini karşılaştıran bunca *ex vivo* biyomekanik ve *in vivo* klinik çalışmaya rağmen klinik pratikte farklı ekollerde pek çok farklı teknik benzer başarı oranları ile halen kullanılmaktadır. Bu da diğerlerine üstün tek bir ideal onarım tekniği geliştirilmesi konusunda henüz başarıya ulaşamadığına işaret eden bir durumdur.

Yaralanan fleksör tendonların sonrasında normal fonksiyon göstermesini sağlayacak şekilde onarımını yapmak günümüzde halen zorluklar taşımaktadır. Onarım rüptürü ve adezyonu gibi komplikasyonlar göz önünde bulundurulduğunda bu zorluklar daha da artmaktadır. Fleksör tendon yaralanmaları bu kadar sık görülmelerine rağmen tendon onarım teknikleri ve postoperatif rehabilitasyon ile ilgili birçok yöntem olması ve tek bir yöntem üzerinde uluslararası bir ortak noktaya varılamamış olması da bu konunun zorluklarına işaret eden başka bir kanıttır.

İdeal bir tendon onarımı tekniğinin sahip olması gereken çeşitli özellikler vardır. Bunlar; (1) onarım sonrasındaki gerilme gücünün (onarım gücü) yüksek olması, (2) onarım sonrasında tendon hareketlerine ve tendon kılıfı içerisindeki kayma hareketine izin vermesi ve (3) geç dönemde yapışıklıklara mümkün olduğu kadar az yol açması olarak sıralanabilir.² Klinik pratikte tendon kesileri çoğu zaman eşlik eden nörovasküler yapılarla birlikte yaralanır. Bu nedenle onarım cerrahisi sırasında sadece tendonlar değil, damar ve sinir yapılarının da onarılması gerekebilir. Hatta yaralanan uzvun dolaşımının bozulmuş olması halinde revaskülarizasyon gerekebilir. Bu gibi durumlarda kemik ve tendon onarımı olası damar ve

sinir onarımlarından önce yapılması gerektiğinden tendon onarımının hızlı bir şekilde bitirilmesi gerekir. Bu yüzden ideal bir tendon onarım tekniğinin yukarıda sıralanan biyomekanik özelliklerinin yanında pratik ve hızlı uygulanabilir olması da neredeyse bir o kadar önemli bir husustur.³

Yapılan bazı çalışmalar tendon onarımı sırasında kullanılan tekniğin merkezi (core) dikiş sayısının tendon gerilme kuvveti ile direkt doğru orantılı ilişkisi olduğunu göstermiştir.⁴ Bu durum zamanla onarım hattını kateden 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.³ Bununla birlikte iplik sayısının yanında sütür konfigürasyonu, atılan sütürün onarım bölgesine uzaklığı, tendon tutma miktarı, sütür materyalinin özellikleri, sütür gerginliği gibi faktörlerin de onarımın biyomekanik özelliklerini etkilediği gösterilmiştir.⁵ 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.³ Bunun yanında tendonların fonksiyonel yapılar olduğu ve yapılan onarımların hemen sonrasında *ex vivo* olarak ölçümlenen biyomekanik parametrelerin iyileşme sürecini tam olarak aydınlatmadığı akıldan bulundurulmalıdır. Tendon onarımının gerilme gücünün fazla olması onarımın iyileşme sonrasında elde edilmesi amaçlanan eklem hareket açıklığını sağlayacağı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle karşılaştırılacak onarım tekniklerinin iyileşme sonrası dönemi de kapsayacak ve değerlendirecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Çalışmamızdaki deney grubunda kullanacağımız kendi geliştirdiğimiz ve pratiğimizde kullanmakta olduğumuz tendon onarım tekniği yukarıda bahsedilen önemli faktörler arasındaki hassas denge düşünülerek tasarlanmıştır. Söz konusu teknikte kor dikişler 4 uzunlamasına bileşenli modifiye kessler dikiş tekniğine benzer olacak şekilde ikili penington kilit sistemi kullanılarak atılmış, merkezi dikiş düğümlenirken düğüm sürtünmeyi azaltmak amacı ile onarım hattı içerisinde bırakılmıştır. Ardından sütür kesilmeyerek devamlı, kilitli epitendinöz dikiş olarak devam ettirilmiş, onarım hattının etrafı tamamen bu şekilde dönülmesinin ardından kor dikişi düğümü ile aynı noktada düğümlenerek onarım tamamlanmıştır. Onarım sonrasında düğümün onarım hattı dışına çıkmasını engellemek

amacıyla iğnesiz uç düğüme yakın bir noktadan kesilerek onarım hattı içerisinde proksimale doğru iğne geçirilip gömülmüştür. Tarafımızca önerilen bu tekniğin karşılaştırma için kullanılan diğer tekniklere göre ideale en yakın teknik olduğunu göstermek amacıyla bu çalışma planlanmıştır. Özellikle erken dönem fizik tedavi protokollerin onarılan tendonların iyileşmesi açısından sahip olduğu önem göz önünde bulundurulduğunda onarım sonrası erken dönemde elde edilen daha yüksek gerilme kuvveti elde edilmesi deney grubunda kullanılan tekniğin en önemli avantajı olacağı düşünülmüş ve tasarlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1.Tendon Onarımının Tarihçesi

Tendon onarımının geçmişi antik çağlara kadar dayanmaktadır. İçlerinde Hipokrat'ın da olduğu bazı antik çağ hekimleri kasın içine doğru giren beyaz renkli bir tübüler yapı gördüklerinde ilk etapta bunun bir sinir olduğunu düşünmüş ve bu şekilde değerlendirmişlerdir. Anatomi bilimine zamanının çok ötesinde katkılar yapmış olan Galen yaşadığı ikinci yüzyıl Roma imparatorluğu zamanındaki hekimlere tendon yaralanmalarını tedavi etmemeleri gerektiği, tedavi etmeleri halinde ağrı ve ekstremité kasılmalarına yol açabileceği konusunda uyarmıştır. Galen'in öğretileri yüzyıllar boyunca döneminin cerrahlarını etkilemiştir.⁶ 11. yüzyılda yaşamış olan İbn-i Sina Galen'den sonra ilk olarak tendonların onarılması gerektiğini savunan tıp insanı olmuştur. Hatta Gratz'ın 1928'deki makalesine göre İbn-i Sina'nın tendon onarım prensipleri 14 ve 16. yüzyıllar arasında birçok Avrupalı cerrah tarafından benimsenmiş ve kullanılmıştır.⁷ Ancak bu durum Galen'in önerilerinin etkisinin tamamen kaybolmasına neden olmamış ve tendon onarımı global olarak yaygınlaşmamıştır. 1682'de Meekren ve 1752'de van Haller tarafından yapılan deneysel çalışmalarda tendona cerrahi müdahale sonucunda Galen'in öne sürdüğü bulguların ortaya çıkmamasının ortaya konması ile bu tabu yıkılmıştır.⁶ İlk olarak 1767'de John Hunter tarafından yapılan bir çalışmada kanin aşıl tendonunun iyileşmesi incelenmiş ve iyileşme sırasında kemik iyileşmesine benzer şekilde bir kallus oluştuğu gösterilmiştir.⁸

Bunun gibi tendon konusunda yapılan erken çalışmalar genellikle aşıl tendonu gibi paratenon ile kaplı tendonları ilgilendiren çalışmalar olmuş, anatomik ve fizyolojik olarak çok farklı özelliklere sahip olan fleksör tendonlar gibi sinovyal membran içerisinde bulunan tendonların iyileşmesi ile ilgili bir fikir vermemiştir.⁶ 1910'ların sonunda Bier gibi bazı araştırmacılar tarafından kanin fleksör tendonları üzerinde yapılan çalışmalarda tendon iyileşmesi sonuçlarının kötü olduğu raporlanmıştır. Salomon bunu önlemenin yolunun tendon kılıfında bir defekt bırakılıp onarılan tendonun cilt altı dokuya temas etmesi gerektiğini savunmuş ancak Hueck tendon kılıfının açık veya kapalı olmasının tendon iyileşmesi açısından farklı olmadığını, her iki durumda da sonuçların suboptimal olduğunu söylemiştir.^{6, 9, 10}

Bunnell ve Garlock ilk olarak 1920'lerin başında tendonların parmaklar seviyesindeki intrasinovyal komponentlerinin onarımı sonrasında hareket kısıtlayıcı yapışıklıklar oluştuğunu öne sürmüştür.^{6, 11, 12} Bunnell oluşan yapışıklıklar sebebi ile bu bölgeyi "tehlikeli bölge (No Man's Land)" olarak İkinci Dünya Savaşı'nda kazılan iki karşıt siper arasındaki

tehlikeli bölgeye ithafen tanımlamıştır. JH Boyes; Bunnell'in bu bölgeyi tarif etmek için "no-man's land" terimini 1934'ten beri kullanmakta olduğunu ancak ilk olarak bu terimin Bunnell'in 1948 tarihli *Surgery of The Hand* kitabının ikinci baskısında kullanıldığını ifade etmektedir.^{6, 13} Bunnell bununla birlikte sinovyal membran içerisinde yapılan onarımlar için birtakım kurallardan bahsetmiştir. Bunlar; (1) paslanmaz çelik gibi erimeyen suture materyallerinin kullanımı, (2) Sadece derin tendonun onarılması ve (3) rüptür riskinin azaltılması için el bileğinin postoperatif dönemde fleksiyon pozisyonunda atellenmesi olarak sıralanabilir.^{6, 14} 1940 yılında Mason da fleksör tendon onarımı konusunda Bunnell'inkine benzer öneriler sunmuştur.¹⁵

Bunnell ve Mason'un konu ile ilgili yaptıkları başarılı çalışmalara rağmen 20. yüzyılın ilk yarısındaki genel uygulama "no man's land" bölgesindeki tendon kesilerinin onarımının primer değil, tendon greftleri ile sekonder olarak yapılması gerektiği yönünde olmuştur.⁶ Boyes'in bu bölgede yapılan onarımların enfeksiyon, yapışıklık ve yaygın nedbeleşme nedeni ile kötü sonuçlara yol açtığı ve bu bölgedeki onarımların tendon greftleme yöntemi ile yapılması gerektiği düşüncesi başka araştırmacılar tarafından da desteklenmiştir.^{6, 16, 17} Bu dönemde tendon yaralanmaları genellikle tendon grefti ile onarıldığından primer tendon iyileşmesi konusunda çok fazla deneysel çalışma yapılmamış, bu nedenle iyileşme mekanizmaları tam olarak aydınlatılamamıştır. Söz konusu dönemdeki genel kanı tendonun düşük metabolik aktivite ve yetersiz iyileşme potansiyeli gösteren hipovasküler bir yapı olduğu yönündedir.^{6, 18} Tendonun bu hipovasküler yapısından dolayı tendon iyileşmesinin tendonun içerisinden değil; çevre dokulardan gelen ekstrinsik fibroblastların yaralanan bölge üzerine göç ederek yapışması ve iyileşmeyi sağlaması şeklinde olduğu özellikle Peacock¹⁹⁻²¹ ve Potenza'nın²²⁻²⁴ çalışmalarında öne sürülmüştür. Bu nedenle ekstrinsik iyileşmenin tendonun iyileşme sürecinin vazgeçilmez bir parçası olduğu düşünülmüş ve iyileşme sonrası oluşan yapışıklıkların da bu nedenle kaçınılmaz olduğu bu dönemde kabul edilmiştir.⁶

Az sayıda araştırmacı tarafından kabul edilebilir primer onarım sonuçları rapor edilmesine rağmen 1967'deki Amerikan El Cerrahları Topluluğu Toplantısı'na kadar primer onarım benimsenmiş bir teknik olamamıştır. Söz konusu toplantıda Kleinert ve ark. tarafından yapılan "Primary Repair of Flexor Tendons in No Man's Land"²⁵ isimli sunum tendonların primer onarımının cerrahlar arasında yaygınlaşması açısından bir dönüm noktası niteliğindedir.⁶ Başlarda sunulan sonuçlar ve yöntemlere şüpheci ve çekingen yaklaşılsa da zamanla akut tendon yaralanmalarında primer onarım tendon grefti ile onarım yaklaşımının önüne geçmiştir.⁶

Primer onarımın efektif olduğunun kanıtlanması ve klinik pratikte gözlemlenmesi ile birlikte tendon iyileşmesine etki eden intrinsik faktörler olduğu düşünülmüş ve bu konudaki araştırmalar hızlanmıştır. Lindsay ve ark. tarafından tavuk modeli üzerinde daha önceden yapılan bir çalışmada fleksör tendonun yaralanma sonrasındaki hücresel cevabı ortaya konmuştur.^{6, 26} Yaralanma sonrasında önce epitenon kaynaklı hücrelerin yaralanma bölgesine göç ettiği, sonrasında ise endotenon kaynaklı fibroblastların da bölgede prolifer olmaya başladıkları; hatta bu hücresel cevabın tendon kılıfı varlığından bağımsız olarak ortaya çıktığı gösterilmiş, bu sayede tendonun intrensek bir iyileşme cevabı olduğu kanıtlanmıştır.²⁷ Lundborg'la birlikte Katsumi, Tajima'nın yaptığı bir çalışmada ise yaralanmış tendon parçaları tavşan sırtında sentetik bir poş içerisinde iyileştiği gösterilmiş, intrensek mekanizmanın önemi pekiştirilmiştir.^{28, 29} Manske ve ark.'larının 1980'lerin ortasında farklı hayvan modellerinden elde edilen tendon spesimenlerinin ekstrinsik yapılardan tamamen uzaklaştırılmış olarak kültür ortamında iyileşme potansiyellerini gösterdiği çalışmalar sonucunda ise tendonların intrinsik iyileşme potansiyelleri şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtlanmıştır.³⁰

Bu çalışmaların tendonların ekstrinsik iyileşme özelliklerinin ve dolayısı ile çevresel yapışıklıkların vazgeçilmez olmadığını göstermesi sonucunda; araştırmacı klinisyenler tendonların yapışıklık olmadan iyileşmesini sağlamak amacıyla onarım sahasının iyileşme sürecinde hareketlendirilmesi, onarım hattına daha fazla çekme kuvveti uygulanması, onarımın daha sağlam ve çoklu UB ihtiva eden farklı merkezi ve çevresel sütür teknikleri arayışına girmelerine neden olmuştur.⁶ Sonuç olarak fleksör tendon yaralanmalarının primer onarımı, erken pasif ve aktif rehabilitasyon rejimleri tercih edilen tedavi yöntemleri haline gelmiştir.

2.2.Tendon Embriyolojisi ve Histolojisi

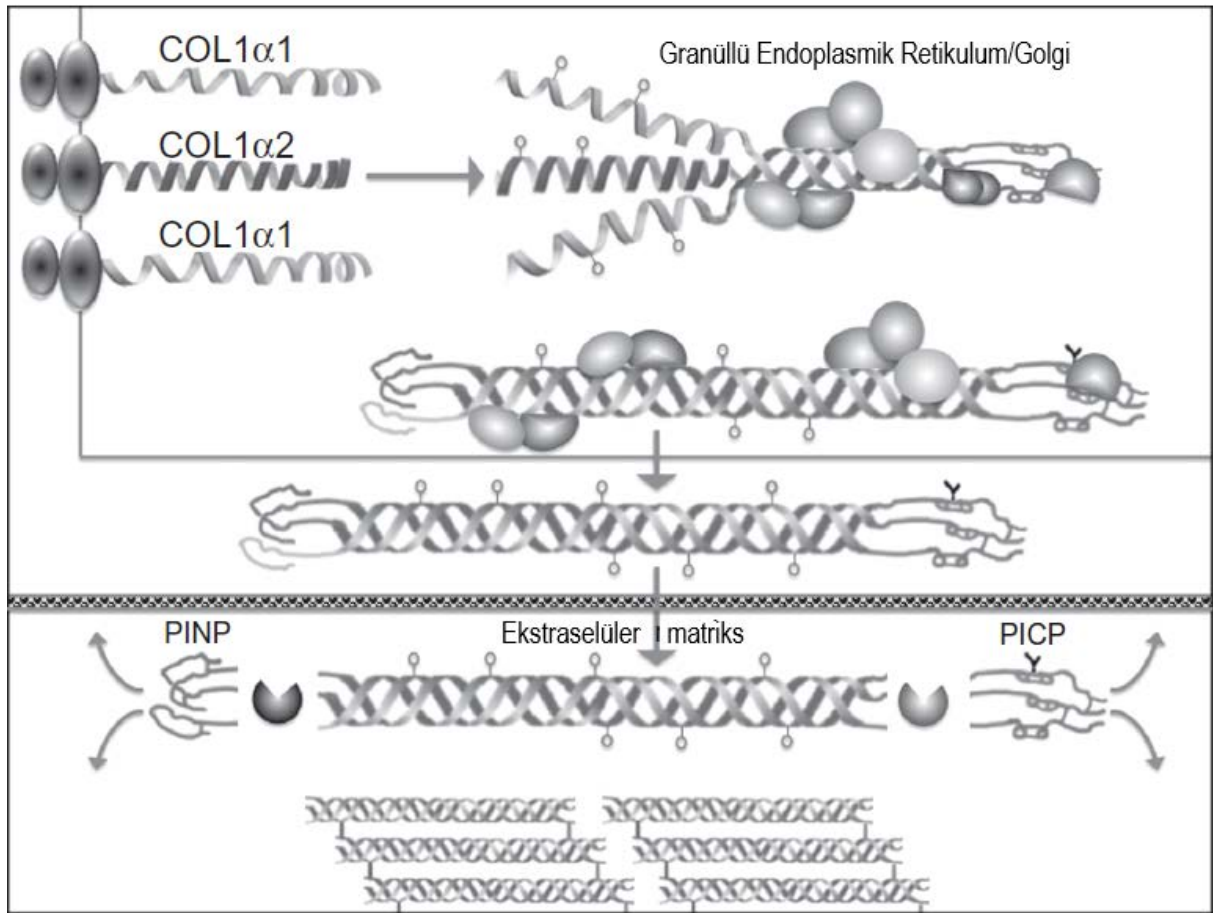
Ekstremité tendonları ektoderm tabakasından salınan “bone morphogenic protein-4 (BMP-4)” aracılığıyla gelişmeye başlayan mesodermin lateral tabakasından köken alır.³¹⁻³³ Tendonlar ilk olarak ekstremité güdüğünün mesenkiminde fetal hayatın altıncı ila sekizinci haftalarında ortaya çıkar ve somitlerden köken alan kaslarla bağlantı kurar.³⁴ Söz konusu somitlerin embriyonik gelişim sırasında radyasyon ile hasarlanması veya ortadan kaldırılması durumunda tendon gelişimi de durmaktadır. Dolayısıyla tendon gelişimi için kas gelişiminin şart olduğu söylenebilir.³⁵ Gelişimin erken evrelerinde selüleritesi fazla olan tendonların zaman ilerledikçe ve ekstraselüler matriks elemanlarının salgılanması ile birlikte erişkinliğe

ulaşıldığında diğer bağ doku elemanlarıyla karşılaştırıldığında hiposelüler bir yapı haline gelir. Gelişim süresince tendon yapısındaki kollajen liflerin çapı artar, kesit çapı genişler ve uzunlamasına büyüme de gerçekleşir. Bu uzunlamasına büyüme kemiğe benzer şekilde belirli bir büyüme plağından değil, tendon boyunca diffüz şekilde gerçekleşir. Bu uzunlamasına büyümenin mekanizması olarak uzunlamasına birbirine paralel olarak yerleşmiş olan kollajen lifleri ve oluşturdukları fibrillerin birbirleri üzerinden longitudinal düzlemde bir kayma hareketi göstererek olduğu saptanmıştır.³⁴

Fetal tendonlar büyük oranda tip-1 kollajen, tip-3 kollajen, proteoglikanlar ve tenositlerden (diferansiye fibroblastlar) oluşur. Fetal dönem tendonundaki kollajen fibriller (10-30nm) gelişme süreciyle birlikte büyüyerek 15-20'li yaşlarda (500-600 nm) yaklaşık 20 katı büyüklüğü ulaşır. Selülerite de giderek azalır. Fetal dönemde hücre-matriks oranı 1/1 ve mm³'te yaklaşık 200000 hücre bulunurken erişkin tendonunda bu sayı 50000'e kadar düşer.^{34, 36, 37} Büyüme devam ederken selülerite azaldıkça tenoblastlar tenositlere farklılaşır, hücre morfolojisi değişim gösterip uzayıp yassılaşır, sitoplazmik uzantılar belirginleşir ve hücre içindeki protein sentezinden sorumlu organeller azalır.³⁸

Embriyo gelişiminin 6.5 ile 8. haftalarında fetal kas öbeklerinin sonlarında tendonlar ilk olarak görülmeye başlanabilir. Sırasıyla üst ekstremitte tendonları alt ekstremitte tendonlarından; fleksör tendonlar da ekstensör tendonlardan önce gelişmeye başlar.³⁴

Tendonun yapısını ağırlıklı olarak tendonun uzunlamasına aksına paralel olarak yerleşmiş olan tip-1 kollajen lifler tarafından oluşturulur. Tip-1 kollajenin yapısında 2 adet $\alpha 1$ (Coll $\alpha 1$ geni) ve bir adet $\alpha 2$ (Coll $\alpha 2$ geni) molekül zinciri bulunur ve bunlar bir 3'lü heliks düzeninde bulunur (Şekil-1).^{33, 39}

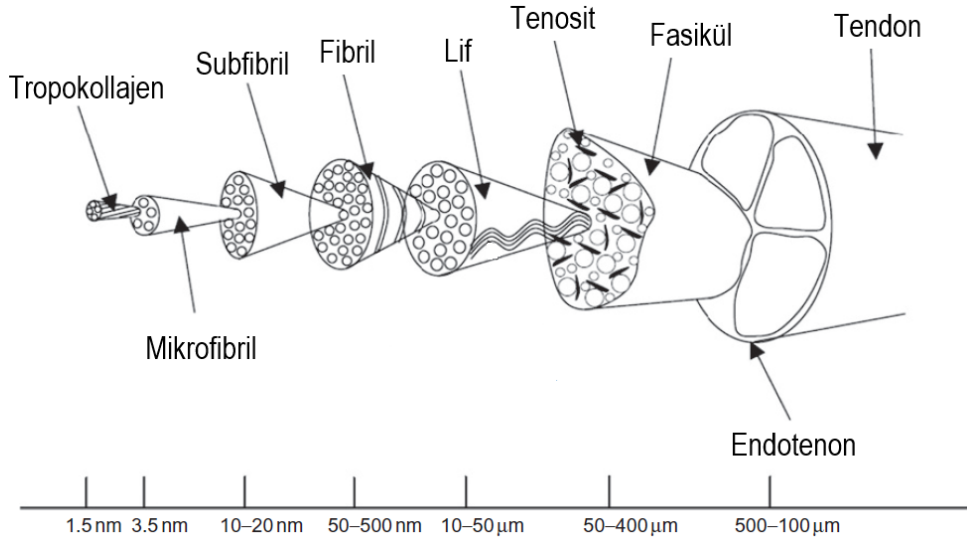


Şekil 1: Tip-1 kollajenin üretimi ve hücre dışına çıkarılması. Hücre dışına çıkması ardından N-terminal ve C-terminal polipeptidleri potansiyel olarak tip-1 kollajen üretimi için geri-bildirim modülatörleri olarak görev alabilirler. Ayrıca oluşturulan yapı dahilinde tip-1 kollajen üçlü heliks yapıları arasında sabitleyici çapraz bağlar oluşabilir. (PINP: N-terminal aminoasitleri; PICP: C-terminal aminoasitleri) ⁴⁰

Tendon gelişimin bilinen tek markeri scleraxis transkripsiyon faktörüdür. Tenositlerdeki scleraxis ekspresyonundaki artış tenomodulin (Tnmd) gen ekspresyonunu artırır ve Tenomodulin geni tarafından eksprese edilen protein tendon oluşumunun bir markeri olarak kabul edilir. Skleraxis transkripsiyon faktörü farelerde Col1α1 genini regüle ederken civciv ve zebra balığı modellerinde de tendon gelişimini regüle ettiği gösterilmiştir.⁴¹ Omurgalılarda tendon gelişimini düzenlediği düşünülen iki diğer transkripsiyon faktörü ise Mohawk (Mgk) ve Early Growth Response-1'dir (Egr-1). Mgk ve Egr-1 negatif farelerde tendon gelişimin ve iyileşmesinin bozulduğu, oluşan tendonların zayıf ve frajil oldukları gözlemlenmiştir.^{33, 42, 43}

Tendonun etrafındaki dokular arasında rahatça kaymasını sağlayan yapı paratenondur ve genellikle tip-1 ve tip-3 kollajenden oluşan elastik fibrillerden ibarettir.^{44, 45} Bunun altında ikinci tabaka olan epitenon bulunur; kollajeden oluşan yoğun fibriller bir ağ yapısının içerisinde birden fazla kollajen lifinin bir araya gelerek oluşturduğu demetler ve bunlara eşlik eden tenoblast ve tenositlerle birlikte “subfasikül” (birincil fiber paketi-*primary fiber bundle*) yapısını oluştururlar. Bu subfasiküllerin birkaçının endotenon adı verilen bir bağ doku

katmanı tarafından sarılmasıyla birlikte ikincil fiber paketleri (secondary fiber bundles) veya fasiküller oluşur. Bu fasiküllerin bir araya gelerek bir grup halinde toplanması sonucu üçüncül fiber paketleri (tertiary fiber bundles) oluşur ve bu tersiyer yapılar epitenon tarafından bir arada tutularak sağlam tendon yapılanmasını oluşturur (Şekil-2).^{45, 46}



Şekil 2: Tipik bir Tendonun Hiyerarşik Yapısı⁴⁷

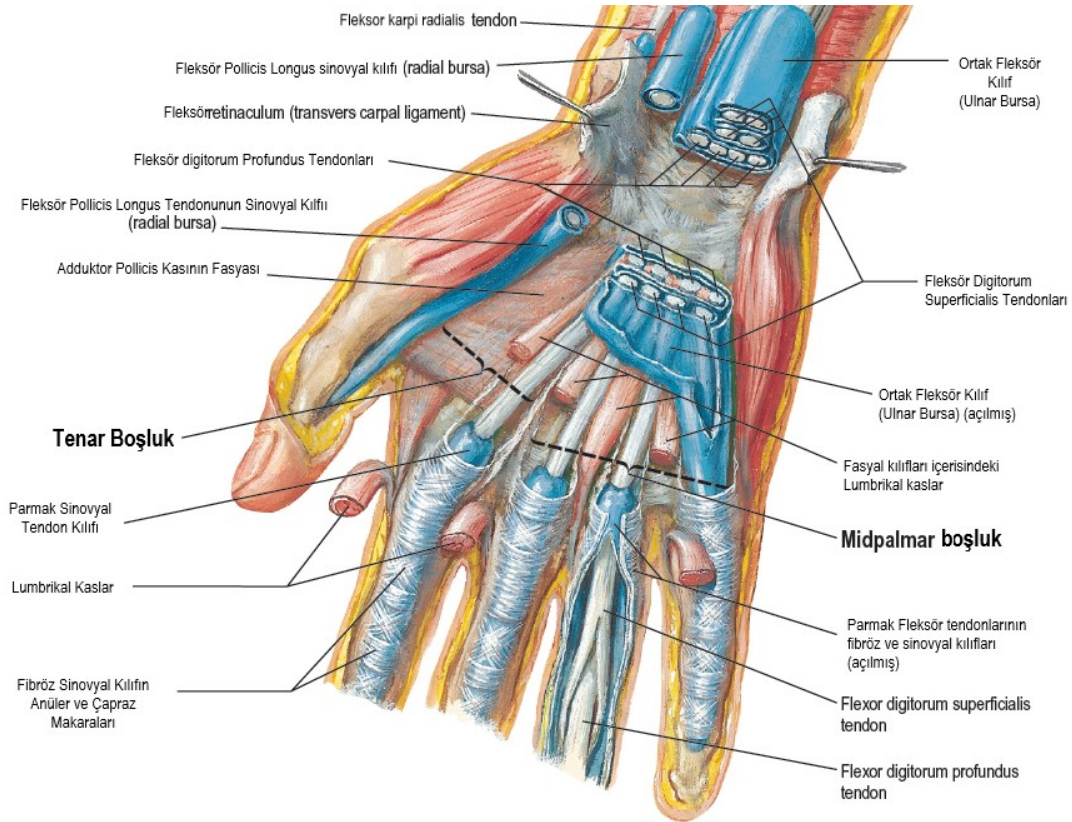
Tendonların çok yüksek mekanik yük ve basınçlara dayanabilmesinin sebebi kollajen liflerinin yapısı içerisindeki yerleşim düzenidir. Lifler tendonun uzun aksına paralel şekilde büyük bir düzen içinde yerleşmiştir.^{45, 46} Tendonun kuru ağırlığının %75-80'i kollajen liflerden oluşurken sadece %1-2'si elastik lifler gibi farklı yapılar ihtiva eder.⁴⁸ Tendon ve ligamentlerde bulunan ekstraselüler matriks (ECM) yapısında kollajen lifler, elastik lifler ve ara madde arasındaki bağlantılar ortamdaki proteoglikan-su karışımını oluşturur ve içerik oranları tendon ve ligamentler için farklıdır. Tendondaki bu matriks daha fazla kollajen, daha az elastin, proteoglikan ve su içerir. Kollajen ve elastinin etrafını saran bu ara madde proteoglikanlar, glikoproteinler ve glikozaminoglikanlardan oluşur ve iyi bir su bağlama kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri tendon ve ligamentlerin basınç kuvvetlerine dayanıklı olmasında ve yapısal sağlamlığını korumasında çok önemli bir rol oynar.^{49, 50}

Tendonlardan bulunan hücreler ECM sentezinde görev alırken aynı zamanda bir yaralanma durumunda iyileşmeyi verilen cevap açısından da önemli hale gelir. Bu hücrelerin %95'ini tenosit ve tenoblastlar oluştururken geri kalanını vasküler hücreler, sinovyal hücreler ve kondrositler oluşturur.^{45, 46} Yaşamın ilk yıllarında tendonlardaki hakim hücre olan tenoblastlar gelişimin ilerleyen safhalarında uzayıp yassılaşılarak tenositlere dönüşür. Aslında tendona özelleşmiş birer fibroblast olan bu tenositler ECM sentezinde görev alır ve düşük

metabolik aktiviteleri ve verimli anaerobik glikoliz yetenekleri sayesinde iskemi riski olmadan uzun süreli basınç ve kuvvetlere dayanabilirler.⁵¹

2.3.Fleksör Tendon Anatomisi (Şekil-3)

Parmakların ekstrinsik fleksiyon hareketleri Fleksor digitorum superfisialis (FDS), Fleksor Digitorum Profundus (FDP) ve Fleksor Pollicis Longus (FPL) tendonları tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 3: El Bileği ve El Anatomisi. Elin Ekstrinsik Fleksör Tendonları Karpal Tünelden Geçerek Nörovasküler Yapıların Derininde Kendi Fleksör Kılıflarının İçerisinde Bulunur.⁵²

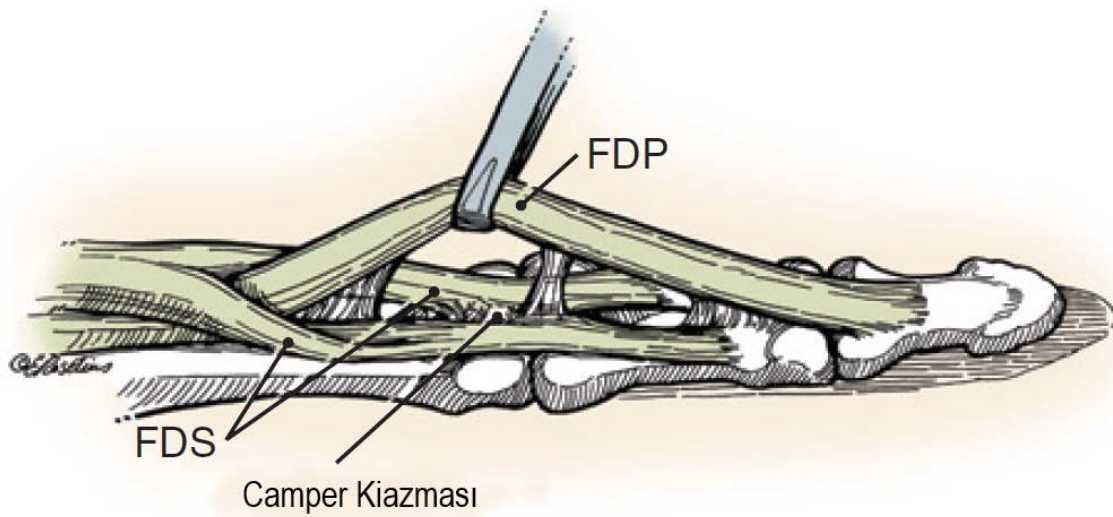
2.3.1.Fleksor Digitorum Superficialis (FDS)

FDS tendonları proksimal İnterfalangeal (PIP) eklemin fleksiyonundan sorumludur ve metakarpofalangeal (MKP) eklemlerin fleksiyonuna da katkıda bulunur. Kas gövdesinin iki ayrı başı vardır. Kas gövdesinin ulnar başı medial epikondilin anterior başı, dirseğin ulnar kollateral ligamenti, koronoid prosesin medial kısmı ve ulnanın proksimalinden origo alır. Kas gövdesinin radial başı ise supinator kasın insersiyosunun hemen distalinden, proksimal radiustan origo alır. Önkolun orta kısmında FDS kas gövdesi derin ve yüzeysel tabakalara ayrılır. Yüzeysel tabakadan 3. ve 4. parmaklara giden FDS'ler köken alırken derin tabakadan ise 2. ve 5. parmaklara giden tendonlar köken alır. Her tendon kendi özel kas gövdesinden köken alır ve bu sayede genellikle 5. parmak hariç tüm parmaklar PIP eklemini bireysel

olarak hareket ettirebilir. 5. parmak FDS tendonu ise bazen 4. parmak FDS tendonu ile çapraz bağlantılı olabilir çünkü 5. parmak FDS bazı kişilerde hipoplastik veya aplazik görülebilir.^{53,}

54

Proksimal falanks düzeyinde FDS tendonu yassılaşıp 2'ye ayrılır ve FDP tendonunun her iki tarafından dorsale geçerek “Camper Kiazması”nı oluşturur (Şekil-4).^{53,}
⁵⁴ FDS tendonunun ikiye ayrıldığı nokta A2 makara (pulley) bölgesine denk gelir. FDS'nin FDP tendonu etrafından dolaşarak onu sarması FDP tendonunun stabilitesine katkı sağlar ve bu etki fleksör makara sisteminin etkisine benzetilebilir.⁵⁵ Ardından tekrardan birleşerek orta falanksın volar yüzeyine insersiyoyu yapar. FDS'nin kan akımı hem ulnar hem de radial arterlerden sağlanır. FDS kasının motor inervasyonu önkolun proksimalinde kas içerisine giren motor lifler veren median sinir tarafından sağlanır.



Şekil 4: Camper Kiazması⁵⁶

2.3.2. Fleksor Digitorum Profundus (FDP)

FDP tendonu Distal İnterfalangeal (DIP) eklemin fleksiyonundan sorumludur ve aynı zamanda MKP ve PIP eklemlerin fleksiyon hareketlerine de yardımcı olur. FDP kası ulnanın proksimal dörtte üçünün volar ve medial kısmından ve interosseos membranın volar tarafının medial yarısından origo alır. Önkolda FDS'nin derininde ve FPL'nin yanında yer alır. Ulnar sinir önkolda distale doğru gidilirken FDP kasına gevşek bir şekilde yapışık halde seyreder ve 4. ve 5. parmak kas-tendon ünitelerini inerve eder.^{53, 54} Median sinirin anterior interosseos dalı ise 2. ve 3. parmakların motor ünitelerinin inervasyonundan sorumludur.

FDS'den farklı olarak tüm FDP tendonları ortak bir kas gövdesinden köken alır. Farklı olarak sadece 2. parmağın FDP tendonu genellikle farklı bir kas gövdesinden köken alarak 2. parmağın daha geniş bir fleksiyon kapasitesine sahip olmasını sağlar.⁵³

2.3.3. *Fleksor Pollicis Longus (FPL)*

Fleksor Pollicis Longus (FPL) 1. parmağın interfalangeal (IP) eklemine fleksiyon hareketi yaptırır. Radius shaftının orta 1/3'ünün volar kısmından ve interosseöz membrandan origo alır. Proksimal el bileği kisi hizasında radial arter ve fleksör karpi radialis tendonlarının derininde seyreder ve tendon 1. parmağın distal falanksının bazisine insersiyoyapar. Median sinirin anterior interosseöz dalı önkolun proksimalinde FPL kasını inerve eder ve kas gövdesinin arteriyel beslenmesi baskın olarak radial arterden sağlanır.^{53, 54}

El bileği fleksiyonuna sorumlu 3 adet kas vardır. Bunlar Fleksör Karpi Ulnaris (FCU), Fleksör Karpi 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.⁵⁵

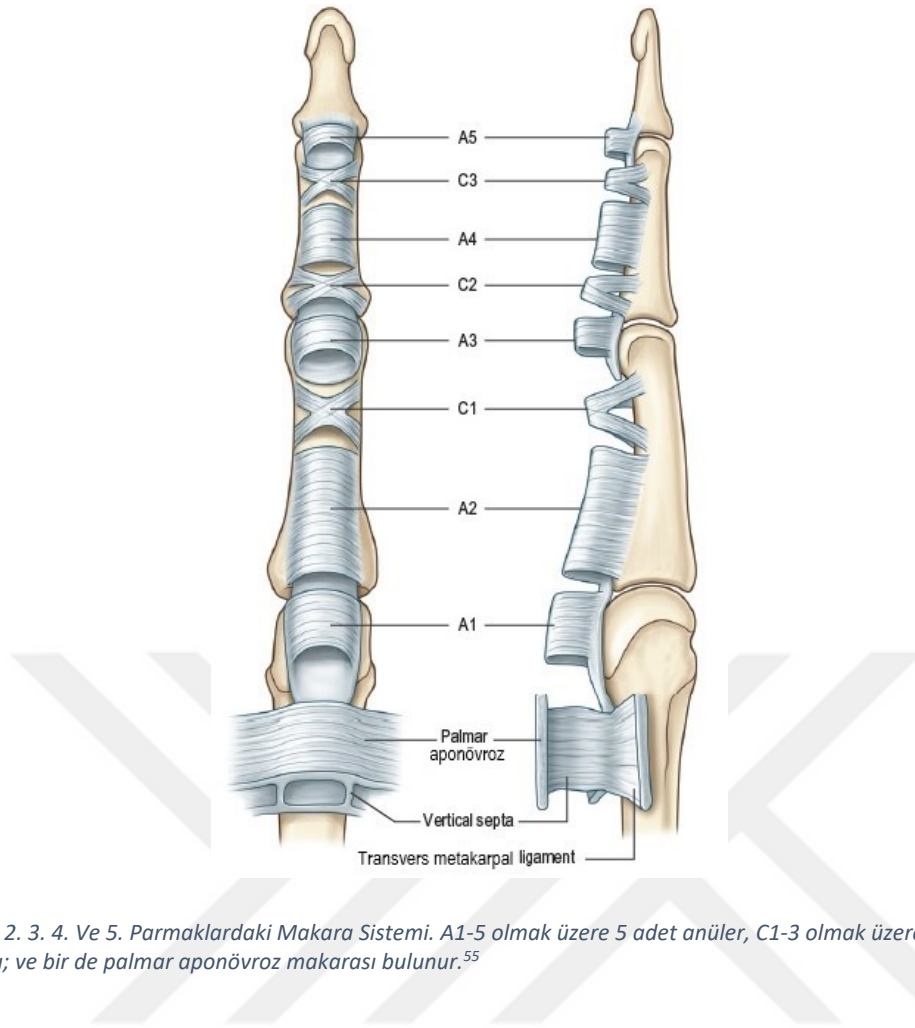
Dokuz adet parmak fleksör tendonunun tamamı en derinde dört adet FDP tendonu, bunun yüzeyelinde 2. ve 5. parmakların FDS tendonları olacak şekilde karpal tünel içerisine girer. 2. ve 3. Parmağın FDS tendonları ise bu tendonların daha yüzeyelinde; median sinirin hemen ulnarında olacak şekilde bulunur. FPL tendonu karpal tünel içerisinde en derinde ve radial tarafta, skafoid ve trapezium kemikleri komşuluğunda yer alır.^{53, 54} Karpal tünelden çıktıktan sonra tendonlar palmar bölgeye ulaşır. Burada yüzeyel palmar arteryel ark seviyesinde lumbrikal kaslar FDP tendonlarından köken alır.⁵⁵

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.⁵⁵

2.4.Fleksör Kılıf ve Makara (Pulley) Sistemi

Dijital fleksör kılıf sinovyal bir kılıf yapısı ve yer yer kalınlaşıp yoğunlaşan fibröz bantlardan (makaralar) oluşur. Bu kalınlaşmalara ve bunların oluşturduğu sisteme pulley sistemi veya fleksör makara sistemi denir. Sinovyal kılıf fibröz kılıfın içe bakan yüzünü döşeyen kesintisiz bir paratenon yapısıdır ve tendonlar için rahat kayma ortamı sağlarken aynı zamanda beslenmelerine de yardımcı olur.⁵⁵ Bu şekilde oluşan bu tünel yapısı sayesinde tendonlar falankslara yakın bir pozisyonda tutularak “*yay kirişi deformitesi*” (bowstring deformity) oluşmasını engellenir.^{54, 57} Parmak fleksör tendonlarının makara sistemi bu bölgeye özeldir; daha kalın, yoğun, sert ve fibröz yapıda olan anüler makaralar ve daha ince film benzeri yapılarıyla çapraz makaralar sistemin elemanlarını oluşturur.⁵⁵

A1’den A5’e kadar sırasıyla beş adet anüler makara, C1’den C3’e kadar olmak üzere üç adet çapraz makara ve bir adet palmar aponövroz makarası bulunur.^{55, 58, 59} A1, A3 ve A5 makaraları sırasıyla MKP, PIP ve DIP eklemlerin volar plakalarından köken alırken A2 ve A4 makaraları sırasıyla proksimal ve orta falanksların volar plakalarından köken alır. Böylece tek sayılı makaralar proksimalden distale doğru sırasıyla büyüyen sayılarla eklemler üzerinde yer alırken çift sayılı makaralar aynı şekilde falankslar üzerinde yerleşmiştir.^{53, 54} En geniş anüler makara A2’dir ve proksimal falanksın orta seviyesinde FDS tendonunun çatallaştığı bölgeyi de içinde barındırır. A4 makara ise orta falanksın orta üçte biri seviyesindedir (Şekil-5). Tüm makaralar arasında A2 ve A4 makaralar en büyükleridir ve fonksiyonel olarak en önemlileri olarak kabul edilir.⁶⁰ Ancak bazı çalışmalarda A2 makaranın distal %25’inden, A4 makaranın distal %75’inden, ve kombine olarak A2 ve A4 makaraların toplamda %25’inden daha az miktarda yapılan eksizyonlarının fleksiyon hareketinin biyomekanik etkinliğini ve parmak eklem hareket açıklığını anlamlı ölçüde etkilemediği de gösterilmiştir.^{54, 61-63} Anüler makaraların görevi tendonları hareket sırasında falankslara ve eklemlere en yakın pozisyonda tutarak fleksiyon hareketinin biyomekanik olarak mümkün olan en efektif şekilde yapılmasını sağlamaktır.⁵⁵



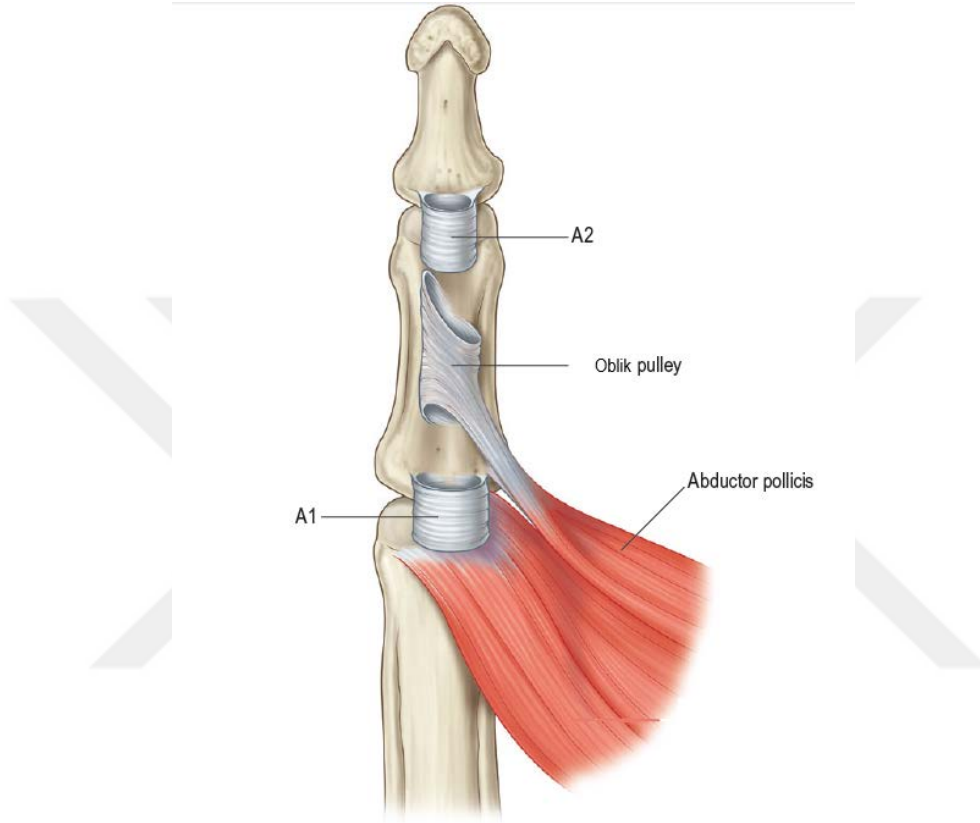
Şekil 5: 2. 3. 4. Ve 5. Parmaklardaki Makara Sistemi. A1-5 olmak üzere 5 adet anüler, C1-3 olmak üzere 3 adet çapraz makara; ve bir de palmar aponöroz makarası bulunur.⁵⁵

A2 makaranın uzunluğu ortalama bir erişkinde yaklaşık 1,5-1,7 cm iken A4 makaranın uzunluğu ise yaklaşık 0,5-0,7 cm'dir. Fleksör kılıf çapının en dar olduğu yerler proksimalden distale doğru A2 makaranın orta ve distal kesimleri ve A4 makara seviyelerindedir. A2 ve A4 makaralar makroskopik olarak kolayca görülebilirler çünkü diğer makaralara oranla çok daha yoğun, sağlam ve fibröz bir yapıya sahiptirler. A1 makara yaklaşık 1 cm'lik uzunluğuyla A2 makaranın hemen proksimalinde bulunur ve bazı insanlarda bu iki makara birleşerek uzun tek bir sağlam makara yapısı oluştururlar. A3 makara PIP eklemin volar tarafında yerleşmiştir ve ince yapısı nedeni ile fleksör kılıftan görsel olarak ayırt edilmesi çok zordur.⁵⁵

Çapraz makaralar PIP eklemin proksimal ve distalinde yerleşmiştir. C1 makara A2 ve A3 makaralar arasında, C2 makara A3 ve A4 makaralar arasında ve C3 makara ise DIP eklemin hemen proksimalinde A4 ve A5 makaralar arasında bulunur.⁵⁴ Çapraz makaralar A1, A3 ve A5 makaralarla birlikte fleksiyon hareketi ve ekstensiyon hareketindeki genişleme sırasında tendonların sıkışmadan komprese olmasında görev alırlar.^{54, 60}

Birinci parmakta 3 adet makara yapısından bahsedilebilir. Bunların iki tanesi A1 ve A2 olmak üzere anüler makaralar, diğeri de oblik makaradır. Birinci parmakta çapraz makara

bulunmaz. A1 ve oblik makaralar fonksiyonel olarak önemlidir. A1 makara 0,7-0,9 cm uzunluğundadır ve MKP eklem üzerindedir (Şekil-6). Oblik makara ise proksimal falanksın orta ve distal 2/3'lük kısmına denk gelen seviyede bulunur, 0,9-1,1 cm uzunluğundadır ve aynı zamanda abduktör pollicis kasının isersiyosunu da oluşturur. A2 makara distal falanks üzerinde, FPL tendonunun yapışma bölgesine yakın bir yerde bulunur; 0,8-1 cm uzunluğundadır ve A1 ve oblik makaralara oranla daha ince bir yapıya sahiptir.⁵⁵



Şekil 6: Birinci Parmaktaki makara sistemi. A1 ve A2 olmak üzere iki adet anüler ve bir adet oblik makara bulunur.⁵⁵

2.5.Tendonların Kan Dolaşımı ve Beslenmesi

Tendon kanlanması iki şekilde gerçekleşir. Bunlar: (1) Vasküler Perfüzyon ve (2) Sinovyal Difüzyon yoluyla. Ancak bu ikisinin tendonun intrinsik iyileşmesine katkı oranları tam olarak aydınlatılamamıştır.⁵⁵

2.5.1.Vasküler Beslenme

Literatürde ilk kez tendonların vasküleritesinden bahseden kişi 1916'da Mayer olmuştur. Bu çalışmasında tendonların beslenmesinin üç kaynaktan sağlandığını savunmuştur. Bunlar: (1) Müskülotendinöz Bileşke, (2) Entezis (Kemikle birleşme noktası) ve (3) mezenterik vinkular damarlar olarak sıralanabilir. Ayrıca Mayer fleksör tendonların volar

(sürtünme yüzeyi) tarafında avasküler bir bölge olduğunu savunmuştur.⁶⁴ Edwards ve Brockis birbirleri arasında sık çapraz anastomozlar olan tendon boyunca uzanan intertendinöz vasküler bir ağ olduğundan bahsetmişlerdir.^{18, 65} Peacock ise 1959'da tendonun kas ucundan veya kemiğe bağlandığı entezis bölgelerinden kaynaklanan dolaşımın sadece tendonun kısa bir kısmını beslediğini ve tendon dolaşımının bir mezotenon yapısı aracılığıyla segmental şekilde sağlandığını göstermiştir.⁶⁶ Diğer yazarlar da tendon iyileşmesinde mezotenon ve vinkula kaynaklı damarların önemini farketmişlerdir.⁶⁷⁻⁶⁹

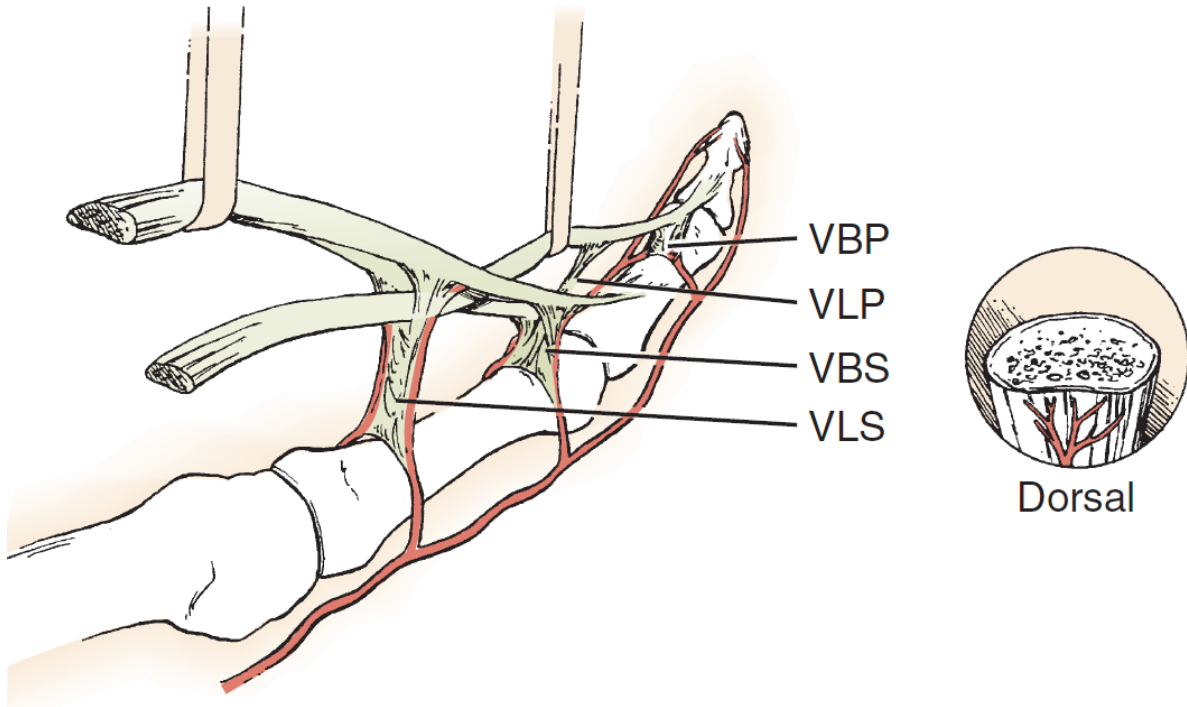
Tendon dolaşımı ile ilgili daha önceki tüm çalışmalar canlı olmayan dokularda gerçekleştirilirken ilk kez Schatzker ve Branemark 1969'da canlı doku üzerinde tendon dolaşımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yazarlar tendon dolaşımının intrasinovyal veya ekstrasinovyal olmasından bağımsız olarak segmental şekilde gerçekleştiğini ve herhangi bir segmentin paratenon veya mezotenonundan ayrılmasının bu segmentin canlılığını bozduğunu göstermiştir.⁷⁰ Ancak daha sonra bir başka çalışmada Schatzker ve Branemark'ın bulgularının aksine tavşan modelinde ekstrasinovyal bir tendonun total mobilizasyonun tendon dolaşımını az miktarda bozduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yazar intrasinovyal fleksör tendonların volar avasküler bölgesini tanımlamış bu bölgede sinovyal difüzyonun önemli olduğunu öne sürmüştür.⁷¹

FDS ve FDP tendonları vinkulaların tendonlara bağlanma noktaları arasında görece avasküler olan birer alan içerir. FDP tendonunda bu bölge PIP eklem üzerine denk gelirken FDS tendonunda MKP eklem seviyesindedir.⁷²

Tendonun paratenon aracılığı ile damarlanmasında, damarlar paratenonun muhtelif yerlerinden geçerler ve paratenonun fibrillerine uyarak kıvrıntılar yaparlar. Bu sayede tendon gerilmesinden etkilenmezler. Paratenondan giren damar grupları çoğu zaman bir arter iki venden oluşurlar. Peacock'a göre tendonların her iki ucundan damar ağları tendonun ancak 1/3 proksimal ve 1/3 distal parçasını beslemeye yeterlidir. Bu durumda 1/3 orta kısım diğer damarlardan beslenmelidir.⁷³ Tendonun kılıfı aracılığı ile damarlanmasında damarlar mezotenon aracılığı ile konveks kısımdan girerler.⁷⁴⁻⁷⁶ Mezotenonu olmayan kılıflarda ise damarlar ya kılıfın her iki ucundaki vinkulum triangulare'ler ile ya da vinkula filiformisler ile girerler. Parmakların fleksör tendonlarında mezotenon vinkula longa ve brevia ile yer değiştirmiştir. Vinkulumlar, tendonların dorsallerinde yer alırlar. İçlerinde bir arter, iki ven ve dört lenfatik damar vardır (Şekil-8).⁶⁵

Dijital arterlerin transvers kominikan dalları makaralar hizasında dijital kanala girerek vinkulum sistemini beslerler.^{68, 70, 77-79} Vinkulumlar, derin ve yüzeyel fleksör tendonların orta

ve proksimal falanks seviyesindeki paratenonlarından, mezotenon şeklinde farklılaşmış fibröz yapılardır. Tendonlara kan taşımak ve eklemlerin aşırı ekstensiyonlarını önlemek görevlerini üstlenmişlerdir. Birçok varyasyonları vardır ancak en sık görülen FDP ve FDS tendonlarının her ikisinde bir uzun, birde kısa olmak üzere ikişer tane vinkulumları olduğudur. Uzun olanlarına vinkula longum, kısa olanlarına da vinkula breve denir. FDS nin kısa vinkulası (VBS), proksimal falanksın distal ucundan PIP ekleminin proksimalinden başlayarak tendonun yapışma yerinin hemen proksimalinden tendona ulaşır. FDS'nin uzun vinkulası ise (VLS), proksimal falanksın proksimalinden distale doğru uzanarak FDS tendonuna ulaşır. FDP nin kısa vinkulası (VBP), orta falanksın distal yarısından geniş bir şekilde başlayarak FDP tendonunun distal yapışma yerinin hemen proksimalinden tendona girer. FDP nin uzun vinkulası (VLP) ise VBS in FDS tendonuna girdiği yerin üzerinden Camper kiazması hizasında çıkarak PIP eklem seviyesinde FDP tendonuna girer (Şekil-7).^{53, 55}

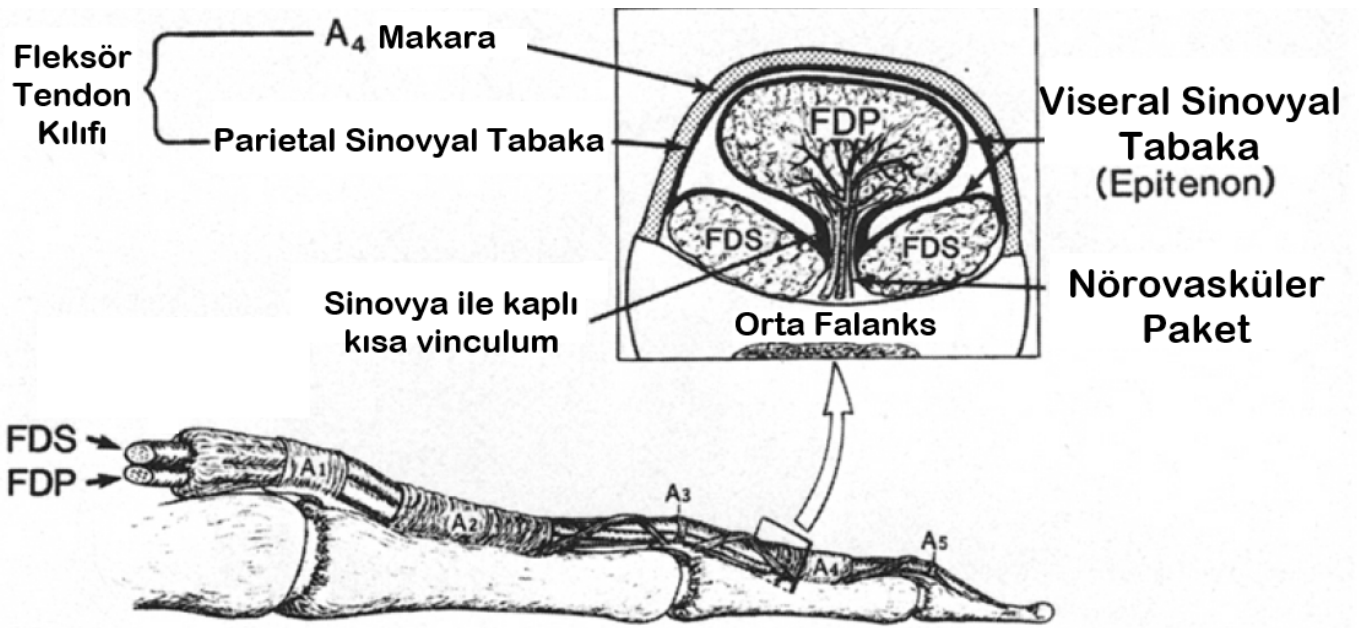


Şekil 7: Dijital arterlerin vinkulalara verdiği dallar ve vinkula sistemi ile birlikte tendonların vasküler beslenmesi⁵⁶

Birinci parmakta FPL tendonu da benzer şekilde biri MKP ve diğeri IP eklem seviyesinden giren 2 adet vinkula tarafından beslenir.⁸⁰ Olguların %50'sinde MKP eklem seviyesindeki uzun vinkula yoktur, bu durumda tendon daha az vaskülerdir ve kesildiğinde daha kolay ve daha fazla retrakte olur. Kısa vinkula ise güçlü bir yapıdır ve FPL tendonu IP eklem seviyesinden kesilse bile bir miktar fleksiyon hareketi oluşturmaya yeterlidir. Bu kısa vinkula olguların %90'ında mevcuttur.⁸¹ FPL tendonun kas-tendon bileşkesi ve dijital kılıf arasındaki bölgedeki arteriyel beslenmesi median sinirin arteri tarafından sağlanır.⁸²

Parmak fleksör tendonlarında damarlanma, aynı zamanda palmar bölgeden longitudinal olarak gelerek intertendinöz kanallardan ilerleyip, yine palmar bölgede proksimal sinovyal kıvrımdan giren damarlar aracılığı ile olur.⁷⁸

Ayrıca tendonların kemiğe yapışma noktalarından giren damarlar da mevcuttur. Tendonların vasküler kaynağı dorsaldendir ve derin ve yüzeysel her iki fleksör tendonun proksimal falanks seviyesi diğer bölgelere göre daha avaskülerdir. Derin fleksör tendonun ayrıca orta falanks üzerinde, diğer bölgelere nispeten avasküler olduğu kısa bir bölgesi vardır. Ayrıca tendonların makaraların altında kalan kısımları göreceli olarak daha az kanlanırlar.⁷¹



Şekil 8: Kısa vinculum içerisindeki vasküler yapılar ve intrasinovyal tendonlarda vasküler beslenme. Parietal sinovyal kılıf içerisindeki sinovyal sıvı difüzyonla sinovyal beslenmeyi sağlar⁸³

2.5.2.Sinovyal Beslenme

Tendon greftlerinin dolaşımdan ayrılmalarına rağmen beslenebilmeleri, tendonların dolaşım harici faktörlerle beslenebildiği fikrini uyandırmıştır. Arai tendonun avasküler bölümü olan volar bölümün beslenmesinin sinovyal sıvıdan olduğunu ileri sürmüştür.⁸⁴ Tendonların volar avasküler yüzlerinde kondroitin sülfat oranı yüksektir. Bu nedenle kollajen lifleri birbirinden dağınık ve ayrıdır. Bu özellik nedeniyle difüzyonel beslenme kapasitesi kalın liflerin hakim olduğu tendon bölümlerine göre daha iyidir.⁸⁵

Sinovyal sıvı difüzyonu; fleksör tendonlar için etkili bir besleyici ortam oluşturur (Şekil-8). Tendonu besleyici faktörler, imbibisyon olarak bilinen pompa mekanizması ile, her fleksiyon ve ekstensiyon hareketi esnasında küçük köprü kanalcıklar vasıtasıyla tendona

ulaşırlar. Travma sonucu ya da hasarlı tendonun tamirinden sonra hem vasküler yapılar hem de bu sıvı nütrisyonel sistem bozulmaktadır.⁸⁶ Sinovyal sıvı, fibröz fleksör kılıfın sinovyal yüzeyinden salgılanır. Sıvının karakteri eklem sıvısına benzemektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre tendon beslenmesinde esas önemli kaynak sinovyal sıvıdan olan difüzyondur.^{83, 87-90}

Tendona giren damarlar, kollajen demetler içine girmeden, bunları saran endotenon arasında ve demetlere paralel seyrederek. Tüm damarlar, aralarında transvers anastomozlar yaparlar. Bir başka deyişle terminal sonlanmaları yoktur.^{65, 90, 91}

2.6.Fleksör Zonlar

Önkol ve eldeki fleksör tendonlar bazı anatomik özelliklerine göre fleksör zonlara ayrılmıştır ve bu da tendon anatomisi ve onarımında ortak bir dil kullanılması açısından önemlidir.^{55, 92} 1990’larda fleksör tendon anatomisinin daha karışık olduğu dijital kılıf bölgeleri Moiemmen, Elliot⁹³ ve Tang⁹⁴ tarafından alt zonlara ayrılmışlardır.⁵⁵

Bu zonlara göre ayırma sistemi şu şekildedir (Şekil-9);

- Zon-1: FDS tendonunun insersiyosundan FDP tendonunun terminal insersiyosuna kadar olan bölge
- Zon-2: Dijital sinovyal kılıfın proksimal kısmından FDS tendonunun insersiyosuna kadar olan bölge
- Zon-3: Transvers karpal ligamentin distal seviyesinden dijital sinovyal kılıfın proksimal kısmına kadar olan bölge
- Zon-4: Transvers karpal ligament tarafından örtülen bölge (El bileği)
- Zon-5: Transvers karpal ligamentin proksimali (önkol)



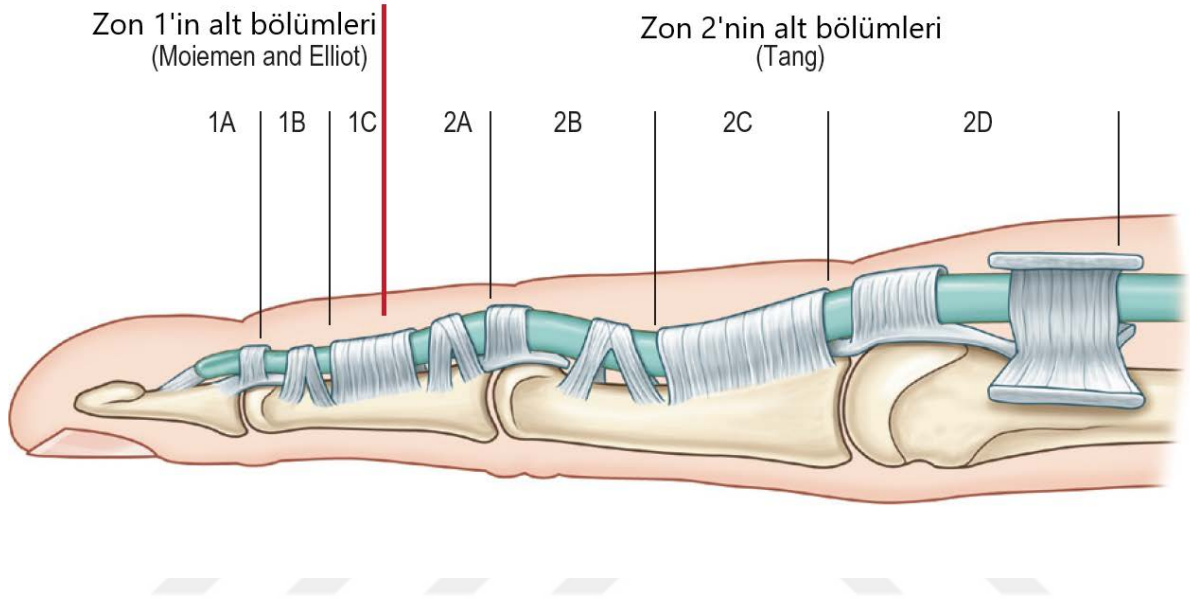
Şekil 9: Fleksör Zonlar⁹⁵

Bu sistem farklı anatomisi gereği birinci parmak için farklıdır (Şekil-9);

- Zon-1: IP eklemin distalinden kalan bölge
- Zon-2: IP eklemden A1 makaraya kadar olan bölge
- Zon-3: A1 makaranın proksimalindeki el bileğine kadar olan tenar bölge

Zon-1'in alt bölgelere ayrıldığı ve Moiemmen ve Elliot⁹³ tarafından tanımlanan sistem ise şu şekildedir (Şekil-10);

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



Şekil 10: Zon 1'in Moiemmen ve Elliot tarafından; Zon 2'nin Tang tarafından tanımlanan alt zonları⁵⁵

Tang⁹⁴ ise Zon-2'yi alt bölgelere ayırmıştır. Bu sistem ise şu şekildedir (Şekil-10);

- 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

2.7.Aşıl Tendonu Anatomisi

İnsanda aşıl tendonu vücudun en büyük ve en güçlü tendonudur. Yapısını büyük oranda gastroknemius ve soleus kasları oluştururken az miktarda plantaris kası tendonu da

katkı sağlar. Bu kaslar ve aşıll tendonu bacağın yüzeyel posterior kompartımanı içerisinde bulunurlar ve ayak bileğinin plantar fleksiyon hareketinden sorumludurlar.⁹⁶

Aşıll tendonu vücuttaki en yüksek gerilme kuvvetlerine maruz kalan yapıdır. Yürüme, koşma, zıplama ve sekme gibi hareketler sırasında vücut ağırlığının yaklaşık 10 katı büyüklüğünde gerilme kuvvetlerine maruz kalabilir.⁹⁷ Yokuş yukarı ve yokuş aşağı yapılan koşularda, özellikle biyomekanik bir hizalama sorunu olduğunda tendon ciddi stres kuvvetlerine maruz kalabilir.

Gastroknemius kasının medial ve lateral başları, plantaris kası ile birlikte diz ekleminin proksimaline kadar uzanır. Bu nedenle diz eklemi ekstensiyon, ayak bileği ise dorsifleksiyona getirildiğinde gastroknemius ve aşıll tendonları en gergin pozisyonlarındadırlar.⁹⁸ Gastroknemius kasının liflerinin genelini hızlı kasılan kas lifleri oluşturur. Ayak bileğine plantar fleksiyona getirme, vücudu öne doğru hareketlendirme ve diz eklemine fleksiyon hareketi yaptırmada aktif rol oynar. Soleus kasının ise diz ekleminin proksimalinde herhangi bir parçası bulunmadığından diz hareketlerinde herhangi bir etkisi bulunmaz. Soleus gastroknemiustan farklı olarak bir postür kasıdır ve yapısında genellikle yavaş kasılan tip-1 kas demetleri bulunur. Ayrıca soleus periferik bir vasküler pompa görevi de görür.⁹⁹

Aşıll tendonu bacak orta kısmında gastroknemius ve soleus kaslarının muskulotendinöz bileşkesinden başlar, kalkaneusa yapışma yerinde sonlanır ve yaklaşık 15 cm uzunluğundadır. Tendon gastroknemiusla birleşme yerinde yassı olarak başlar ve ortalarına doğru gidildikçe silindirik şeklini alır; insersiyosundan yaklaşık olarak 4 cm uzaklıkta tekrardan yassı hale gelir.⁹⁶ Bu distal kısımda tendon düzleşir, genişler ve insersiyon bölgesine gelindiğinde kartilaginöz bir yapıya dönüşerek kalkaneusun posteriorunun alt kısmına yapışır. Tendonun anterior yüzünde ise neredeyse insersiyoya kadar soleus kaynaklı kas lifleri bulunabilir.^{96, 100}

Aşıll tendonun lifleri distale doğru seyirleri sırasında kendi etraflarında bir dönme hareketi yaparlar. Fibular taraftaki lifler tendonun derininden geçen bir seyir izleyerek insersiyon bölgesinde tibial tarafa yapışırlar. Aşıll tendonu boyunca distale gidildikçe tendon kendi etrafında 90° lik bir dönme hareketi yapar ve gastroknemiustan kaynaklanan tendon lifleri genelde tendonun lateral ve posterior kısımlarında bulunur.⁹⁶ Bazı insanlarda bu dönme hareketi çift spiral şeklinde de olabilir. Bu rotasyonel hareket gastroknemius ve soleus tendonlarının füzyon bölgesinin proksimalinden itibaren başlar ve eğer füzyon derecesi az ise rotasyon hareketi daha fazla olur. Bu rotasyonel hareket tendon üzerinde bir gerginlik odağı alanı oluşturur ve bu alan genellikle insersiyonun 2 ila 5 cm proksimali arasındadır.^{101, 102} Bu

nedenle bu alan aynı zamanda vaskülarizasyonun da zayıf olduğu bir bölge olduğundan aşıl tendinopatisine ve rüptüre karşı en yatkın bölgelerindendir.¹⁰³

Tendonun yapışma bölgesindeki bazı kollajen lifleri Sharpey liflerini oluşturur. Endotenon periost ile devamlılık gösterir ve insersiyon bölgesinde periost bulunmaz^{104, 105} ancak bazı yüzeysel lifler kalkaneus yüzeyinde bulunan fibröz yapıya katılarak plantar bölgeye devamlılık gösterir ve plantar fasyanın yapısına katılır.^{106, 107} Aşıl tendonunu plantar fasyaya bağlayan lif sayısı yaş ile birlikte azalır.⁹⁶

Aşıl tendonu etrafında el fleksör tendonlarındakine benzer bir sinovyal kılıf bulunmasa da tendon etrafında mukopolisakkaridlerden zengin proksimalde kas fasyasıyla, distalde ise kalkaneus periostuyla devamlılık gösteren, gevşek bağ dokusundan oluşan, tendonun kayma hareketini kolaylaştıran ince bir membrandan oluşan belirgin bir paratenon yapısı bulunur.¹⁰⁸ En dış tabaka geniş hareket imkanı sağlayan elastik bir membran görevi gören gevşek yağlı bir ara bağ dokusu olarak görev yapar.¹⁰⁹ Tendon liflerini, fasiküllerini ve kas liflerini tamamiyle saran bağ dokusu az miktarda tip 3 kollajen içermekle birlikte büyük oranda tip 1 kollajenden oluşur. Bazal membranda ise az miktarda tip 4 kollajen ile birlikte tip 5 kollajen de bulunur. Damarlar ve sinirler paratenon boyunca bulunabilirler. Paratenon ve epitenon arasında genellikle hareketi kolaylaştıran ve sürtünme direncini azaltan bir sıvı bulunur.¹¹⁰

Aşıl tendonunun yapısı tipik olarak birbirine paralel şekilde uzanım gösteren çoğunlukla tip 1 kollajenden (tropokollajen) oluşan lifler şeklindedir. Bu kollajen birleşerek mikrofibrilleri, bunlar birleşerek fibrilleri ve fibriller ise birleşerek lifleri (fiberler) oluşturur. Bir grup lif bir araya toplanarak tendon fasiküllerini oluşturur. Fasiküller ise endotenon tarafından bir araya getirilip toplanarak tendon demetlerini (bundle) oluşturur. Elastinden zengin gevşek bağ dokusu yapısında olan endotenon etrafını sardığı tendon demetleri arasında bağımsız harekete bir miktar izin verecek şekilde oluşmuştur. Endotenon ayrıca vasküler yapılara, sinir demetlerine ve mikrolenfatik kanallara da ev sahipliği yapar.⁹⁶ Fasiküller, tendonun biyomekanik olarak test edilebilen en küçük ünitesi olarak kabul edilir.¹¹¹ İnce bir bağ dokusu kılıfı oluşturan epitenon ise endotenon ile birlikte tendonun iç yüzeyini döşer ve tendonun etrafını tamamen sarar.⁹⁶

Aşıl tendonunun kan dolaşımı değişken olabilmekle birlikte genellikle üç ayrı segmentten bahsedilebilir. Bunlar; muskulotendinöz bileşke, tendon gövdesi ve tendon kemik bileşkesi olarak sınıflandırılabilir.⁹⁶ Bu dolaşımı sağlayan damarlar kastaki perimisyumdan ve kemikteki periosteumdan kaynak alarak paratenon ve mesotenon boyunca tendonu besler. Bu nedenle aşıl tendonun beslenmesi bu kaynaklardan gelen ve tendon uzunluğu boyunca

paratenonla birlikte seyreden damarlar tarafından sağlanır. Tendonun vasküler bakımdan en fakir olduğu bölge ise insersiyosunun 2 ile 6 cm proksimalinde kalan bölgesidir.^{112, 113}

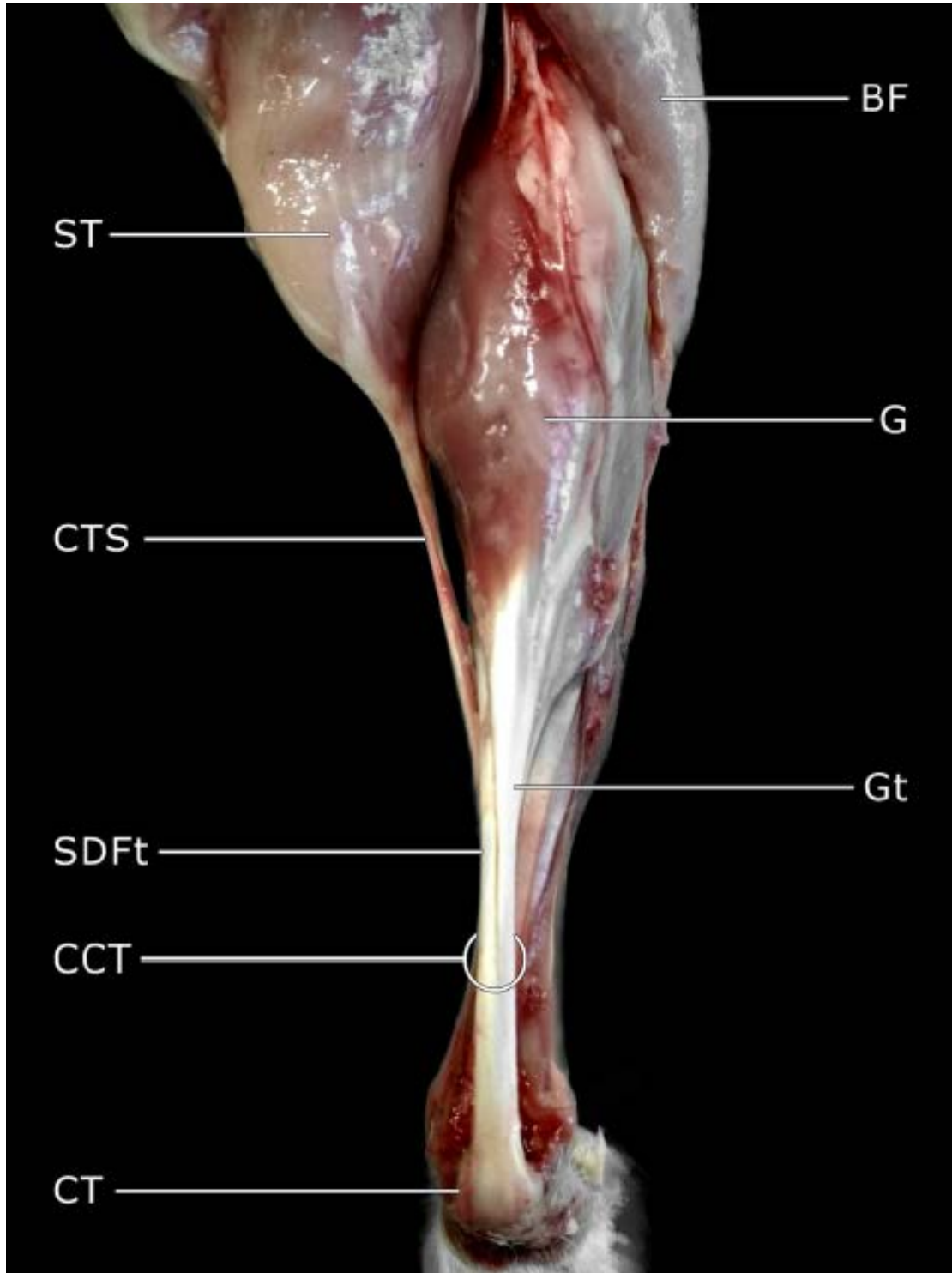
Muskulotendinöz bileşkenin kan dolaşımı çevredeki dokularda bulunan yüzeysel damarlar sayesinde sağlanır ancak kapillerler arasında herhangi bir anastomotik bağlantı bulunmaz.

Tendonun orta kısmının, yani tendon gövdesinin kan dolaşımı büyük oranda paratenon tarafından sağlanır. Paratenon içerisinde yer alan küçük kan damarları tendon aksı boyunca seyrederken transvers düzlemde birkaç küçük dala ayrılarak paratenon boyunca seyrine devam eder. Bu vasküler yapılar tendona endotenon boyunca girer; küçük arteriollere genellikle 2 adet küçük venül refakat eder.⁹⁶ Kapillerler bu arterioller ve venüller arasında oluşur ancak kollajen demetlerini penetre etmezler. Aşıl tendonunun vasküler beslenmesi genellikle damarların paratenonun delerek tendonun içine girdiği anterior yüzündeki damarlardan sağlanır.¹¹² Tendonun proksimalinin dolaşımı posterior tibial arterden (PTA) köken alan rekürren bir dal tarafından sağlanırken distalinin dolaşımı PTA ve peroneal arterlerin oluşturduğu *rete arteriosum calcaneare* tarafından sağlanır.⁹⁶

Aşıl tendonun distal üçte birlik kısmının dolaşımı tendon-kemik bileşkesini besleyen damarlar tarafından sağlanır. Tendon ve kemik arasındaki fibrokartilaginöz tabaka nedeni ile bu damarlar arasında direkt bir bağlantı bulunmazken indirekt anastomozlar bulunur. Aşıl tendonu da genellikle fazla kullanım nedeni ile bu bölgeden rüptüre olur. Bu durum rüptür patogenezinde tendon vaskülarizasyonun önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir.^{104, 113-115}

2.8.Tavşan Aşıl Tendonu (Şekil-11)

Tavşanda triceps surae kası gastroknemius ve soleus kasları tarafından oluşturulur. Bu kasın gövdesi medialde kısmen semitendinosus, lateralde ise kısmen biceps femoris kasları tarafından örtülür. Triceps surae kaslarının tendonları superfisiyal yüzeysel dijital fleksör kas ve semitendinöz kasın kalkaneal tendonları ile birleşerek ortak kalkaneal tendonu (Common calcaneal tendon, CCT) oluşturur. Gastroknemius kasının medial başı femurun medial kondilinden, daha güçlü olan lateral başı ise femurun lateral kondilinden ve tibianın proksimal ucundan origo alır. Orta hatta bulunan tendinöz bir doku bu gastroknemiusun lateral ve medial başlarını birleştirir.¹¹⁶



Şekil 11: Tavşan Ortak Kalkaneal (Aşil) Tendonunun posterior görünümü. Sağ taraf ekstremiteler lateral (BF: Biceps Femoris kası; ST: Semitendinosus kası; G: Gastrocnemius Kası; CTS: Semitendinosus kasının kalkaneal Tendonu; Gt: Gastrocnemius Tendonu; SDFt: Yüzeysel Dijital Fleksör Kasın Tendonu; CCT: Ortak Kalkaneal Tendon; CT: Tuber Kalkanei)¹¹⁶

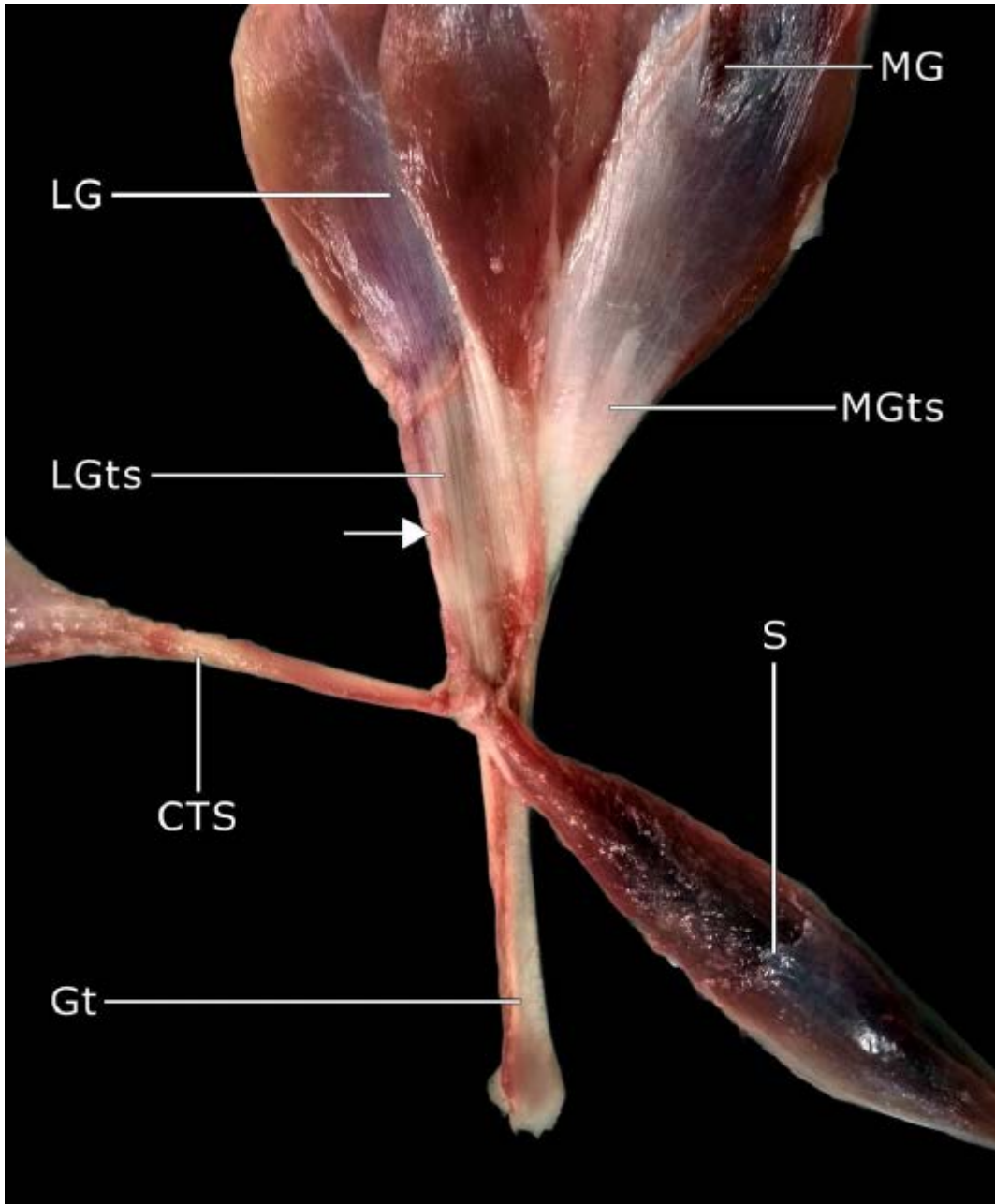
Soleus kası gastrocnemius kasının lateral başının altında fibula başından ve tibianın lateral kondilinden köken alır. Tavşanda bu kas ince iğsi şekilli bir kas olarak yer alır ve musküler lifleri gastrocnemiusun her iki başından daha distale kadar devam eder. Yapılan çalışmalarda soleus tendonunun liflerinin insandan farklı olarak kalkaneusa kadar ulaşarak insersiyi yapmadığı; ancak gastrocnemius kasının lateral başının tendinöz parçasının

ventraline yapışarak sonlandığı gösterilmiştir.¹¹⁶ Dolayısıyla tavşanda soleus kası tendonunun direkt olarak kalkaneal tendonunun yapısına katılmadığı söylenebilir (Şekil-12).

Tavşanda kalkaneal tendonun yapısına katılan diğer bir tendon ise yüzeysel dijital fleksör tendon (Superfisiyal Dijital Flexor Tendon, SDFT) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kas femurun lateral kondilinden origo alarak gastroknemiusun kas gövdesi ile örtülü olduğu halde bacağın medialine seyrederek ve distalde CCT yapısına medialden katılır. Bu kasın kas lifleri de soleus ile benzer şekilde gastroknemius kaslarının her ikisinden daha distale kadar uzanmaktadır.¹¹⁶

Semitendinosus kasının kalkaneal tendonu ise gastroknemiusun medial başının ve SDF kas tendonunun daha medialinden seyrederek. Kalkaneal tendonun gastroknemiuslar tarafından oluşturulduğu noktanın daha proksimalinde ince ama güçlü bir tendinöz yapı olarak takip edilebilen bu tendonun distalde soleus kasının durumuna benzer bir şekilde sonlandığı gösterilmiştir. Yapılan künt diseksiyonlarda soleus ve semitendinosus kaslarının tendonlarının yaklaşık olarak aynı seviyede gastroknemiustan gelen tendon liflerinde sonlandığı ve daha distalde ortak kalkaneal tendon yapısında ayırt edilemedikleri gösterilmiştir (Şekil-12).¹¹⁶

Sonuç olarak semitendinöz kasın kalkaneal tendonunun ve soleus kasının tendinöz parçasının distalde CCT yapısına katılmadıkları, ancak CCT ventraline yapışarak sonlandıkları söylenebilir. Bu durumda tavşanda ortak kalkaneal tendonun; gastroknemiusun lateral ve medial başları ve yüzeysel dijital fleksör tendon olmak üzere üç adet kasın tendonu tarafından oluşturulduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 12: Soleus ve Semitendinosus kaslarının tendonları tavşanda kalkaneal tendonun distalinin yapısına katılmaz, her iki kasın tendonu da daha proksimalde Gastrocnemius kasının tendonu üzerine yapışarak sonlanır. (MG: Gastrocnemiusun medial başı; LG: Gastrocnemiusun lateral başı; LGts: Gastrocnemiusun lateral başının tendonu; MGts: Gastrocnemiusun medial başının tendonu; CTS: Semitendinosus kasının kalkaneal tendonu; S: Soleus kası; Gt: Gastrocnemius Kası Tendonu)¹¹⁶

CCT'nin kasların distalindeki serbest parçasının üzerini kaplayan bir yumuşak doku kılıfı bulunur. Bu kılıf paratenonu oluşturur. Paratenon yapısının içinde tendonların uzunlamasına akslarının etrafında mediale rotate olarak distale uzandıkları görülebilir. Distalde gastrocnemius tendonlarının kalkaneal çıkıntıya yapıştıkları bölge SDFT'nin bu bölgede yassılaştıran yapısı tarafından örtülür. Bu tendon kalkaneal çıkıntı üzerinden medial ve lateral retinakulumlar tarafından stabilize edildiği halde distale doğru orta falankslara yapışarak sonlandığı bölgeye doğru devam eder, kalkaneusa yapışmaz.¹¹⁶

Tavşan ortak kalkaneal tendonun (CCT) etrafındaki paratenon; tendonu tabakalar halinde saran, gevşek bağ dokusundan oluşan bir yapı olarak karşımıza çıkar. Bu yapının lifleri tendonun uzunlamasına aksına paralel, oblik ve dik şekilde uzanan, dalgalı ve çoğu yerde düzensiz bir dağılım gösteren bir yapıda olup küçük nörovasküler yapılardan zengin bir kompozisyonu vardır¹¹⁶. Paratenon yapısının en dışında ise daha gevşek bir yapıda düzenlenmiş ve daha büyük damar ve sinir yapılarını içeren bir tabaka daha ayırt edilebilir. Paratenon benzeri gevşek bir ayırıcı bağ dokusu aynı zamanda CCT içindeki SDFT, medial ve lateral gastroknemius tendonlarının aralarında da bulunabilir. Bu bağ dokunun görevi tendonun yapısına katılan söz konusu üç yapıyı birbirinden ayırmakta, bağımsız hareket etmelerini kolaylaştırmaktadır.¹¹⁶ Tendonun iç yapısında bulunan bu kılıf tendon etrafındaki paratenonun yapısına katılır; aynı zamanda SDFT ve gastroknemius tendonlarının epitenon yapısı ile devamlılık göstererek proksimalde bu kasların epimisyumu ile de devamlılığını sürdürür. CCT'nin etrafını saran bu paratenon kılıfının histolojik yapısında baskın olan kollajen liflerinin yanı sıra elastik lifler de yer alır.¹¹⁶

Tavşan tendonunda insandakine çok benzer bir paratenon yapısının olması deney modellerinde kullanılmak için bu hayvanın ne kadar uygun olduğunu göstermektedir. El fleksör tendonlarının etraflarında görülen şekilde bir sinovyal kılıf olmayan bir bölgede tendon kayma hareketinin kolaylaştırması ve iyileşme sırasında tendon etrafındaki kılıfın önemli rolü göz önüne alındığında; bununla birlikte tavşan aşil tendonunun boyutlarının insan erişkin fleksör tendonlarının boyutlarına çok yakın olması tavşan aşil tendonu modelinin fleksör tendon iyileşmesi ve tendon onarım tekniklerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesini amaçlayan bizim ve bizimkine benzer çalışmalarda kullanılmaya ne kadar uygun olduğunu gösterir niteliktedir.

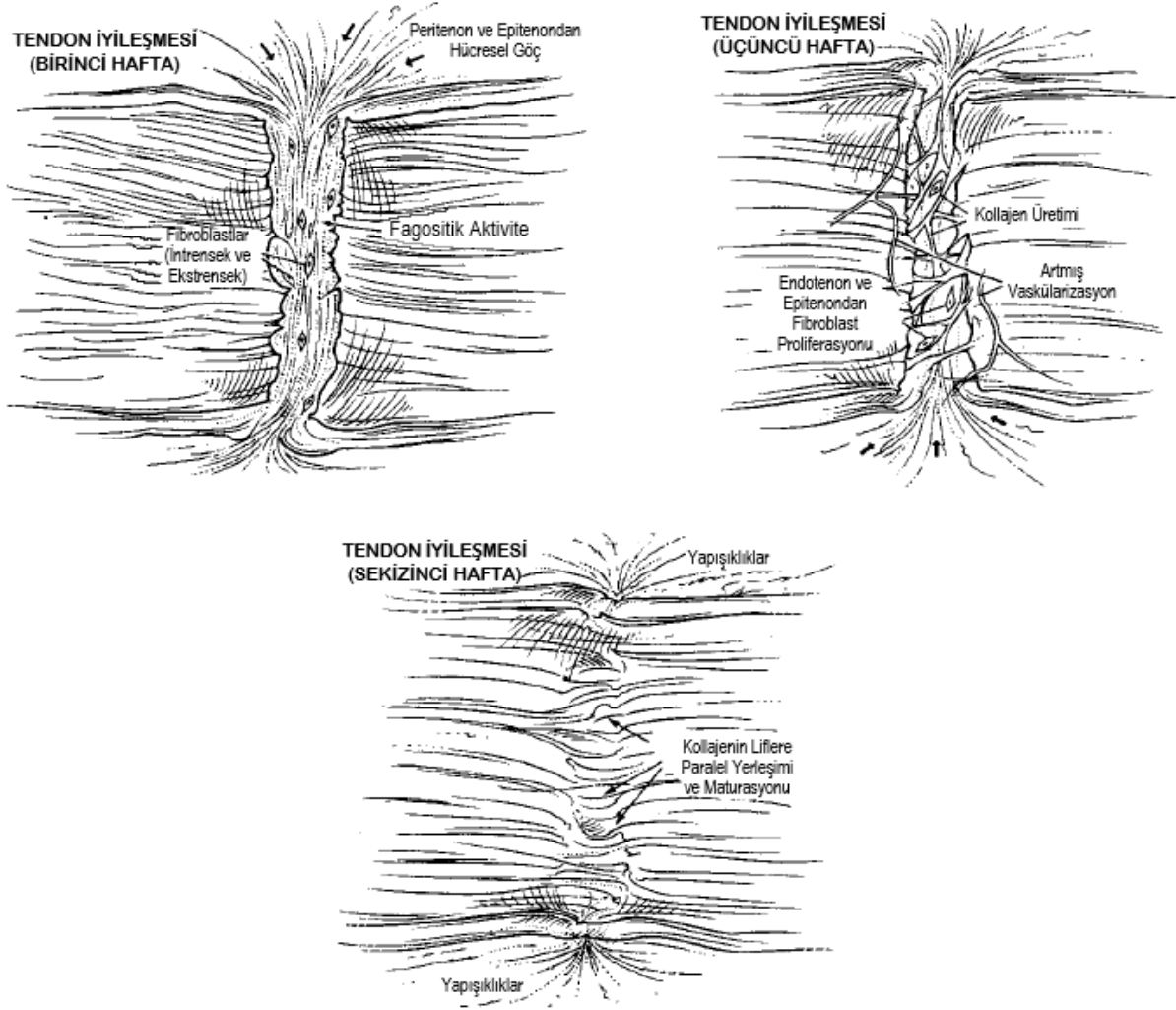
2.9.Tendon İyileşmesi

Anatomi bölümünde bahsedildiği üzere fleksör tendonlar hem vasküler hem de sinovyal kaynaklardan beslenir. Sinovyal kılıfın dışında bulunan tendonlar paratenon tarafından sağlanan segmental vasküler ağ tarafından beslenir ve vasküler kanlanma bu tendonların beslenmesinde önemli bir rol oynar. Ancak sinovyal kılıf içerisinde bulunan tendonlar büyük oranda bu segmental vasküler ağdan yoksundurlar. Sadece vinkulaların tendonlara bağlandığı kısımlarda tendon dorsalindeki sınırlı alanlar vasküler ağ tarafından beslenir.⁵⁵ Manske ve ark. tarafından yapılan bir seri deney intrasinovyal tendonların sinovyal sıvı tarafından beslendiğini ve vasküler kaynaklar tarafından gelen beslenmenin sinovyal kaynaklarla karşılaştırıldığında önemsiz seviyede olduğu ortaya çıkmıştır.¹¹⁷⁻¹²⁰ Her ne kadar

tendonların genel iyileşme basamaklarının normal yara iyileşmesi gibi ilk evrede inflamasyon, ikinci evrede kollajen sentezi, ve geç evrelerde maturasyon ve yeniden yapılanma (remodelling) şeklinde olduğu kabul edilse de; intrasinovyal fleksör tendonların iyileşme mekanizmaları yoğun bir şekilde tartışma konusu olmuştur.⁵⁵

1970'lerden önce fleksör tendonun intrinsik iyileşme kapasitesinin olmadığı kabul edilmekteydi.^{19, 20, 22} Ancak sonrasında Matthews, Lundborg, Manske ve diğerleri tarafından yapılan bir seri deneysel çalışma tendonun intrinsik iyileşme kapasitesinin anlaşılmasını sağlamıştır. Bu deneyler; intakt bir sinovyal kılıf içerisindeki tendonun iyileşmesinin gösterilmesi, kesilmiş bir fleksör tendonun diz eklemi içerisine konulduktan sonraki hücresel aktivitesinin incelenmesi ve *in vitro* modellerde tendon hücresel aktivitesinin ve ECM üretiminin gösterilmesi gibi yöntemlerle intrinsik aktivite ve iyileşme kapasitesini gözler önüne sermiştir.¹²¹ Bu çalışmalar intrasinovyal tendonların hücrelerinin iyileşmede oynadığı rolü ortaya koyarak tendonların kendilerinin intrinsik aktiviteleri sayesinde yapışıklıklar oluşturmada iyileşebildiğini kanıtlamıştır. Bu da erken postoperatif mobilizasyon fikrinin bilimsel temellerinin atılmasına önayak olmuştur.⁵⁵

Günümüzde intrasinovyal tendonların iyileşmesinde intrinsik ve ekstrinsik olmak üzere iki mekanizmanın da etkili olduğu düşüncesi kabul edilmektedir. İntrinsik iyileşme tenositlerin proliferasyonu ve diğer intrinsik hücrelerin ECM sentezi yapması ile oluşur. Tendonun dışından hücrelerin iyileşme bölgesine doğru büyümesi, proliferasyonu veya tohumlanması (*seeding*) olayına ise ekstrinsik iyileşme denir.⁵⁵ Tendonların intrinsik iyileşme kapasiteleri ekstrinsik iyileşme kapasitelerine göre daha zayıftır ve intrinsik iyileşme için gerekli ortam sağlanamazsa ekstrinsik iyileşme çok daha baskın hale gelir. İntrinsik iyileşme kapasitesinin tendonun kendisinin veya peritendinöz yapıların ileri derecede hasarlanması durumlarında olduğu gibi devre dışı kalması veya postoperatif uzun süreli tendon immobilizasyonu gibi baskılandığı durumlarda zaten baskın olmaya yatkın olan ekstrinsik mekanizma baskınlığını pekiştirir ve iyileşmeye bağlı yapışıklıkların görülmesi kaçınılmaz hale gelir. Tendon iyileşmesinin tamamen intrinsik mekanizmalarla olması sadece sınırlandırılmış deney ortamlarında oluşabilir, bunun haricinde ekstrinsik mekanizmayı tamamen devre dışı bırakmak imkansızdır.^{29, 30, 122} Klinik olarak intrasinovyal tendonların iyileşmesi sırasında hem intrinsik hem ekstrinsik mekanizmalar rol alır ve bunların hangisinin baskın veya hangisinin baskılanmış olacağı tendonun kendisinin ve çevreleyen dokuların durumuna bağlıdır.⁵⁵



Şekil 13: Akut ve Subakut Dönemde Tendon iyileşmesi¹²³

Tendon yaralanması sonrasındaki birinci haftada tüm doku iyileşmelerinde olduğu gibi inflamatuvar faz baskındır. Bu dönemde ilk olarak peritendinöz dokular, epitenon ve endotenon gibi ekstrinsik dokulardan köken alan inflamatuvar hücreler yaralanma bölgesine dışarıdan göç eder. Bu ekstrinsik hücreler yaralanma bölgesinde proliferasyon evresi baskındır; daha az miktarda intrinsik kökenli hücre de sürece dahil olarak bunlara katılır. İlk haftada bölgeye göç ederek burada proliferasyon evresi baskındır; epitenon ve endotenon kaynaklı belirgin bir fibroblastik proliferasyon yaralanma bölgesinde görülmeye başlanır. Bölgede görülmeye başlanan bu fibroblastlar kollajenin hem sentezi hem de rezorpsiyonunda görev alırlar. Yeni sentezlenen bu kollajen demetleri bu aşamada tendonun uzun aksına dik şekilde konumlanmıştır. Ayrıca üçüncü haftada yaralanma bölgesinde daha önceden avasküler olan alanlarda yeni damar oluşması ve bununla birlikte artmış vaskülarizasyonu görmek mümkündür (Şekil-13; sağ üst).¹²³ Sekizinci haftaya gelindiğinde maturasyon ve remodelling (olgunlaşma ve yeniden yapılanma) evresi hakim

evre haline gelir. Sentezlenen kollajenin maturasyonu ile birlikte tendon aksına paralel dizilmeye başladığı görülür. Yine bu aşamada tendon ve tendon kılıfının maruz kaldığı ilk travma ve immobilizasyonun etkisi ile tendon yapışıklıkları ortaya çıkabilir(Şekil-13; alt).¹²³

Ekstrinsik iyileşme yapışıklıklar oluşturarak veya yapışıklıklar oluşmadan sadece iyileşme bölgesine hücre tohumlama yöntemi ile iyileşme sürecine katılabilir; ancak oluşan yapışıklıklardan tamamen ekstrinsik hücreler veya mekanizmalar sorumlu olmayabilir. İyileşme sürecinde intrinsik mekanizmanın üyesi olan tenositlerde iyileşme bölgesinin dışına çıkıp kısa mesafeler katedebilir ve yapışıklıkların oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu bilgiler ışığında ekstrinsik iyileşme mekanizmalarını postoperatif yapışıklıklarla eş anlamlı olarak görmemek gerekir; ancak ekstrinsik iyileşmenin yapışıklıklara sebep olduğu durumlarda tendon fonksiyonunun olumsuz yönde etkilendiği akılda bulundurulmalıdır.⁵⁵

JB Tang tarafından sunulduğu gibi postoperatif yapışıklıklar derecelerine göre şu şekilde evrelendirilebilir:⁵⁵

- 1) Yapışıklık yoktur
- 2) İnce film benzeri yapışıklıklar (tendon ve etraf dokular arasında film benzeri, membranöz dokular gözle görülebilir)
- 3) Gevşek yapışıklıklar (Tendon mobilizasyonuna büyük oranda imkan veren gevşek yapışıklıklar)
- 4) Orta yoğunlukta yapışıklıklar (Tendon mobilizasyonuna az miktarda izin veren orta derecede güçlü yapışıklıklar)
- 5) Yoğun yapışıklıklar (Yoğun, neredeyse hareketsiz ve tendonun dorsalinin de dahil olduğu yapışıklıklar)

Birinci ve ikinci derece yapışıklıklar tendon hareketini pek etkilemezken 3. Derece yapışıklıklar hareketi az miktarda etkiler. Dördüncü ve beşinci derecede oluşan yapışıklıklar ise tendon hareketini ve parmak mobilizasyonunu ciddi derecede bozduğundan cerrahların önlemeye çalıştığı yapışıklıklar bunlardır. Oluşan yapışıklıkların yoğunluğu kaynaklandığı dokularla ilişkilidir. Örneğin kemik, periost ve anüler makaralardan kaynaklanan yapışıklıklar daha yoğun bir yapıdadır. Tendon hareketi sayesinde bu yapışıklıkların yoğunluğu belli bir dereceye kadar azaltılabilir, hatta bazı adezyon bantları yeterli hareketle açılabilir. Gelberman, Woo ve başka araştırmacılar tarafından kontrollü erken pasif mobilizasyonun intrinsik iyileşme mekanizmasını desteklediği ortaya konmuştur.^{124, 125} Bu nedenle cerrahi

işlem sırasında yapışıklıkların oluşmasının ve dolayısıyla tendon kayma hareketinin kısıtlanmasının önüne geçilmeye çalışılmalıdır.⁵⁵

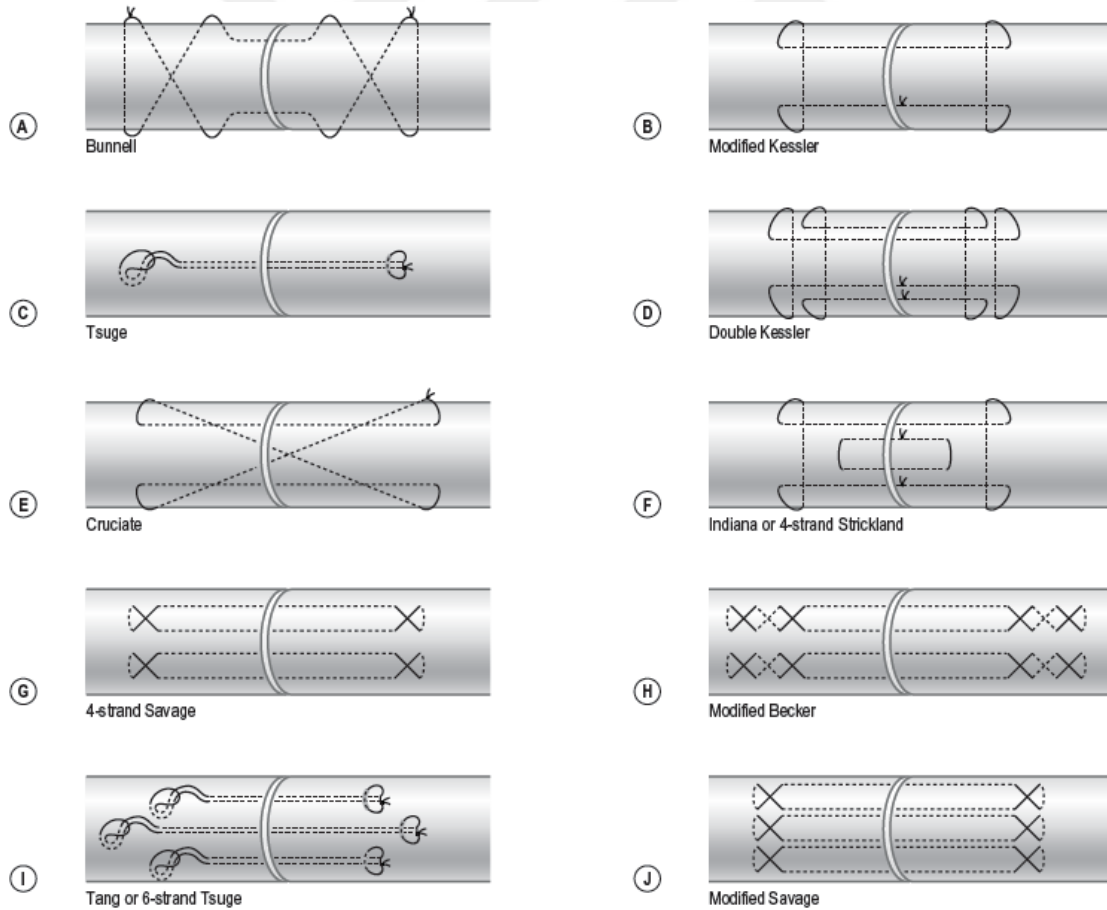
İyileşme sırasında ilk ortaya çıkan hadise yapışıklıkların henüz ortaya çıkmamasına rağmen revaskülarizasyondur. Onarım alanında lokal Vasküler Endotelyal Büyüme Faktörü (VEGF) mRNA'sı bu revaskülarizasyonun ana mediatörü olarak kabul edilir ve onarım sahasındaki hücreler tarafından ortama salınır.¹²⁶ İyileşme sırasında normalde avasküler olan bölgelerde yeni damar oluşumları görülmesinin yanında yüzey damarlarından tendonun içine doğru büyüme gösteren intratendinöz vasküler yapılar kaydedilmiştir.¹²⁷ İyileşme süreci sırasında hareketin ve tendon üzerindeki çekme kuvvetinin artması ise bu intratendinöz vasküler yapıların tendon aksına paralel olacak şekilde uzunlamasına organize olmasına sebep olmaktadır.¹²⁴ Bunun tersine immobilizasyonun iyileşen tendon yatağında belirgin bir vaskülarite azalmasına sebep olduğu da gösterilmiştir.¹²⁸ Bu bulgular ışığında vasküler perfüzyonun tendon iyileşmesinde önemli bir yeri olduğu söylenebilir. Çünkü görüldüğü kadarıyla iyileşme sırasında ortaya çıkan metabolik ihtiyaçlar intrasinovyal tendonlarda görülen sinovyal difüzyonun sağlayabileceğinden fazladır;¹²⁹ bu nedenle tendon iyileşmesinin ilk safhalarında VEGF aracılı vasküler proliferasyon görülmektedir.

Mobilize tendonların daha yüksek gerilme kuvveti gösterdiği, daha iyi tendon kayma hareketi olduğu, onarım hattındaki total DNA miktarının artmış olduğu ve daha az yapışıklık oluşturduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir.^{130, 131} Diğer çalışmalar ise hareketle birlikte onarım hattının maruz kaldığı gerilme kuvvetinin de yapışıklık oluşumunu azaltan bir etkisi olduğunu göstermiştir.¹³² Kontrollü hareket rejimlerinin iyileşen tendon üzerindeki pozitif etkilerinin yanında uygulanan fizik tedavinin frekans ve süresi de önemlidir.^{133, 134}

Tendon kayma hareketinin kaybedilmemesi ve yapışıklıkların önlenmesi amacı ile bazı ilaçlar, yapay veya biyolojik çeşitli bariyerler, kimyasal ve moleküler bazı yöntemler denenmiş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak günümüzde hiçbir bariyer yöntemi veya medikasyon bu amaçla kullanılmak için klinik rutine girememiştir. Yapışıklık ve kayma hareketi kısıtlılığının önlenmesinde klinikte kullanılan şimdiye kadarki en etkin yöntemler hassas ve travmatik olmayan özenli cerrahi onarım ve erken postoperatif mobilizasyon olarak karşımıza çıkmaktadır.⁵⁵

2.10.Tendon Onarım Teknikleri ve Biyomekanik Özellikleri

Bazı çalışmalarda yapılan *in vivo* ölçümlere göre günlük aktivite sırasında el hareketleriyle fleksör tendonlar üzerinde oluşan kuvvetler 1 ile 35 Newton (N) arasındadır.^{55, 135} Dolayısıyla bir fleksör tendon onarım tekniği postoperatif dönemde hareket sırasında en az 40 N'luk kuvvetlere dayanıklı olmalı ve onarım hatları arasında boşluk (*gap formation*) oluşmasına olanak vermeyecek kadar güçlü olmalıdır. Onarım tekniği hem doğrusal hem de açısıl veya eğimli kuvvetlere karşı dayanıklı olmalıdır. Laboratuvar ortamında yapılan testler 2 UB'li merkez dikişi ve devamlı epitendinöz onarımlı yöntemlerin yaklaşık olarak 20 ile 30 N arasındaki kuvvetlere dayanıklı olduğunu göstermiştir¹³⁶ ve bu da neden bazı 2 UB'li onarım teknikleri sonrasında erken mobilizasyon egzersizleri sırasında rüptürlerin ortaya çıktığını açıklamaktadır. Ayrıca yapılan testler 4 UB'li onarım tekniklerinin 40 N ve üzeri;^{137, 138} 6 UB'li onarım tekniklerinin ise yaklaşık 50-60 N'luk lineer kuvvetlere karşı dayanıklı olduklarını göstermiştir.^{139, 140} Dolayısı ile tendon onarımı sırasında kullanılan merkezi dikiş UB sayısının onarım gücü ile doğru orantılı olduğu söylenebilir.



Şekil 14: 2, 4 ve 6 UB'li tendon onarım teknikleri. **A.** Bunnell. **B.** 2 UB'li Modifiye Kessler. **C.** Tsuge. **D.** 4 UB'li modifiye Kessler. **E.** 2 UB'li çapraz onarım. **F.** Indiana veya 4 UB'li Strickland. **G.** 4 UB'li Savage. **H.** Modifiye Becker. **I.** Tang veya 6 UB'li Tsuge. **J.** Modifiye Savage.⁵⁵

Merkezi dikişteki UB sayısının yanı sıra tendon onarımı sonrası dayanıklılık kuvvetini etkileyen birçok faktörden bahsedilebilir.⁵⁵ Bunlar:

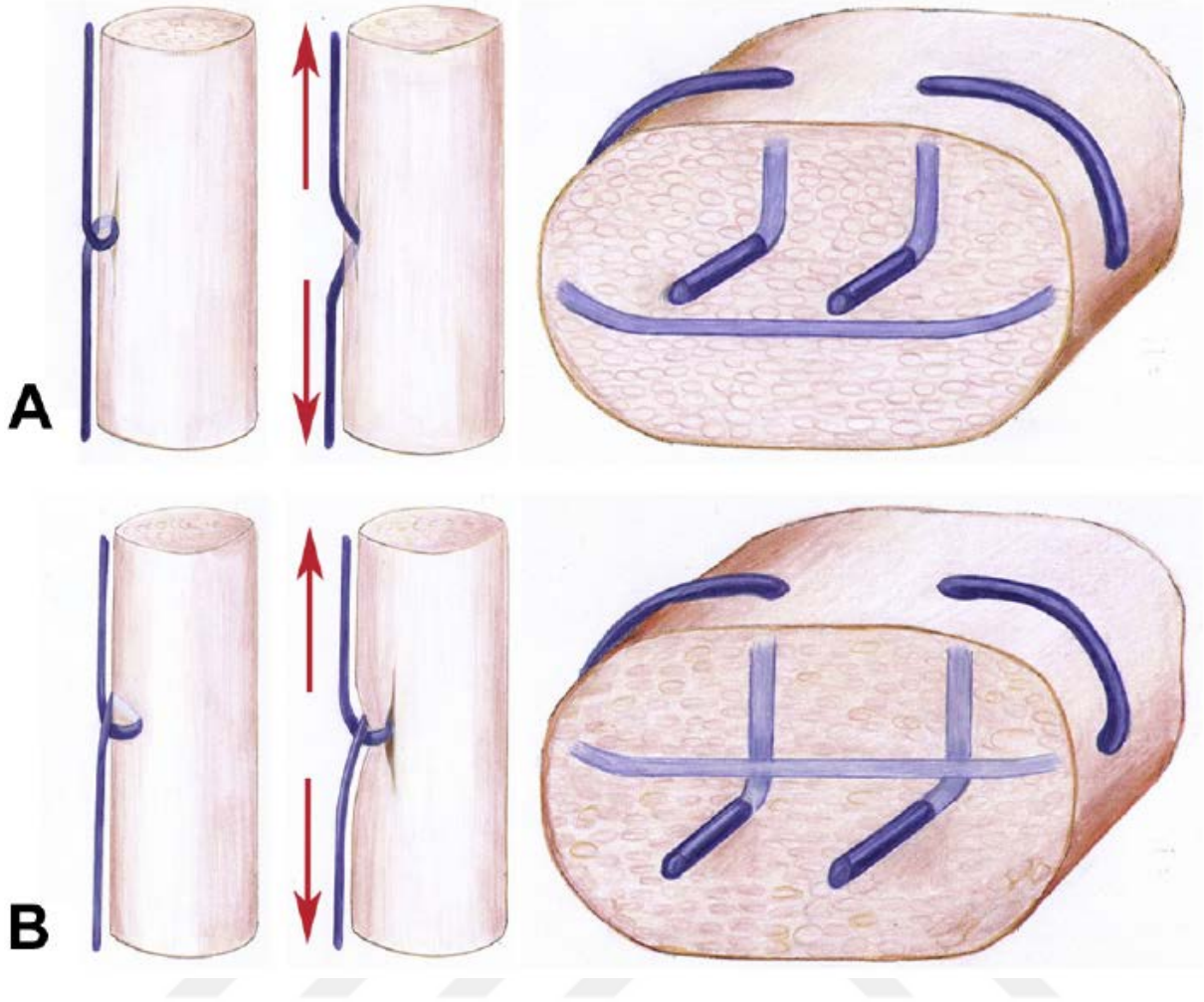
- 1) Onarım hattını kateden toplam Uzunlamasına Bileşen (UB) sayısı (Şekil-14): dayanıklılık yaklaşık olarak merkezi kor dikiş sayısı ile doğru orantılıdır.^{3, 4, 141}
- 2) Onarım Gerginliği: Bu genellikle boşluk oluşması (*gap formation*) ve katılık (*stiffness*) ile alakalıdır.¹⁴²
- 3) Merkezi dikişlerin tendonları tutma uzunluğu (*suture purchase*)^{136, 141, 143}
- 4) Tendon-sütür kavşağı ilişkisi (kavrayan-*grasping*- veya kilitli -*locking*-)¹⁴⁴⁻¹⁴⁶
- 5) Tendonda oluşturulan kilit düzeninin kavradığı toplam tendon genişliği: genellikle düşük çaplı bir kilit dikişin kurtulma direncini azaltır^{147, 148}.
- 6) Sütür kalınlığı^{149, 150}
- 7) Kullanılan sütür materyali ve bu materyalin özellikleri¹⁴⁵
- 8) Periferik (Epitendinöz) Dikişler^{151, 152}
- 9) Tendon onarım bölgesinin kayma sırasında maruz kaldığı kıvrım veya açılma: Tendon kayma güzergahındaki kıvrımlanma açısı arttıkça onarım gücü azalır.^{153, 154}
- 10) Tendonun dikişi tutma kapasitesi: Bu en önemli parametredir; tendonun yaralanmada maruz kaldığı travma nedeni ile oluşan tendon yapısının bozulması nedeni ile atılan dikişi tutma yeteneği azalır; atılan sütür tekniğinin diğer özellikleri önemsiz hale gelebilir.⁵⁵

En iyi cerrahi sonuçların elde edilmesi için yukarıda listelenen faktörlerin cerrah tarafından tamamıyla anlaşılması ve onarım tekniğinin bu maddelerle uyumlu olması gerekir. Örneğin merkezi dikişlerin tendon tutma uzunluğu ideal olarak 0,7 cm ile 1 cm arasında olmalıdır.^{136, 141, 142} Kilitli tekniklerin genel olarak tendonu tutma kapasiteleri itibariyle kavrayıcı tekniklere göre daha fazladır.¹⁴⁴ Kilitli yöntemde kavranan tendon parçası genişliği etkili olabilmesi açısından en azından 2 mm olmalıdır.¹⁴⁸ Barrie ve ark. ve Taras ve ark. tarafından yapılan çalışmalar ise kullanılan sütür materyallerinin kalınlığını artırarak onarım gücünü önemli derecede artırmışlardır.^{149, 155} Genellikle yetişkin popülasyonda parmak fleksörlerinin onarımında 3-0 veya 4-0 dikişler uygundur, FCR ve FCU gibi geniş ve ağır yükler taşıyan tendonlar hariç 2-0 dikişler bu bölge için fazla kalın olabilir.

JB Tang'e göre sağlam bir tendon onarımı sonrasında kesik tendon uçları arasında yeterli derecede bir gerginliğin sağlanması gerekmektedir (Şekil-15).¹⁵⁶ Onarım sonrası boşluk oluşumunun engellenmesi için onarımın belirli bir gerginlikte olması, merkezi dikişlerin yakaladığı kesik olan tendon uçlarının uzunluğu boyunca %10 ile %20 arasında kısılma olması veya onarım hattındaki kalınlığın normal tendon kalınlığından %20 ile %30

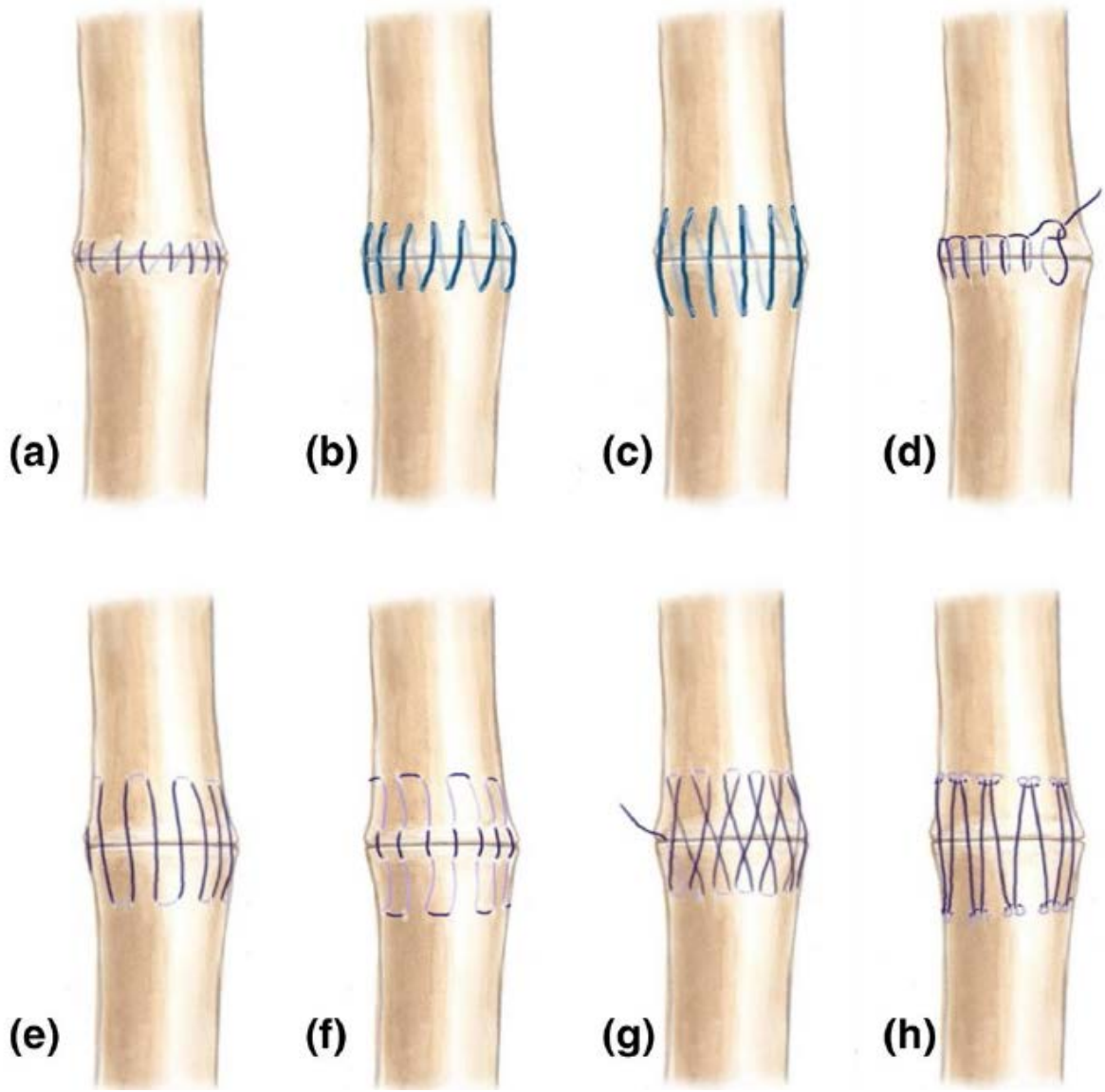
tendon hareketi rahatlatılabilir. Hatta JB Tang'e göre özellikle fleksör zon 2'deki bir tendon kesisi onarımının hayati öneme sahip 3 kriterinden biri de makara sistemi ve fleksör kılıfın uygun şekilde uzunlamasına kesilmesi ve tendon hareketinin rahatlatılmasıdır.¹⁵⁶ Dikkat edilmesi gereken nokta makaraların veya sinovyal kılıfın toplamda 1,5 ila 2 cm'den daha uzun bir kısmının kesilerek açılmamasıdır. Bu uzunluğun yeterli olmasının sebebi ise el parmaklarının proksimalinde tam fleksiyon hareketi sırasında bile fleksör tendonların distalden proksimale kayma hareketi 1,5 ila 2 cm'yi aşmamaktadır. Uygun ve titiz yapılmış bir sınırlı makara serbestlemesi; sağlam şekilde onarılmış, onarım hattında uygun gerginlik sağlanması nedeni ile kalınlaşmış, travma ve onarım nedeni ile ödemlenmiş bir tendon onarım hattının postoperatif erken mobilizasyon hareketleri sırasında hem kaymasını kolaylaştıracak hem de azalan direnç nedeni ile rüptür riskini azaltacaktır. Operasyon sırasında onarım bitirildikten sonra onarım hattının rahat hareket ettiği genel anestezi alan hastalarda pasif olarak lokal anestezi ile yapılan operasyonlarda ise aktif olarak fleksiyon hareketi yaptırılarak test edilmelidir. Yapılan test sırasında tam eklem hareket aralığı boyunca eğer kalınlaşmış olan onarım hattı fleksör kılıf veya makaralar nedeni ile bir direnç ile karşılaşıyorsa makara serbestleme işlemi direnç oluşmayana kadar; tek seferde çok az (yaklaşık 1 mm) olacak şekilde birkaç seferde genişletilebilir.¹⁵⁶

Tendon-dikiş kavşakları kavrayıcı ve kilitli olmak üzere iki çeşittir (Şekil-16). Özellikle kilitli teknikler çok çeşitlidir ve kavrayıcı dikişlere göre daha güçlü ve daha dayanıklı olarak kabul edilirler.⁵⁵ Çapraz ve dairesel kilitli sistemler yaklaşık olarak aynı güçte kabul edilirler.¹⁴¹ Tendon dışında bırakılan ve gömülü çapraz kilitli sistemler de taşıma güçleri açısından birbirlerine çok yakındırlar.¹⁶¹ Onarım tekniğinde kullanılan merkezi kor dikiş UB sayısının eşit olduğu tekniklerde kitleme çeşitleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır; ancak kavrayıcı yöntemlere göre kilitli yöntemlerin daha sağlam olduğu bir çok çalışmada kanıtlanmıştır.⁵⁵



Şekil 16: Farklı tendon-dikiş kavşaklama yöntemleri. A. Kavrayıcı. B. Kilitli (Penington yöntemi) ¹⁶²

Epitendinöz dikişler yaklaştırılan tendon uçlarını derleyip toplamanın yanında onarım gücüne de katkıda bulunur (Şekil-17). Özellikle derinden geçilen, kavrama uzunluğu fazla olan epitendinöz dikişler veya Silfverskiöld¹³⁷ yönteminde olduğu gibi kompleks periferik sütürler tendon onarım gücünü artırdığı gösterilmiştir. Çoğu klinikte pratik uygulamada basit periferik sütürler tercih edilmekte ve hatta çoklu UB içeren merkezi dikiş tekniklerini kullanan bazı yazarlar tarafından epitendinöz dikişlerin kullanımı tamamen terk edilmektedir.¹⁶³ Özellikle 6 veya daha fazla UB kullanılan tekniklerde epitendinöz dikişlerin onarım gücüne çok fazla biyomekanik katkı sağlamadığı savunulmakta, epitendinöz dikişlerin merkezi dikişlerin atılmasından önce tendon uçlarının karşılıklı getirilerek sabitlenmesine yardımcı olmaları açısından az sayıda atılmasının yeterli olduğu söylenmektedir.⁵⁵

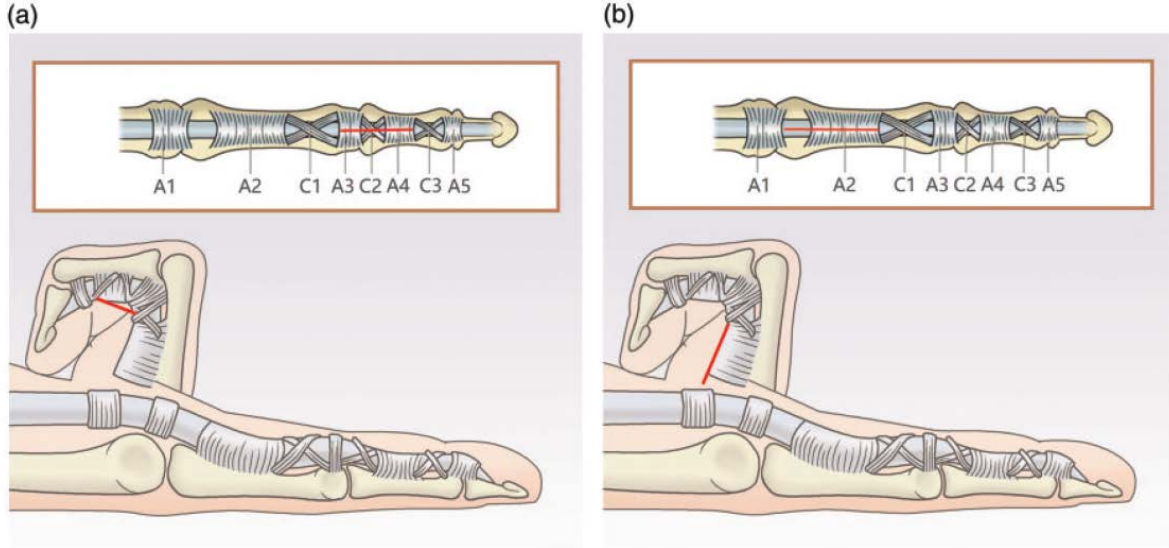


Şekil 17: Epitendinöz suture teknikleri. (a), (b) ve (c)- onarım hattından 1cm, 2cm ve 3cm uzaklığa yerleştirilmiş devamlı (over and over) suture tekniği. (d)-Onarım hattının 2 mm uzağına yerleştirilmiş basit kilitli suture tekniği. (e)- Onarım hattının 5 mm uzağına yerleştirilmiş Lembert matres suture tekniği. (f)- Onarım hattının 5 mm uzağına yerleştirilmiş halsted-matres suture tekniği. (g)- Onarım hattının 5 mm uzağına yerleştirilmiş Silfverskiöld çapraz dikiş tekniği. (h)- Onarım hattının 5 mm uzağına yerleştirilmiş Lin kilitli suture tekniği.²

Tendonların üzerindeki doğrusal olmayan eğimli kuvvetlerin de tendon onarım gücünü olumsuz yönde etkilediği gösterilmiştir. Hareketi sırasında açılı veya kıvrımlı bir güç vektörüne maruz kalan tendonlar onarım sonrasında uygulanan hareketlerde doğrusal olan hareketlere göre daha fazla çekme kuvveti ile karşı karşıya kalmaktadır.¹⁵³ Lineer kuvvet altındaki tendonlar sadece doğrusal düzlemde gerilime maruz kalırken parmakta olduğu gibi açılı düzlemde çekme kuvvetine maruz kalan tendonlar hem doğrusal hem de bükme kuvvetlerine maruz kalırlar. Dolayısıyla özellikle tam fleksiyon pozisyonuna yakın bir parmakta yapılan tendon onarımı rüptür açısından özellikle daha belirgin risk taşır.

Anüler makaralar tendonların doğru fonksiyon göstermesi açısından çok önemlidir. Makaralar tendonları kemiklere (falankslara) yakın pozisyonda tutarak tendonlar tarafından

uygulanan güç vektörünün doğru yöne iletilmesini sağlar. Makara sisteminin uzun ve kritik bir segmentteki kaybı tendonların fleksiyon hareketi sırasında anteriora (volare) doğru yer değiştirerek kemiklerden uzaklaşmasına ve “yay kirişi deformitesi” (Şekil-18) oluşmasına sebep olarak tendonun hareketinin distale etkin bir şekilde iletilememesine yol açar. Özellikle A2 ve A4 tendonlar fonksiyonel açıdan diğerlerine göre daha önemlidir ve diğer makaraların eksiklik veya yokluğunda bu iki makaranın bütünlüğü özenle korunmalıdır. Bununla birlikte A2 ve A4 haricindeki diğer makaraların fonksiyonel bütünlüğünü koruduğu durumlarda, bu iki önemli makara da dahil olmak üzere tek bir makaranın kaybı tolere edilebilir miktarda fonksiyonel eksikliğe sebep olmaktadır. Tang ve ark., ve Tomiano ve ark. tarafından yapılan çalışmalar A2 makaranın distal %25’inden, A4 makaranın distal %75’inden ve kombine olarak A2 ve A4 makaraların toplamda %25’inden daha az miktarda yapılan eksizyonlarının veya rahatlatma insizyonlarının fleksiyon hareketinin biyomekanik etkinliğini ve parmak eklem hareket açıklığını anlamlı ölçüde etkilemediği de gösterilmiştir.^{54, 61-63} Hatta *in vivo* ortamda A2 makaranın onarım sonrasında kesilmesi tendonun maruz kaldığı hareket direncini azaltarak tendon kayma hareketini kolaylaştırmakta, onarım rüptürü riskini azaltmaktadır.^{158, 164} Tek başına A3 makaranın kaybı da benzer şekilde çok önemli sonuçlara sebep olmamaktadır. Ancak A3 makara çevresindeki sinovyal kılıfın C1 ve C2 makaralarla birlikte hasarlanması halinde bu durum yay kirişi deformitesinin görülmesine sebep olacaktır.¹⁵⁹ Dolayısıyla tendon fonksiyonunun bozulmamasını sağlamak için sinovyal kılıfın bütünlüğünün büyük oranda bozulması önlenmelidir. Bununla birlikte sinovyal kılıf bütünlüğünün az miktarda (<2 cm uzunluğunda) bozulması ve hatta bu kayba A2 makaranın bile bir kısmının eşlik etmesi söz konusu olduğunda dahi çok önemli mekanik sorunlara yol açmamaktadır.⁵⁵



Şekil 18: Yay kirişi (Bowstring) Deformitesi. (a)- A3 ve A4 makaralar birlikte kesildiğinde. (b)- A2 makaranın tamamı kesildiğinde.¹⁶⁵

Tendonlar fizyolojik koşullarda etraflarını çevreleyen sinovyal membran içerisinde neredeyse dirençsiz bir ortamda kayma hareketlerini gerçekleştirirler. Tendon hareketine karşı oluşan direnç yaralanma ve onarım sonrasında ciddi oranda artar.

Tendon hareketine karşı oluşan direnç şu durumlarda artar.⁵⁵

- 1) Tendon kayma yüzeyindeki düzensizlikler
- 2) Yara iyileşmesine sekonder oluşan fizyopatolojik değişiklikler (örn: tendon ve subkutan dokuda oluşan ödem)
- 3) Ekspozite olan sütür materyallerinin oluşturduğu sürtünme kuvveti
- 4) Onarım hattında atılan dikişler veya bilinçli olarak uygulanan onarım gerginliği nedeni ile oluşan kabarıklık (bulkiness)
- 5) Yaralanmış veya operasyon sırasında açılmış olan kılıf veya makaraların sıkıca onarılacak tendon hareketini zorlaştırması
- 6) Tendonun geçiş sırasında makara veya kılıf kenarlarına takılması
- 7) Postoperatif dönemde oluşan ekstensör mekanizma gerginliği veya eklem katılığı nedeni ile fleksiyon işinin zorlaşması
- 8) Tendon kayma hareketini kısıtlayan yapışıklıklar

Travma veya cerrahiye takiben tendonlarda inflamasyon, iyileşme ve ödem süreçleri birbirini takip eder. Bu nedenle tendonun hacmi artar ve sinovyal kanal içerisinde sıkışmasına ve hareketle oluşan direncin artmasına sebep olur. Kanal dışındaki cilt altı dokuların ödemi de aynı şekilde direnci daha da artırarak tendon hareketini kısıtlar. Tendon hareketini kısıtlayan bu etkenler tendonların cerrahi onarım tekniği seçilirken ve postoperatif dönemde uygulanan

mobilizasyon programının zaman ve yoğunluğuna karar verilirken akılda bulundurulmalıdır. Bu işlemlerin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve postoperatif rüptürlerin önüne geçilmesi için güçlü bir onarım tekniği seçilmeli veya tendon hareketini rahatlatıcı dekompresyon manevralarından (cerrahi olarak sinovyal kılıf veya makaraların dekompresyonu) kaçınılmamalıdır.⁵⁵

Tendon onarımları açısından tendonların biyolojik iyileşme kapasiteleri çok önemli bir konudur. Birçok çalışma onarım sonrasında tendonların iyileşme kapasitelerini hayvan modelleri kullanarak incelemiştir. Bu çalışmaların çoğunda tendonların onarım sonrasındaki ilk birkaç hafta (genellikle ilk 4 hafta) boyunca gerilme güçlerinin yaklaşık aynı kaldığı veya az miktar azaldığı gösterilmiştir.¹⁶⁶⁻¹⁶⁸ Onarım sonrası erken dönemde görülen gerilme gücündeki bu azalmanın cerrahi travma sonrasında tendonda ortaya çıkan inflamatuvar süreçler nedeni ile oluşan tendon uçlarındaki yumuşama ve bununla beraber görülen dikişi tutma yeteneğindeki azalmaya bağlı olduğu düşünülmüştür. Tang ve ark. tarafından tavuk modeli üzerinden yapılan bir başka çalışmada ise tendon gerilme gücünün onarım sonrası 4. haftaya kadar yaklaşık olarak aynı kaldığı, 5. ve 6. haftalarda çok belirgin bir şekilde (yaklaşık olarak 3 kat) arttığı, sonrasında ise rüptüre kolaylıkla olanak vermeyecek şekilde artmaya devam ettiği gösterilmiştir.⁵⁵ İyileşmenin hızlandırılması ve 5. haftadan itibaren görülen gerilme gücündeki artmanın daha erken dönemlere çekilmesi ve konuya moleküler düzeyde bir çözüm bulunması ise günümüzdeki çalışmaların odak noktası haline gelmiştir.⁵⁵

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Deneyisel bir çalışma olarak kurguladığımız bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Multidisiplin Laboratuvarı Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'na yapılan başvuru ardından kurul tarafından 17/2020 protokol numarası ile 20/05/2020 tarihinde yapılan toplantıda etik olarak uygun bulunmuştur. Çalışma sırasında cerrahi işlemler Dokuz Eylül Üniversitesi Multidisiplin Laboratuvarı'nda yapılmış, biyomekanik ölçümler ise Dokuz Eylül Üniversitesi Biyomekanik Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deney Hayvanları

Bu çalışmada kullanılan hayvanlar Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir Bornova Veteriner Kontrol Enstitüsü'nden sağlanmış ve Deney Hayvanı Araştırmaları Etik Kurulu tarafından önerilen laboratuvar hayvanı kullanım kılavuzunda belirtilen şartlarda bakımı yapılmıştır. Çalışma için 21 adet, 8-12 aylık, 4000±500 gr, erkek cinsiyet Yeni Zelanda tavşanı kullanılmıştır.

Çalışmanın yapılacağı hayvan olarak Yeni Zelanda beyaz tavşanı seçilmiştir. Bunun nedenlerinden biri sentetik tendon modelleri veya hayvan-insan kadavrası üzerinde yapılacak olan bir çalışmanın iyileşme süreci sonrasındaki sonucunu tam olarak yansıtamayacak olmasıdır. Bir başka neden ise fare, sıçan, kobay, hamster veya gerbil gibi daha küçük hayvanların tendonlarının tavşanın aşil (kalkaneal) tendonuna göre makroskobik olarak çok daha küçük olmasıdır. Spesimenlerin bu denli küçük olması yapılacak olan onarım yöntemlerinin cerrahi tekniklerinin standardizasyonunu neredeyse imkansız hale getirmektedir. Ayrıca onarım yapılabilse bile değerlendirme sürecinde yapılması planlanan biyomekanik ölçümler küçük tendon spesimenleri için uygun değildir. Bu durum yapılan ölçümlerin sağlıklı olarak yapılamamasına ve elde edilen sonuçların istatistiksel anlamlılığını kaybetme riskine açık olmasına neden olacağından hayvan modeli bu şekilde oluşturulmuştur.

Tendon onarım teknikleri ve postoperatif iyileşmesi konusunda yapılan çalışmalarda sıkça tavşan modeli kullanılmıştır. Örneğin, 2012'de Oryan ve ark. tarafından yapılan ve tendon onarımının uzun ve kısa dönem sonuçlarının değerlendirildiği çalışma tavşan tendonlarının iyileşme değerlendirmesi için uygun olduğunu gösteren çalışmalardan biri olarak gösterilebilir.¹⁶⁹ Ayrıca Kasım 2015'te Severo ve ark. tarafından yayınlanan bir makalede tarafımızca planlanan çalışmaya benzer bir şekilde 3 ayrı tendon onarım tekniği uygulanmış ve biyomekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.¹⁷⁰ Wichelhaus ve ark. tarafından Haziran 2016'da yapılan bir başka çalışmada da yine çalışmamızda tasarladığımıza benzer şekilde 2 iplikli ve 4 iplikli onarım teknikleri karşılaştırılmış, ancak biyomekanik inceleme

yapılmamış farklı parametreler değerlendirilmiştir.¹⁷¹ Verilen örneklerde görülebileceği üzere tavşan kalkaneal tendonları boyut açısından insan fleksör tendonlarına daha yakın olmaları, biyomekanik testlere daha uygun olmaları ve cerrahi onarımın daha kolay olmaları sebebiyle çalışmamızda kullanılmaları tasarlanmıştır.

3.2.Deney Hayvanlarının Bakımı

Deney hayvanları uluslararası deney hayvanı bakım ve deney kılavuzlarına göre standart laboratuvar koşullarında (sıcaklık 23 ± 2 santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$), 12 saat gündüz/gece siklusu) kafeslerde barındırılmıştır. Deney hayvanları Dokuz Eylül Üniversitesi Deney Hayvanları Araştırma Laboratuvarı'nda standart koşullarda ad libitum beslenerek izlem yapılmıştır.

Denekler Bornova Veteriner Kontrol Enstitüsü'nden Dokuz Eylül Üniversitesi Deney Hayvanları Araştırma Laboratuvarı'na transport ilkelerine uygun olacak şekilde transport sırasında oluşan sarsıntı, hayvanların maruz kaldığı stres miktarı ve ortam sıcaklığı gibi parametreler gözetilerek taşınmıştır. Denekler; taşınma sırasında ikişerli, taşınma sonrasında ise tekli olacak şekilde kafeslere ayrılmış (Şekil-19) ve transport sonrasında 10 gün karantida tutulmuştur. Taşınma sırasında veya karantina döneminde denek kaybı yaşanmamıştır.

Denekler standart tavşan yemi ve suyun yanında haftanın iki günü taze marul ve havuç ile beslendi. Cerrahi sonrasında olası tendon rüptürlerinin engellenmesi amacı ile denekler henüz anestezi etkisi altında iken standart povidon iyot ve steril gazlı bez ile yapılan konvansiyonel ince pansuman üzerine ayak bileğini sabitlemek amacı ile sirküler alçı uygulandı. Bu nedenle postoperatif dönemde pansuman yenilenmesi gerekmedi, sekiz haftalık izlem süresince deneklerin hiçbirinde cerrahi enfeksiyon bulgusuna rastlanmadı.



Şekil 19: Deneklerin DEÜ Hayvan Deneyleri Laboratuvarındaki barınma koşulları. Tavşanlar transport ve 10 günlük karantina sürecinde 2'li gruplar halinde 1 m²'lik kafeslerde barındırılmıştır.

Sekiz haftalık çalışma süresince üç gruba ayrılan 21 tavşanın biri 1. kontrol grubundan, diğeri ise deney grubundan olmak üzere iki tavşandan biri operasyondan sonraki gün, diğeri ise cerrahi sonrası izlem döneminin üçüncü haftasında kaybedilmiştir. 2. kontrol grubundan bir denek ise izlem döneminin altıncı gününde sirküler alçısını kemirerek çıkartmış, durum fark edildiğinde yapılan aşıl tendonu muayenesinde ise tendonun rüptüre olmuş olma ihtimali nedeni ile çalışmadan çıkarılmıştır. Bu durumda çalışmaya üç grubun her birinde altı hayvan olacak şekilde devam edilerek çalışma toplam 18 hayvan ile tamamlanmıştır.

3.4. Anestezi Uygulaması

Bu çalışmada kullanılan deneklerin anestezisi, 35 mg/kg ketamin (Ketalar 500mg/10ml Flakon. Pfizer İlaçları Ltd. Şti.) ve 5 mg/kg ksilazin klorür (Basilazin 500mg/25ml Flakon Bavet İlaç A.Ş) intramüsküler olarak uygulanarak sağlanmıştır. İntramüsküler anestezi opere edilen uyluğun kontralateralindeki uyluk kaslarına uygulanmıştır.

3.5.Deney Grupları

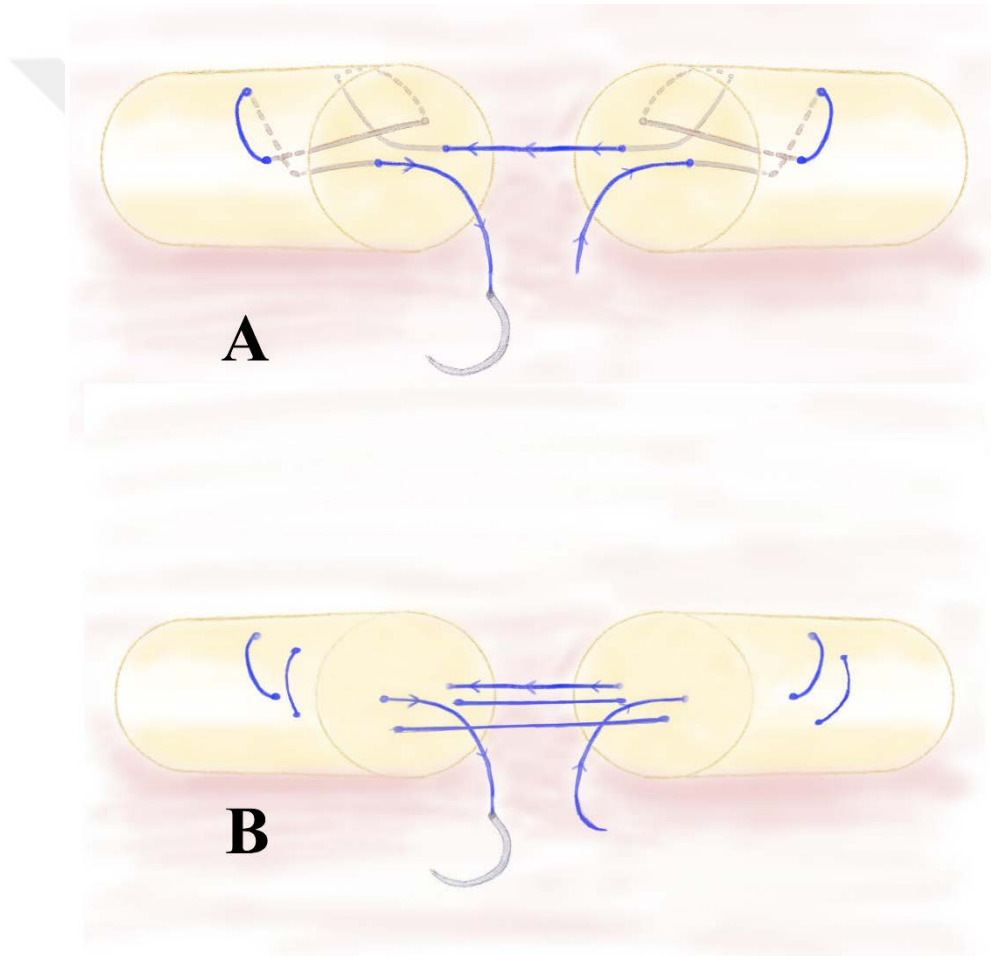
Proje kapsamında 3 farklı tendon onarım tekniği uygulanacak olan 7 hayvandan oluşan 3 ayrı grup oluşturulması planlanmıştır. Hayvan sayısı yapılacak olan ölçümlelerde istatistiksel anlamlılığın sağlanması amacı ile grup başına 7 tavşan olarak planlanmıştır (Tablo-1). İki gruptan birer hayvanın kaybedilmesi ve bir gruptan bir hayvanın çalışmadan çıkarılması ile grup başına 6 denek kalmıştır. Ancak biyomekanik çalışmalar için istatistiksel anlamlılık açısından hayvan sayısının 5'in üzerinde olması yeterli olacağından gruplara yeni hayvan eklenmesi veya çalışmanın baştan başlatılması gerekmemiştir.

Tablo 1: Deney Grupları. Gruplarda uygulanan cerrahi teknikler, denek sayıları, kullanılan sütür materyalleri, izlem süresi. MK: Modifiye Kessler; T: Tang; D: Deney

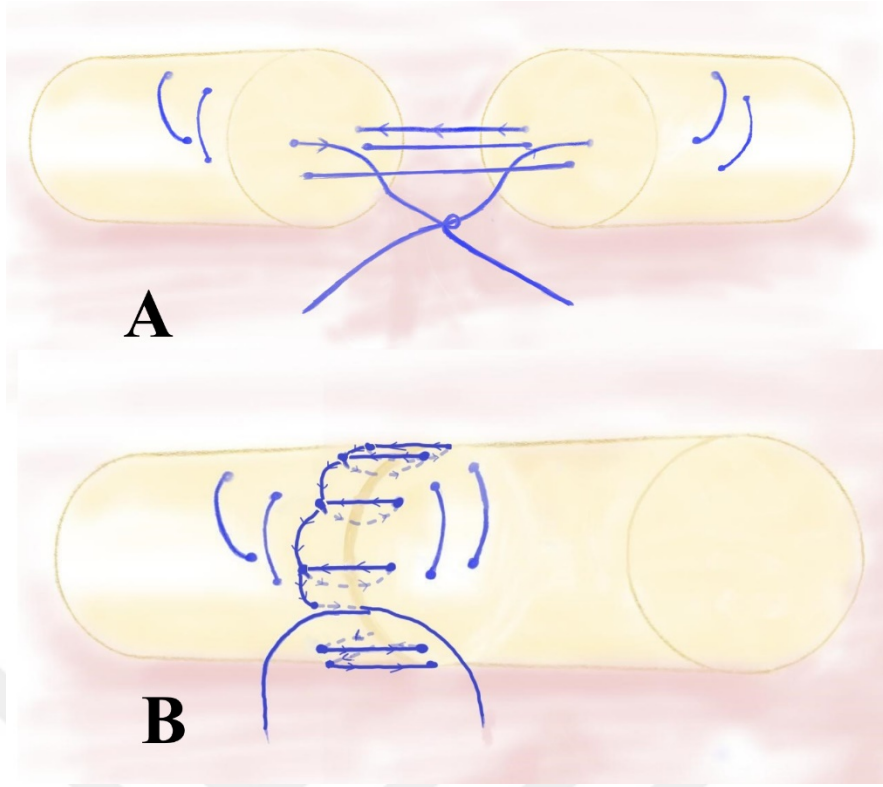
Gruplar	Onarım Tekniği	Denek Sayısı	Sütür Materyali	İzlem Süresi
Kontrol-1 (MK)	-4 merkezi dikişli Modifiye Kessler - Farklı ince sütürle devamlı kilitli epitendinöz onarım	7	- Merkezi dikiş:4/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen - Epitendinöz dikiş: 6/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen	56 gün
Kontrol-2 (T)	-6 merkezi dikişli Tang onarım tekniği -Epitendinöz Onarım uygulanmadı	7	- Merkezi dikiş:4/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen	56 gün
Deney (D)	-4 merkezi dikişli Modifiye Kessler -Merkezi sütür ile devamlı olarak atılan aynı kalınlıkta epitendinöz onarım	7	- Merkezi dikiş:4/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen Epitendinöz dikiş: Merkezi dikişle devamlılık gösteren 4/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen	56 gün
Toplam		21		56 gün

Çalışma 6 hayvandan oluşan 3 grup olmak üzere toplamda 18 denekle yürütülerek tamamlanmıştır. Bu grupların ikisinde daha önce tanımlanmış, yaygınca kabul gören ve sıkça kullanılmakta olan iki onarım tekniği uygulanmış ve bu gruplar kontrol grubu olarak tasarlanmıştır. Birinci kontrol grubunda halen ülkemizde ve dünyada belki de en sık kullanılan yöntemlerden biri olan 4 merkezi dikişli modifiye Kessler yöntemi uygulanmış ve iki numara küçük başka bir sütür kullanılarak kilitli devamlı epitendinöz onarım gerçekleştirilmiştir. Bu grup bundan sonra Modifiye Kessler (MK) grubu olarak adlandırılacaktır. Epitendinöz dikiş kullanılmayan ikinci kontrol grubunda ise Tang yöntemi uygulanmış ve diğer gruplarla aynı materyal ve kalınlıkta dikiş kullanılarak 6 merkezi dikişli

onarım uygulanmıştır. İkinci kontrol grubu bundan sonra Tang (T) grubu olarak adlandırılacaktır. Üçüncü grupta ise tarafımızca tanımlanmış olan teknik uygulanmış ve bu grup deney (D) grubu olarak adlandırılmıştır. Deney grubunda kullanılan teknikte kor dikişler 4 uzunlamasına bileşenli modifiye kessler dikiş tekniğine benzer olacak şekilde Penington kilit sistemi kullanılarak atılmış, merkezi dikiş düğümlenirken düğüm sürtünmeyi azaltmak amacı ile onarım hattı içerisinde bırakılmıştır (Şekil-20). Ardından sütür kesilmeyerek devamlı, kilitli epitendinöz dikiş olarak devam ettirilmiş, onarım hattının etrafı tamamen bu şekilde dönülmesinin ardından kor dikişi düğümü ile aynı noktada düğümlenerek onarım tamamlanmıştır (Şekil-21).

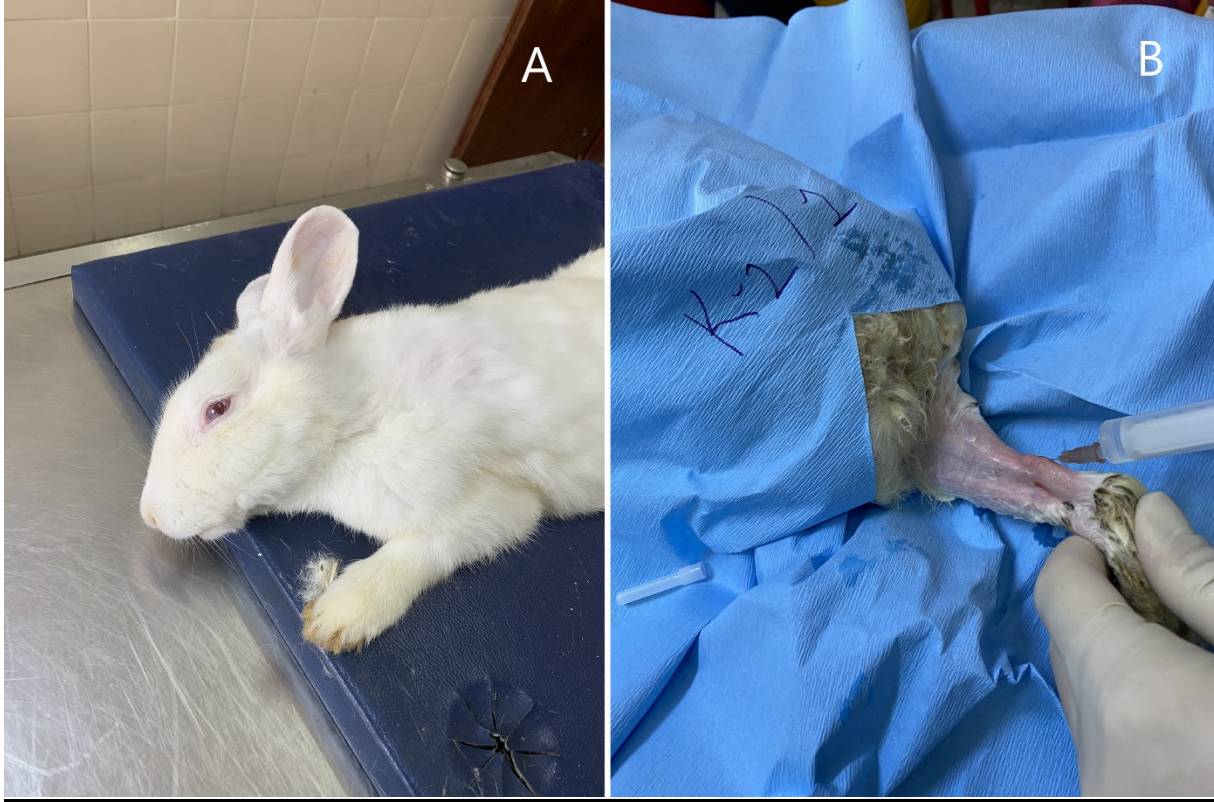


Şekil 20: Deney Grubunda kullanılan tekniğin şematik görünümü. **A.** Penington kilitli modifiye Kessler benzeri merkezi dikiş. **B.** 4 UB'li merkezi dikiş tamamlanması ardından görünüm.



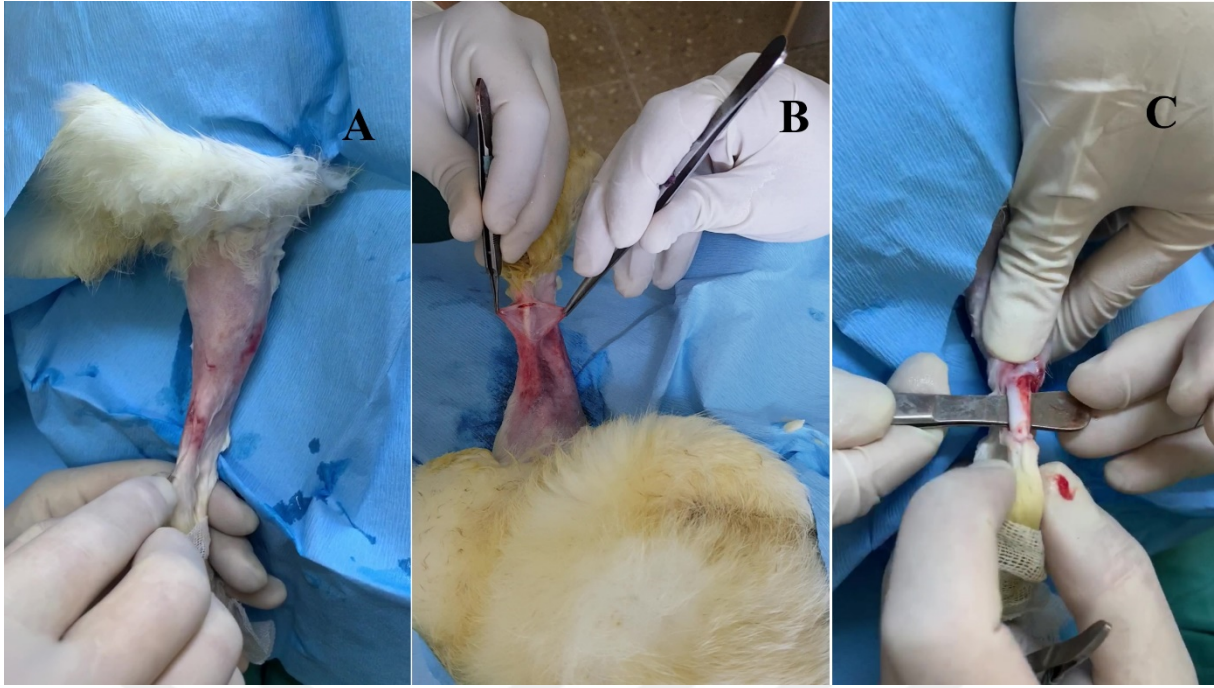
Şekil 21: Merkezi dikiş onarımının tamamlanması ardından düğüm onarım hattı içerisinde bırakılarak (A) suture kesilmeden epitendinöz onarıma geçilir. Periferik dikiş devamlı, kilitli epitendinöz dikiş olarak devam edilir ve onarım hattının etrafı tamamen bu şekilde dönülür (B).

3.6.Cerrahi Teknik ve Deney Modeli



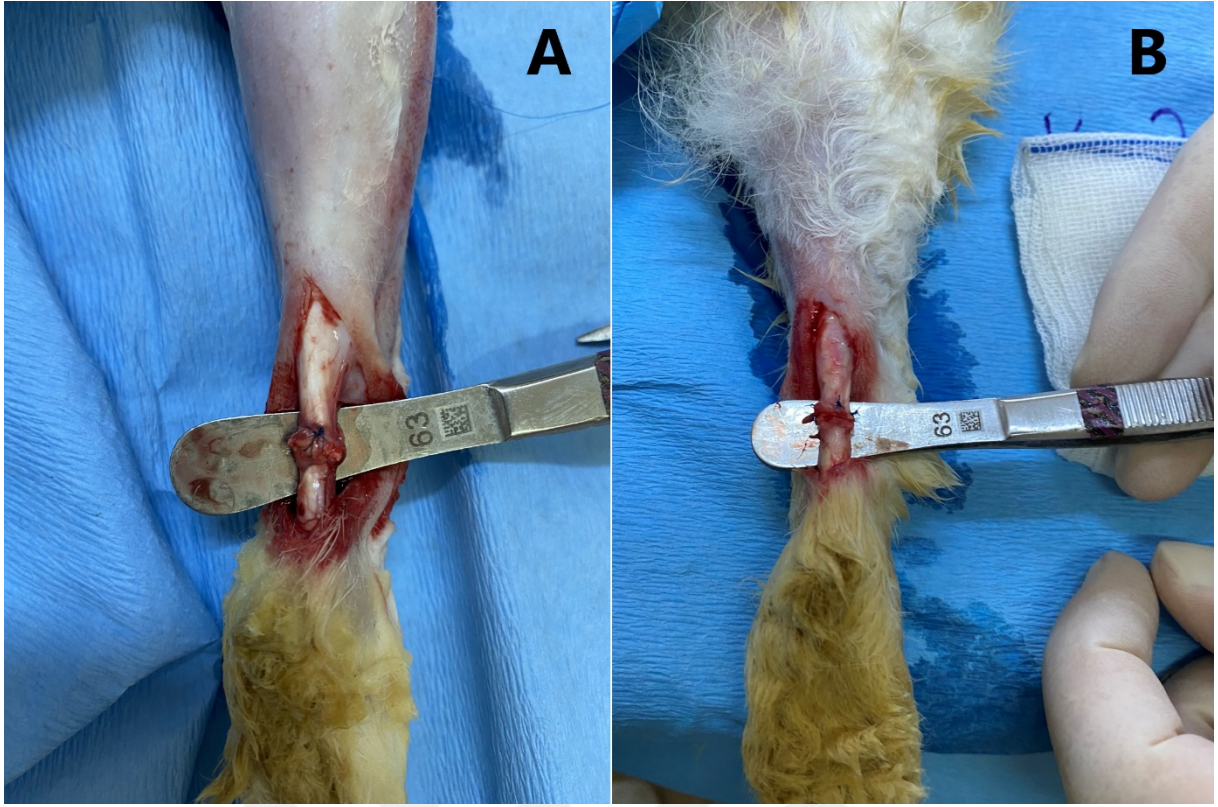
Şekil 22: A. Deneklerin cerrahi masaya alınması. B. Sağ arka bacak tüylerinden arındırılmış, steril sahaya alınmış ve insizyon öncesi lokal anestezi uygulanması yapılırken

Denekler kontralateral uyluk kaslarına yapılan anestezi uygulaması ardından cerrahi işlem masasına alındı (Şekil-22). Deneklerin sağ arka bacakları tüy dökücü sprey köpük uygulanarak atravmatik olarak tüylerinden arındırıldı. Denekler karın üstü pozisyona alınarak klorheksidinli saha temizliği ve örtümü ardından “lazy-s” cilt insizyonu yapılarak cilt flepleri eleve edildi (Şekil-23; A ve B). Dikkatli diseksiyon ile deneklerin aşıl tendonları ortaya kondu (Şekil-23; C). Aşıl tendonları proksimalde kas-tendon bileşkesinden, distalde kalkaneal insersiyosundan eşit mesafede olacak şekilde (kalkaneal insersiyonun yaklaşık 1,5-2 cm proksimali) kesilme sırasında herhangi bir kayma ve çift seviyeli kesilme durumunu önlemek üzere altına sert ve düzgün bir yüzey konularak tek bir hareketle paratenonları ile birlikte transvers olarak insize edildi. İnsizyon ardından paratenon proksimal ve distale doğru hafif sıyrılarak kesik tendon uçları ortaya kondu. İnsize edilen tendonlar ilgili gruplara atanmış tekniklere uygun olarak sütüre edilerek onarıldı.



Şekil 23: A. Lazy-S insizyon. B. Cilt fleplerinin eleve edilmesi. C. Tendonun izolasyonu ve insizyon için hazırlanması

Tüm gruplarda merkezi dikişler 4/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen suture materyali (Covidien Surgipro) ile atıldı. MK (Kontrol-1) grubunda epitendinöz dikişler aynı marka 6/0 USP yuvarlak uçlu polipropilen suture materyali ile devamlı ve kilitli olacak şekilde atıldı (Şekil-24; A). T (Kontrol-2) grubunda merkezi dikişler Tang yöntemine uygun olarak ikili UB içeren 3 ayrı grup olarak toplamda 6 merkezi dikiş içerecek şekilde yapıldı, epitendinöz dikiş uygulanmadı (Şekil-24; B). D (deney) grubunda ise MK grubundakine benzer şekilde merkezi dikişler atıldıktan sonra düğüm oturtulup gergin onarım sağlanması ardından suture kesilmeyerek düğüm onarım hattı içerisinde kalacak şekilde devamlı kilitli epitendinöz onarıma devam edildi. Bu şekilde D grubunda tüm onarım tek bir suture kullanılarak, epitendinöz suture de merkezi suture ile aynı kalınlıkta olacak şekilde tamamlandı (Şekil-25).



Şekil 24: **A.** Kontrol-1 (MK) grubu tendon onarımı sonrası posteriordan görünüm (Onarım hattı dışında epitendinöz sütün düğümü görülmekte). **B.** Kontrol-2 (T) grubu tendon onarımı sonrası posteriordan görünüm (Üçlü çift UB'li onarıma uygun şekilde tendon dışında 3 adet düğüm izlenmekte)

Deney grubunda kullanılan teknikte onarım sırasında atılan tüm düğümler onarım hattı etrafında yabancı cisim reaksiyonu oluşumunu uyarmamak veya hareket sürtünme direncini artırmamak adına klinik pratikte tarafımızca tendon onarım hattı içerisinde bırakılmaktadır. Aynı şekilde çalışma sırasında da deney grubunda tendon aynı şekilde onarılmış ve onarım hattı dışında düğüm bırakılmamıştır. Kontrol gruplarında ise Kontrol-1 (MK) grubunda epitendinöz sütün düğümleri, Kontrol-2 (T) grubunda ise onarım tekniğinin doğası gereği üç düğüm de onarım hattının dışında bırakıldı.



Şekil 25: Deney Grubu (D) onarım sonrası görünüm. Az sayıda atılan düğümler onarım hattı içerisine gömüldüğünden onarım hattı dışında minimal suture ve düğüm ekspozisyonu. Daha kalın suturele atılan epitendinöz suturelerin kalın olduğundan onarım gücünü artırdığı ancak onarımı kabalaştırmadığı görülebilir.

Deney grubunda kullanılan, aynı zamanda kliniğimiz pratiğinde uygulanmakta olan bu onarım tekniği adım adım uygulanması aşağıda sıralanmıştır:

(1) 4/0 yuvarlak polipropilen ile kesik uçtan girilip tendon üzerinden çıkılır (Şekil-26; A).

(2) Ardından tendonun ipsilateral tarafından yandan iğne tekrar geçirilerek tendon enini kateder ve kontralateralden çıkılır (Şekil-26; B).

(3) İğnenin çıkıldığı taraftan tendon üzerinden girilip kesik olan uçtan çıkılır ve bu sayede Penington kilitli kavrama tek taraflı olarak sağlanmış olur (Şekil-26; C).

(4) Aynı işlemler tendonun diğer kesik ucu için tamamlanır. Bu şekilde 2 UB'li Pennington kilit mekanizmalı modifiye Kessler ile aynı şekilde onarıma başlanmış olur (Şekil-27; A).

(5) Onarıma başlanıldığı şekilde ilk kesik uçtan iğne geçirilerek tendonun dorsalinden çıkartılır (Şekil-27; B).

(6) Geniş bir Pennington kilitli kavrama elde edilecek şekilde tendonun yan tarafından iğne geçirilerek ilk geçişten farklı bir bölgeden tendon iğne ile enine katedilir (Şekil-27; C).

(7) İğnenin çıkıldığı tarafta tendon dorsalinden iğne tekrar tendona paralel düzlemde girilerek kesik uçtan çıkılır. Bu şekilde tek tarafta 2 ayrı Pennington kilit sistemi oluşturulmuş olur (Şekil-28; A).

(8) Aynı işlemler karşı kesik ucta da tamamlanarak tendon uçları karşılıklı getirilir (Şekil-28; B).

(9) Uygun gerginlik oluşturularak en az üç düğümlü bağlama yapılarak merkezi dikiş tamamlanır (Şekil-28; C).

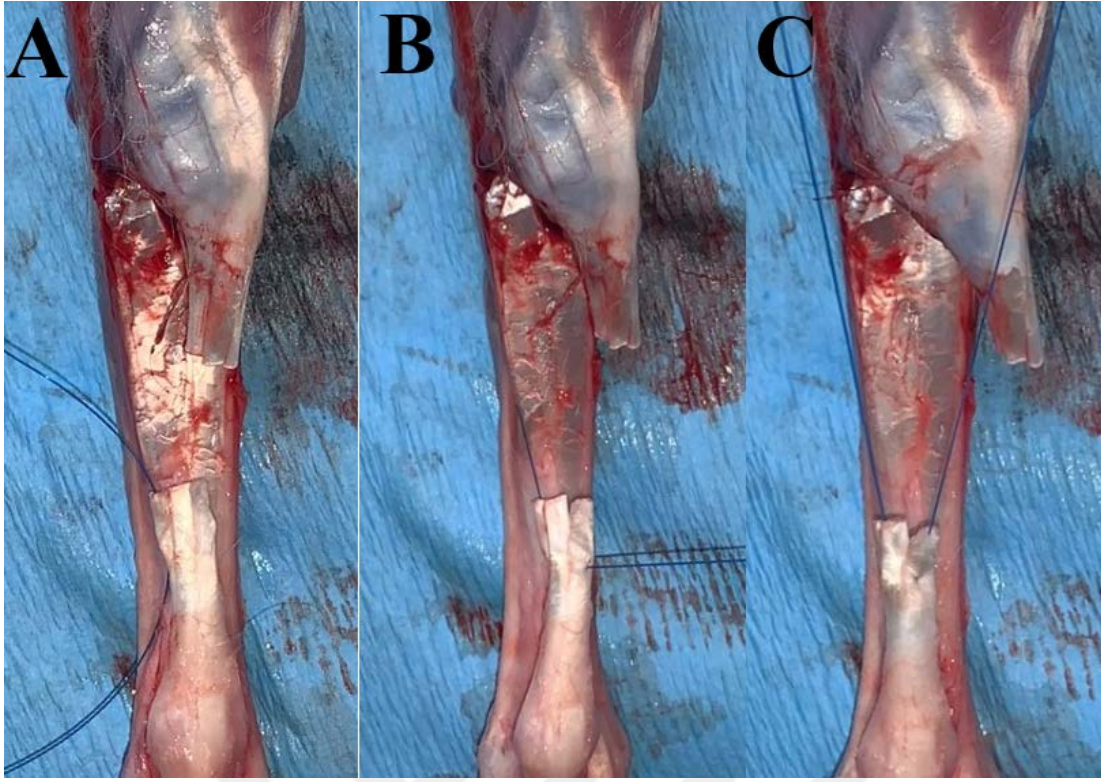
(10) Merkezi sütür için kullanılan dikişin iğne ucu kesilmeden onarım hattından içeriye iğne sokularak tendonun içinden geçilir ve dışına çıkılır. Bu şekilde epitendinöz dikişe başlanır (Şekil-29; A).

(11) Tendonun dorsal yüzüne kilitli devamlı olacak şekilde epitendinöz dikişler atılarak tamamlanır (Şekil-29; B).

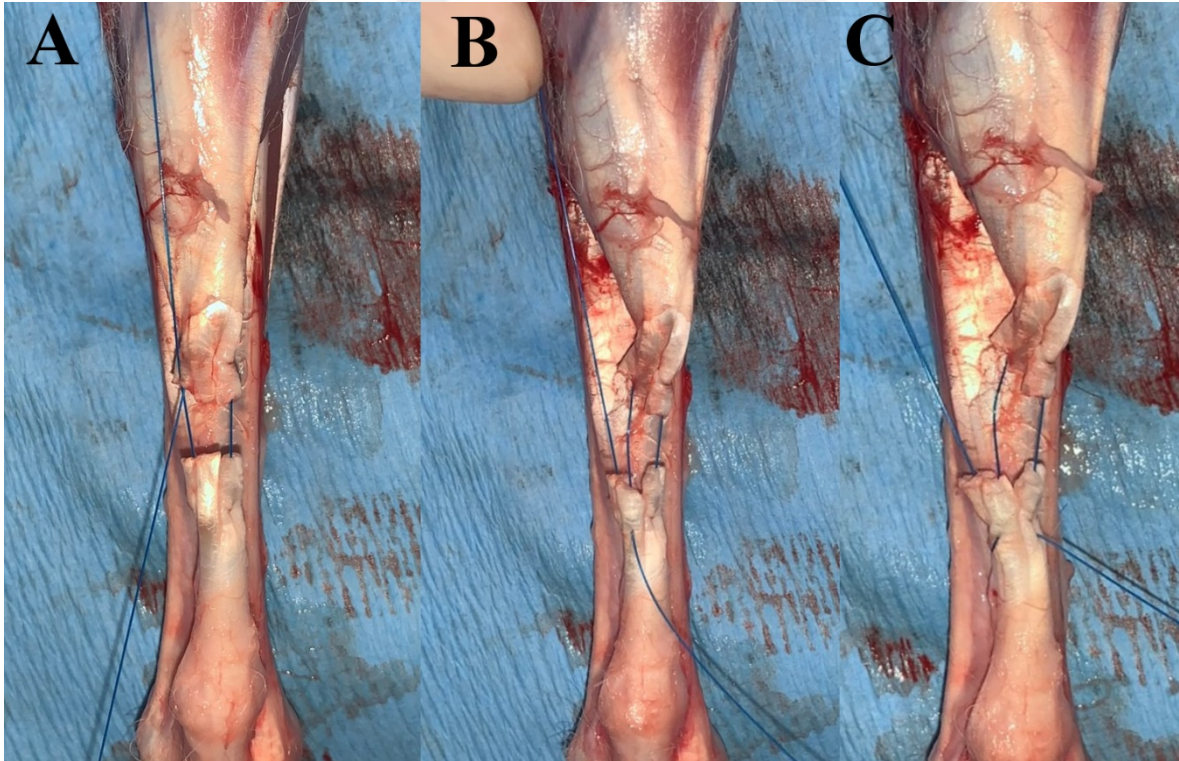
(12) Bu aşamada merkezi dikişin düğümüne halen bağlı olan serbest uç ve epitendinöz dikişin devam edildiği iğneli uç yer değiştirilerek tendon kendi etrafında çevrilir ve ventralinin ekspozisyonu sağlanır (Şekil-29; C).

(13) Epitendinöz sütür ventral yüzde de tamamlanarak başlangıç noktasına geri dönülür ve iğne son çıkışta onarım hattından çıkılarak iğneli ve iğnesiz, her iki serbest sütür ucunun onarım hattının arasından ve karşılıklı olarak aynı hizadan çıktığına emin olunur (Şekil-30; A).

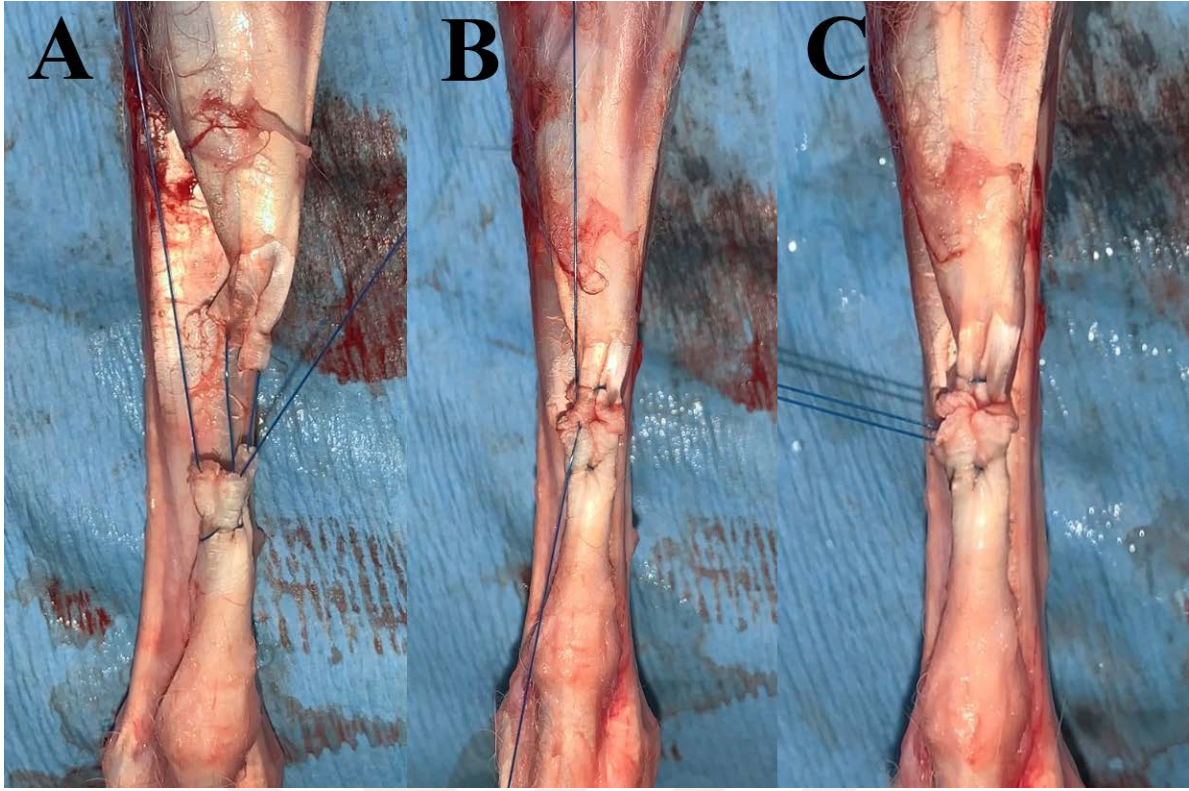
(14) En az üç düğümlü olacak şekilde serbest uçlar düğümlenir, ardından iğnesiz uç kesilir, iğneli uç düğümün dışarıda kalan kısmını içeriye gömmek için kullanıldıktan sonra kesilerek işlem sonlandırılır (Şekil-30; B).



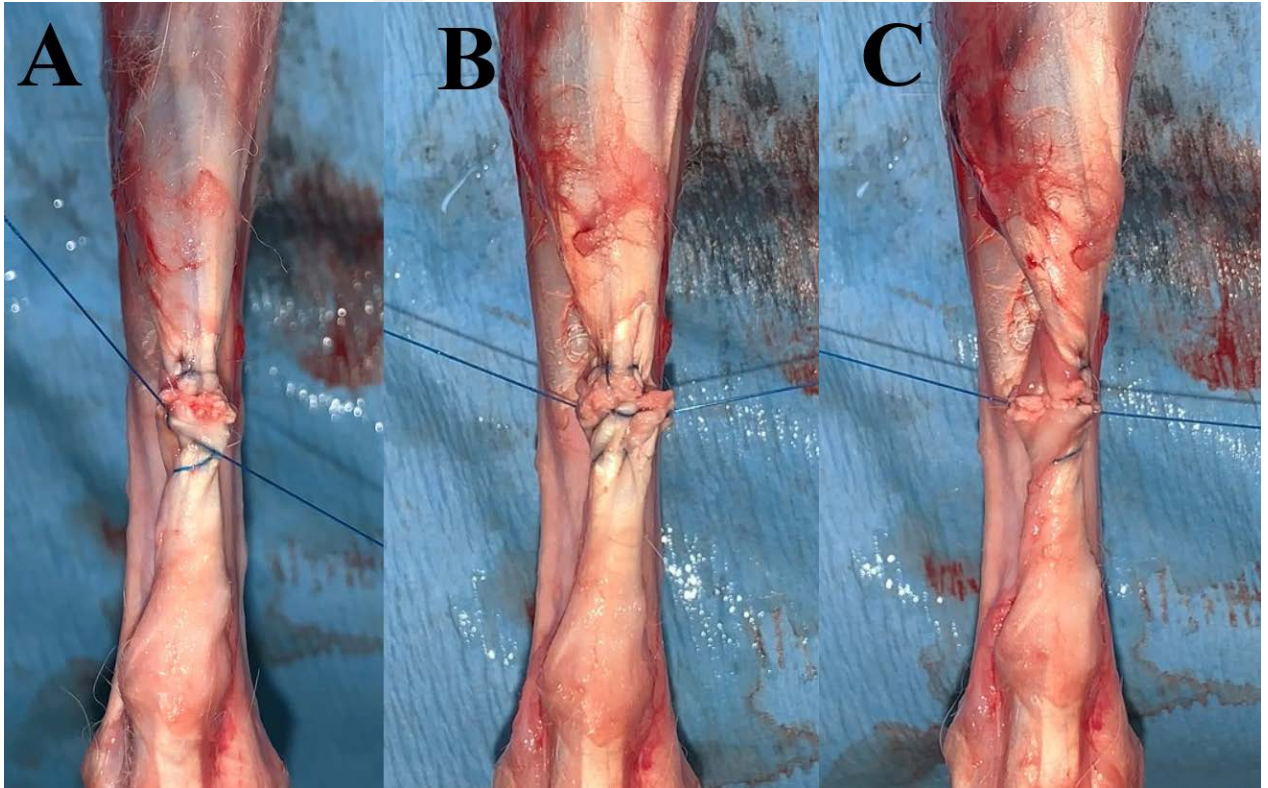
Şekil 26: A. 4/0 yuvarlak polipropilen ile kesik uçtan girilip tendon üzerinden çıkılır. B. Ardından tendonun ipsilateral tarafından yandan iğne tekrar geçirilerek tendon enini kateder ve kontralateralden çıkılır. C. İğnenin çıkıldığı taraftan tendon üzerinden girilip kesik olan uçtan çıkılır ve bu sayede Pennington kilitli kavrama tek taraflı olarak sağlanmış olur.



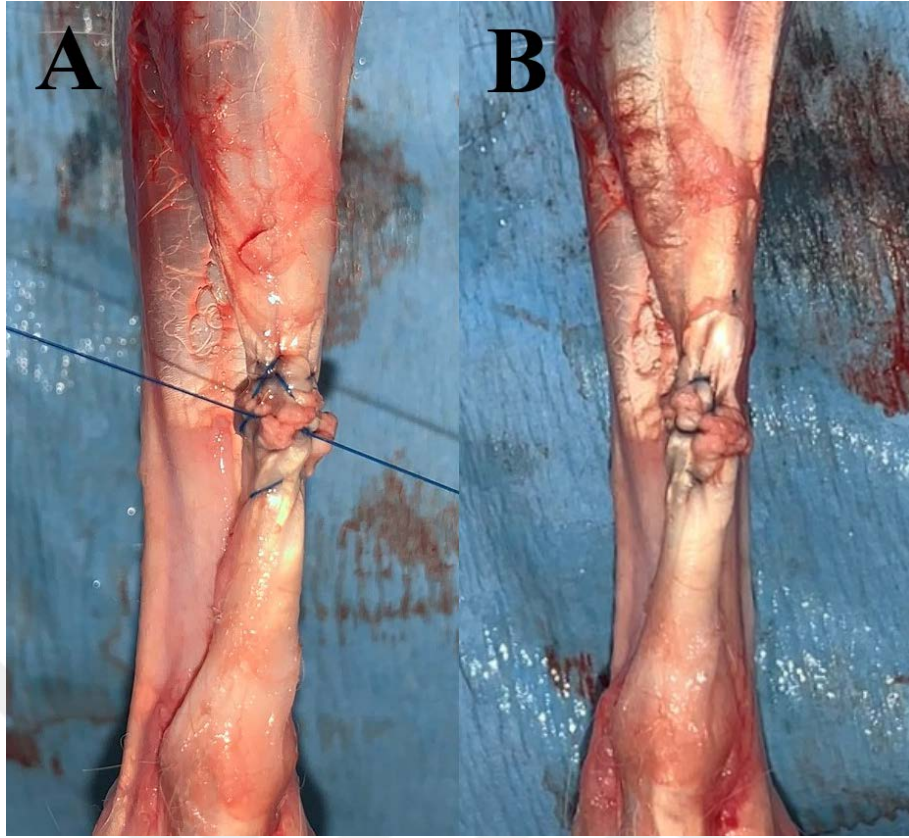
Şekil 27: A. Aynı işlemler tendonun diğer kesik ucu için tamamlanır. Bu şekilde 2 UB'li modifiye Kessler tamamlanmış olur. B. Onarıma başlanıldığı şekilde ilk kesik uçtan iğne geçirilerek tendonun dorsalinden çıkartılır. C. Geniş bir Pennington kilitli kavrama elde edilecek şekilde tendonun yan tarafından iğne geçirilerek ilk geçişten farklı bir bölgeden tendon iğne ile enine katedilir.



Şekil 28: A. İğnenin çıktığı tarafta tendon dorsalinden iğne tekrar tendona paralel düzlemde girilerek kesik uçtan çıkılır. Bu şekilde tek tarafta 2 ayrı Pennington kilit sistemi oluşturulmuş olur. B. Aynı işlemler karşı kesik ucta da tamamlanarak tendon uçları karşılıklı getirilir. C. Uygun gerginlik oluşturularak en az 3 düğümlü bağlama yapılarak merkezi dikiş tamamlanır.



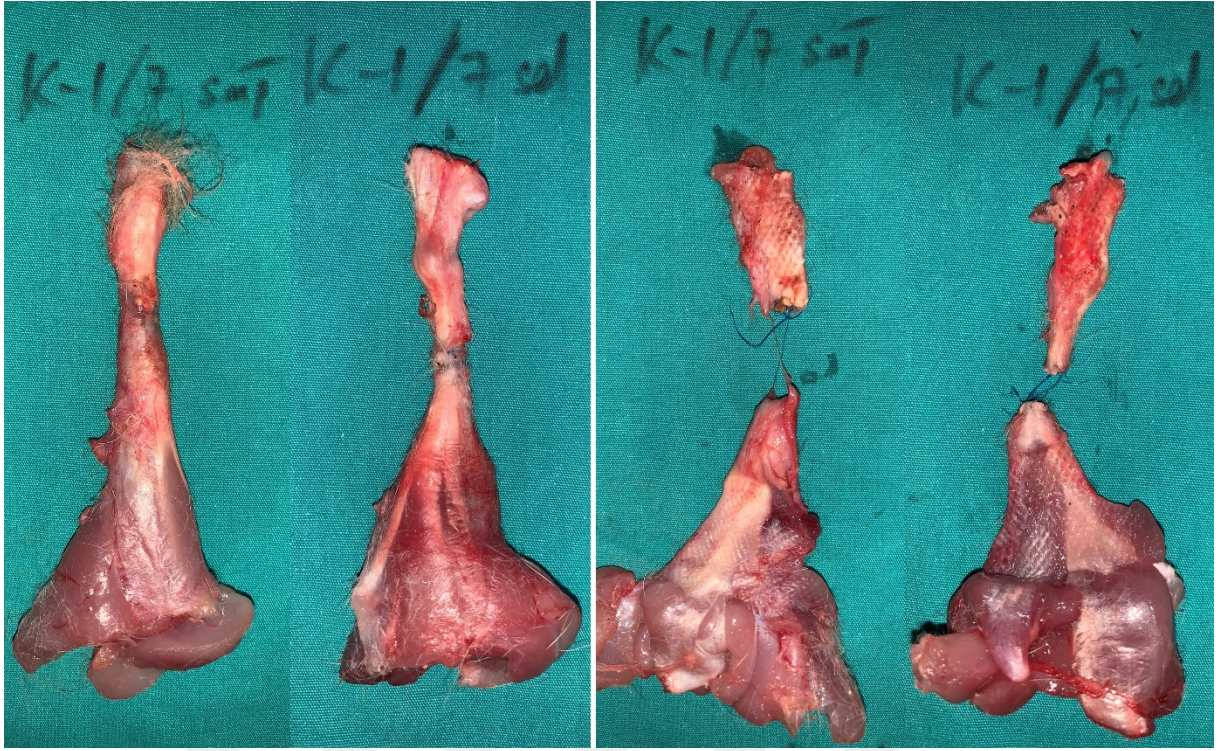
Şekil 29: A. Merkezi sütür için kullanılan dikişin iğne ucu kesilmeden onarım hattından içeriye iğne sokularak tendonun içinden geçilir ve dışına çıkılır. Bu şekilde epitendinöz dikişe başlanır. B. Tendonun dorsal yüzüne kilitli devamlı olacak şekilde epitendinöz dikişler atılarak tamamlanır. C. Bu aşamada merkezi dikişin düğümüne halen bağlı olan serbest uç ve epitendinö dikişin devam edildiği iğneli uç yer değiştirilerek tendon kendi etrafında çevrilir ve ventralinin ekspozisyonu sağlanır.



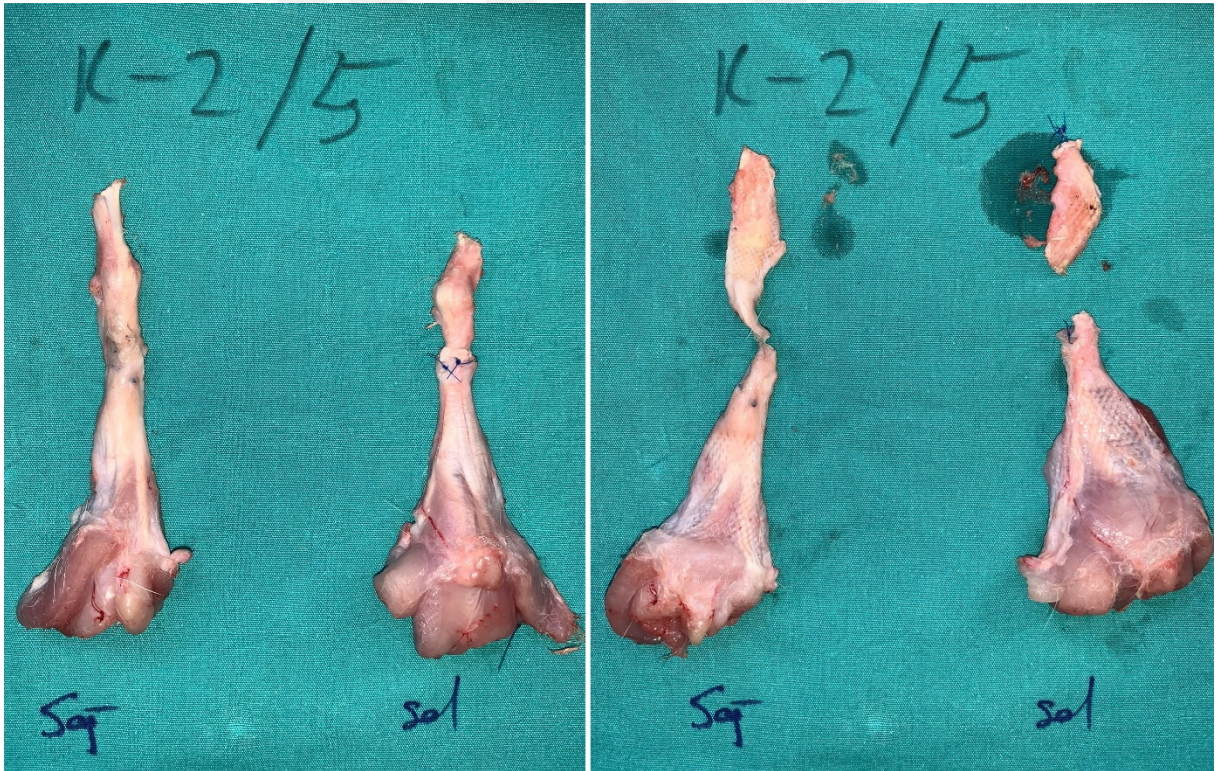
Şekil 30: A. Epitendinöz suture ventral yüzde de tamamlanarak başlangıç noktasına geri dönülür ve iğne son çıkışta onarım hattından çıkılarak iğneli ve iğnesiz, her iki serbest suture ucunun onarım hattının arasından ve karşılıklı olarak aynı hizadan çıktığına emin olunur. **B.** En az üç düğümlü olacak şekilde serbest uçlar düğümlenir, ardından iğnesiz uç kesilir, iğneli uç düğümün dışarıda kalan kısmını içeriye gömmek için kullanıldıktan sonra kesilerek işlem sonlandırılır.

Tüm gruplarda tendon onarımının tamamlanması ardından cilt onarımı 5/0 keskin polipropilen dikiş materyali ile tamamlandı. Cilt onarımının ardından povidon iyodür ile steril ince konvansiyonel pansuman, alçı pamuğu ve sirküler alçı uygulandı.

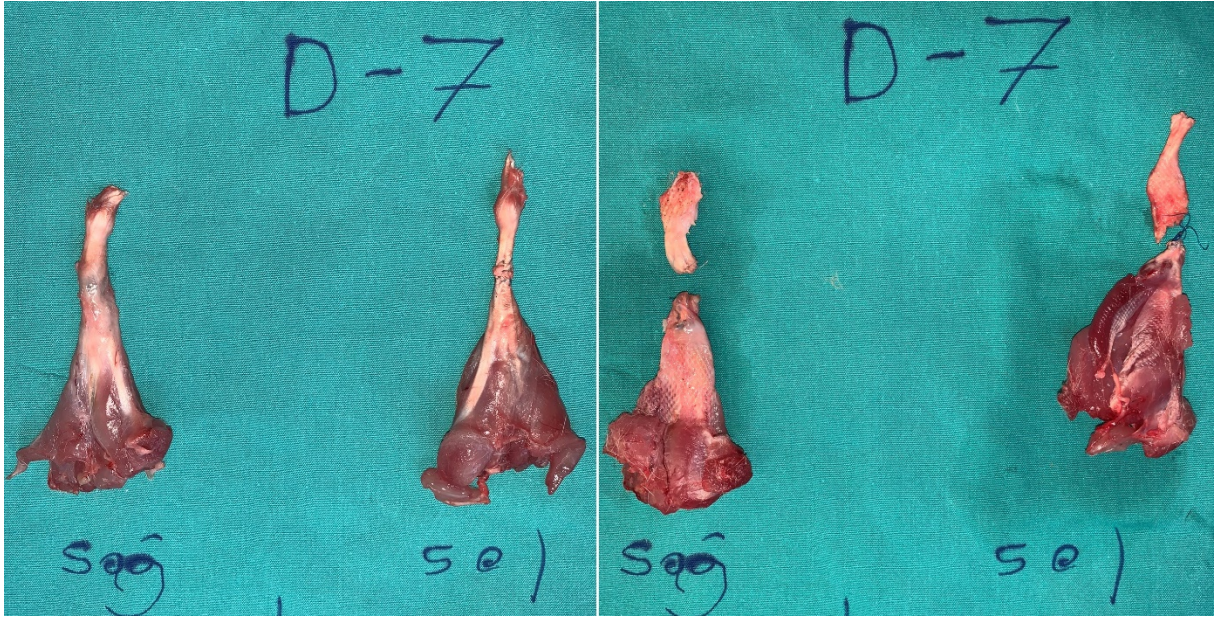
İlk cerrahi sonrası denekler 56 gün (8 hafta) izlem yapıldı. İzlem döneminin sonunda hayvanların kontralateral kalkaneal tendonları da aynı noktadan kesilerek gruplara atanmış olan tekniklerle onarıldı ve bilateral tendon spesimenleri hayvanlardan alındı. Bu aşamada onarım süreleri de kaydedilerek onarımlar arasındaki zaman farklılıkları not edildi. Bu aşamadan sonra hayvanların canlı kalması gerekmediğinden, bilateral kalkaneal tendonları alınmış olan tavşanlara etik olarak uygun şekilde yüksek doz anestezi uygulanarak ötenazi uygulandı. Hayvanlardan elde edilen bilateral kalkaneal tendonlar sayesinde her grup için farklı onarım teknikleriyle onarılmış 8 haftalık iyileşme sürecine maruz bırakılan (*in vivo*) ve onarım anındaki (*ex vivo*) onarım gücünü temsil edecek olan yeni onarım yapılmış olan tendonlar elde edildi (Şekil 29, 30, 31). Her grup başına 6 tavşandan elde edilmiş olan 12 adet spesimen her hayvan ve grup için ayrı ayrı olacak şekilde biyomekanik dayanıklılık testlerinden geçirilmek üzere Dokuz Eylül Üniversitesi Biyomekanik Anabilim Dalı Laboratuvarına götürüldü.



Şekil 31: K-1 grup (MK) spesimen eldesi sonrası (test öncesi) (Sol). K-1 grup (MK) test sonrası (sağ)



Şekil 32: K-2 grup (T) spesimen eldesi sonrası (test öncesi) (Sol). K-2 grup (T) test sonrası (sağ)

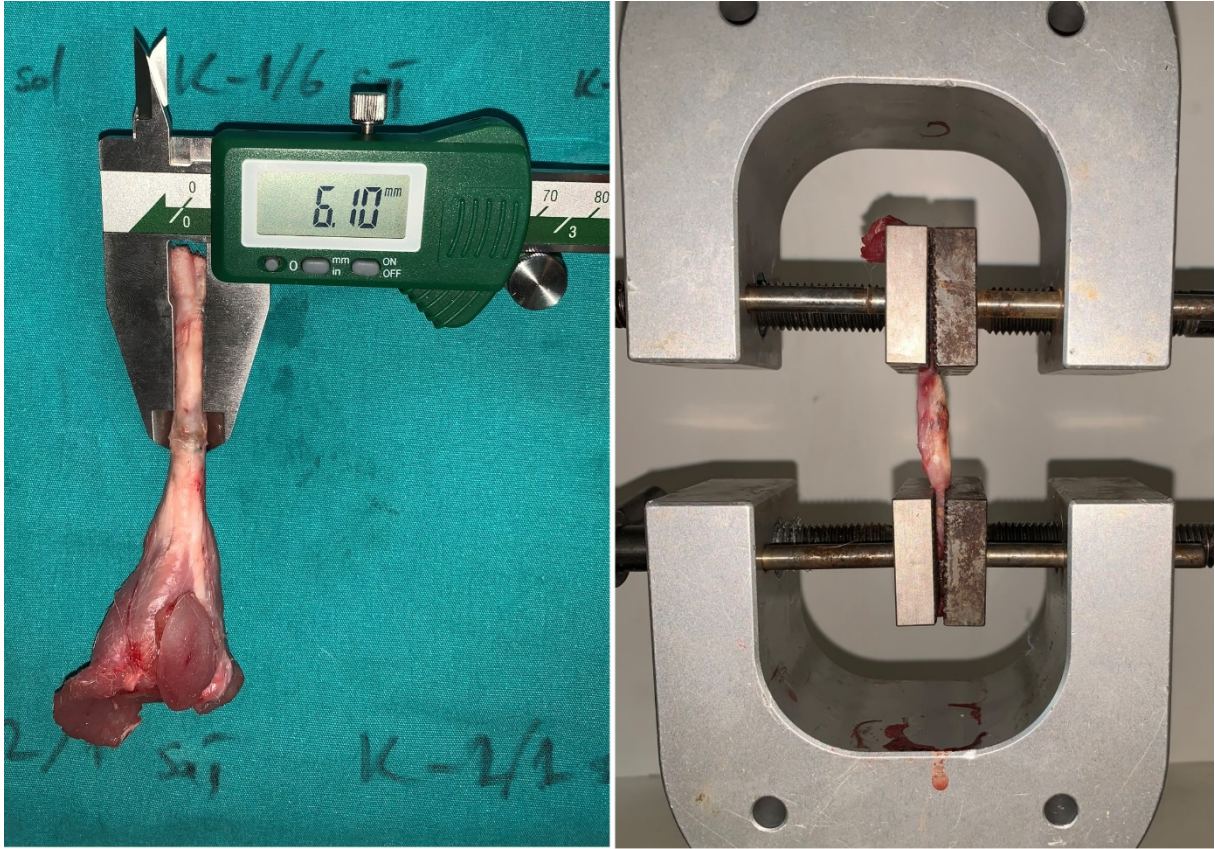


Şekil 33: Deney Grubu (D) spesimen eldesi sonrası (test öncesi) (Sol). Deney Grubu (D) test sonrası (sağ)

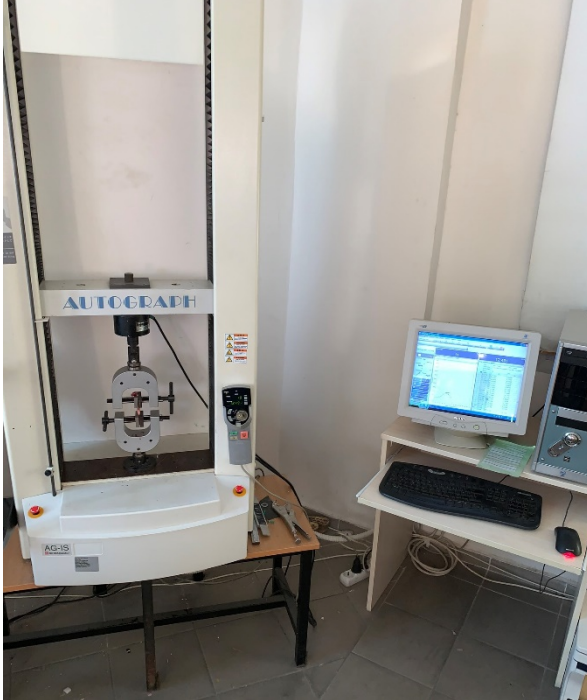
Ötenazi uygulanan tavşanlardan kalkaneal tendonlar gastroknemius, yüzeysel dijital fleksör ve soleus kaslarını da içerecek şekilde diseke edildi. Spesimenlerin elde edilmesi sırasında kalkaneus da tendon spesimenleri ile birlikte olacak şekilde tek parça olarak spesimene dahil edildi (Şekil 31, 32, 33). Bu sayede mekanik stres testleri sırasında spesimenler düzenek içerisine yerleştirildiklerinde kalkaneus kemiği ve kaslar düzenekteki kampana düzeni içerisine sıkıştırılarak tendonların ek travmaya maruz kalmasının önlenmesi amaçlandı.

Dokuz Eylül Üniversitesi Biyomekanik Anabilim Dalı Laboratuvarında spesimenler mekanik karakterizasyonlar için testlere tabi tutuldu. Tüm test prosedürü boyunca numuneler PBS ile nemli tutuldu. Tüm numunelerin aşıl tendonlarının kesit alanının belirlenmesi için kumpas kullanılarak onarım seviyesindeki çapları ölçüldü (Şekil-34; Sol). Kalkaneus, daha önce literatürde tarif edildiği gibi,¹⁷² çekiş yönüne göre 30 ° dorsifleksiyonda özel tasarımlı bir düzenek ile sabitlendi (Şekil-34; Sağ).

Çene bağlantılarından tendonun kaymasını ve sıyrılmasını engellemek için pürüzlü yüzeyle çene uçları kullanıldı ve stabilizasyon sağlandı. 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 10N’luk bir ön yük verildi (Şekil 36; A).



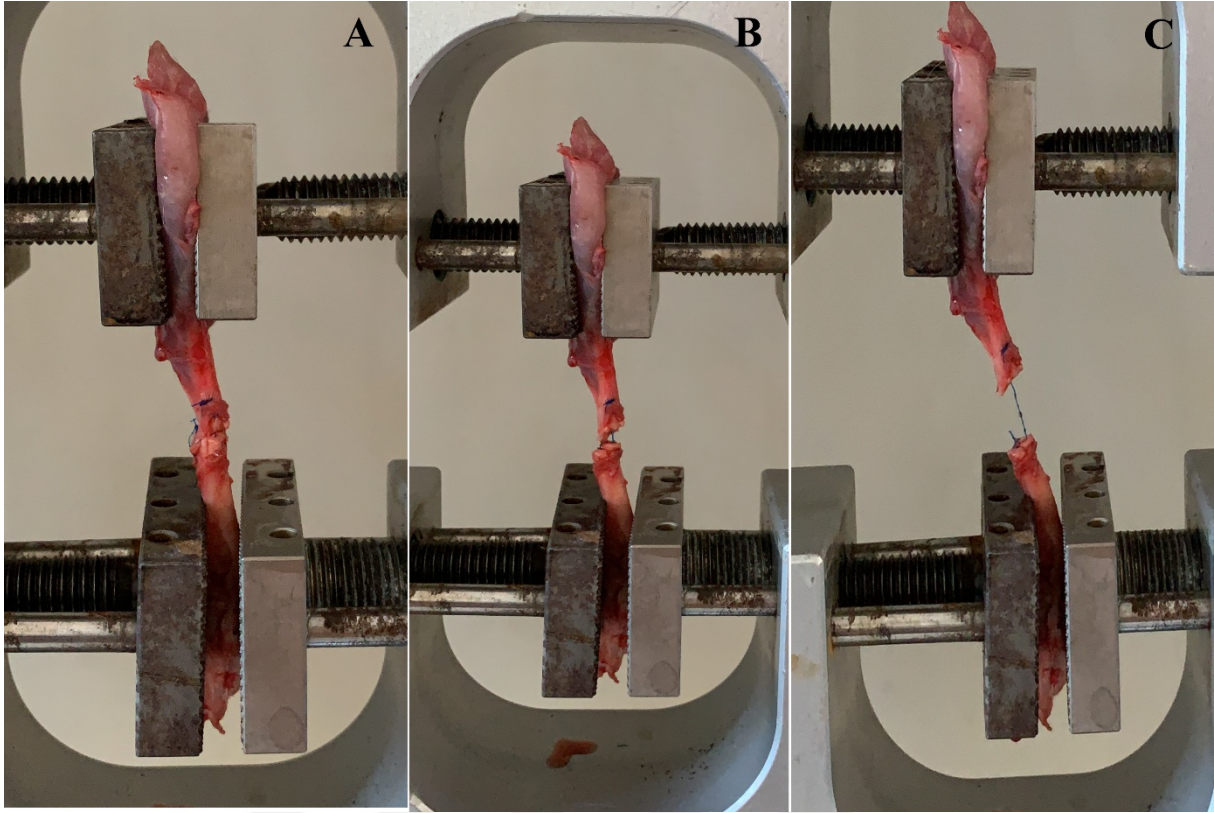
Şekil 34: Spesimenlerin test öncesinde onarım hattının çapının elektronik kumpas yardımı ile ölçülmesi (Sol). Spesimenlerin deney düzeneğinde sabitlenmesi (Sağ).



Şekil 35: Shimadzu AG-IS 5kN, Tokyo, Japan

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 (Şekil 36; B ve C). Aksiyel testlerde; yük (Newton), deplasman (mm) verileri eş zamanlı olarak uniaksiyel test cihazı (Shimadzu AG-IS 5kN, Tokyo, Japan) üzerinde kayıt edildi (Şekil-35). Trapezium 2.0 (Version 2.23 Shimadzu Corp.) programına aktarılarak yük ve yer değiştirme verileri kayıt altına alındı. Tüm numuneler fizyolojik koşullar altında test

boyunca PBS ile nemli tutuldu.



Şekil 36: A. Sütür hattından üst ve altta 10 mm olmak üzere toplamda 20 mm lik bir boşluk bırakarak tendonlar test cihazına yerleştirildi. Tendon – fibril yönelimlerini doğrulanması ve deplasman miktarının boş yükte ölçülmesini engellemek için 10N luk bir ön yük verildi. B ve C. 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.

Elde edilen parametreler gruplar arası farklılıklar açısından karşılaştırmalı istatistiksel değerlendirme yapılarak onarım teknikleri arasındaki dayanıklılık parametreleri analiz edildi. Gruplar kendi içlerinde ve diğer gruplarla 56 günlük iyileşme periyodu öncesi ve sonrası dönemdeki dayanıklılıkları açısından karşılaştırıldı. Ayrıca hangi onarım tekniğinin pratik anlamda diğerlerine üstün olduğun belirlenmesi amacıyla onarım sırasında kaydedilen süreler de karşılaştırıldı.

Çalışmanın istatistiksel değerlendirmesi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 24.0 hazır paket programı yardımıyla yapıldı. Elde edilen veriler 3 grup için (Kontrol grubu 1: 6 iplikli onarım yapılacak olan grup; Kontrol Grubu 2: 4 iplikli modifiye Kessler ve kilitsiz epitendinöz onarım ve Deney Grubu: 4 iplikli kilitli kor dikiş ve devamlı epitendinöz onarım) tanımlayıcı istatistikte sürekli değişkenlerin değerlendirilmesi için grup başına spesimen sayısı ve toplam spesimen sayıları göz önüne alındığında non-parametrik testlerin kullanılması uygun görüldü. Ölçüm değişkenleri biyomekanik değişkenler ve onarım süreleri arasındaki farkları ölçmek amacı ile zamansal parametreler olarak belirlendi. Bağımsız iki grubun farkı non-parametrik koşulda Mann-Whitney U ile analiz edildi. Gruplar arasındaki tek yönlü varyans analizi değerlendirmesi için parametrik koşullar mevcut

olmadığından Kruskal-Wallis varyans analizi uygulandı. İstatistiksel anlamlı fark $p<0,05$ olarak kabul edildi.



4. BULGULAR

4.1. Onarım Sonrası Modeli Bulguları

Onarım sonrası dönemde kontrol grupları ve deney grubunda kullanılan onarım tekniklerinin özellikle erken dönemde aktif ve pasif egzersiz mobilizasyon rejimlerine uyumluluğunu değerlendirmek amacı ile deney düzeneğinde biyomekanik ölçümleri yapılmıştır. Bu modelde yapılan onarımların tamamı deneklerin sakrifikasyonu sonrası yapılmış, spesimenler deneklerden alınarak bekletilmeden hemen ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda kopma için gereken maksimum kuvvet ve kopma anındaki maksimum uzama değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo-2).

Tablo 2: Onarım sonrası modelde (sol kalkaneal tendon) maksimum kuvvet ve uzama değerleri. *N: Newton, mm: milimetre*

Denek -- Sol bacak (onarım sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
K-1-1	77,5	9,096
K-1-2	25,3125	5,754
K-1-3	58,4375	13,012
K-1-5	65,1563	7,922
K-1-6	62,9688	4,87
K-1-7	60,9375	5,279
Ortalama	58,3854	7,6555

Denek -- Sol bacak (onarım sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
K-2-1	24,5313	11,511
K-2-2	41,5625	6,512
K-2-3	28,4375	7,339
K-2-5	37,3438	8,212
K-2-6	25,3125	3,563
K-2-7	26,5625	4,454
Ortalama	30,625	6,9318

Denek -- Sol bacak (onarım sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
D-1	69,6875	4,446
D-2	88,75	15,342
D-3	101,406	10,323
D-4	110,781	10,122
D-6	71,25	10,462
D-7	74,375	7,546
Ortalama	86,0415	9,707

Elde edilen sonuçların istatistiksel analizi “IBM SPSS Statistics 24” programı kullanılarak 3 grup arasındaki tek yönlü varyans analizi değerlendirmesi için parametrik

koşullar mevcut sağlanamadığından Kruskal-Wallis varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca spesifik olarak grupların ikili karşılaştırması Mann-Whitney-U testi uygulanarak hangi gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu değerlendirilmiştir. Aynı program kullanılarak elde edilen sonuçların ortalama, ortanca, maksimum ve minimum değerleri ve standart sapma değerleri de hesaplanmıştır (Tablo-3).

Modifiye Kessler yöntemi uygulanan Kontrol-1 (K-1 (MK)) grubunda elde edilen kopma için gereken maksimum kuvvet ortalama değeri 58,39 N, ortanca değeri ise 61,95 N olarak hesaplanmıştır. Standart sapma değeri 17,51 olarak hesaplanırken grup içi minimum ve maksimum kuvvet değerleri sırasıyla 25,31 N ve 77,51 N olduğu görülmüştür (Tablo-3).

Tang yöntemi uygulanan Kontrol-2 (K-2 (T)) grubu için ise kopma için gereken maksimum kuvvet ortalama değeri 30,63 N, ortanca değer ise 27,50 N olarak saptanmıştır. K-2 grubu için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 24,53 N ve 41,56 N olarak bulunurken standart sapma değeri ise 7,09 olarak hesaplanmıştır (Tablo-3).

Kendi yöntemimizin uygulandığı Deney (D) grubunda ise maksimum kuvvet ortalaması 86,04 N, ortanca 81,56 N dur. Grup içi minimum değer 69,69 N; maksimum değer ise 110,78 N görülmüş, standart sapma değeri 17,19 olarak hesaplanmıştır (Tablo-3).

Tablo 3: Onarım Sonrası Modelinde grup ortalama, ortanca, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri

Onarım Sonrası Kuvvet (N)

Gruplar	Sayı	Ortanca	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart sapma
K1	6	61,953150	58,385433	25,3125	77,5000	17,5074454
K2	6	27,500000	30,625017	24,5313	41,5625	7,0910659
D	6	81,562500	86,041583	69,6875	110,7810	17,1918336
Total	18	61,953150	58,350678	24,5313	110,7810	27,0889205

Tablo 4: Onarım sonrası model için yapılan

Kruskal Wallis Analizi sonuç tablosu. **N: Newton**

Test İstatistikleri^{a,b}

Onarım Sonrası Kuvvet (N)	
Chi-Square	12,197
df	2
Asymp. Sig.	,002

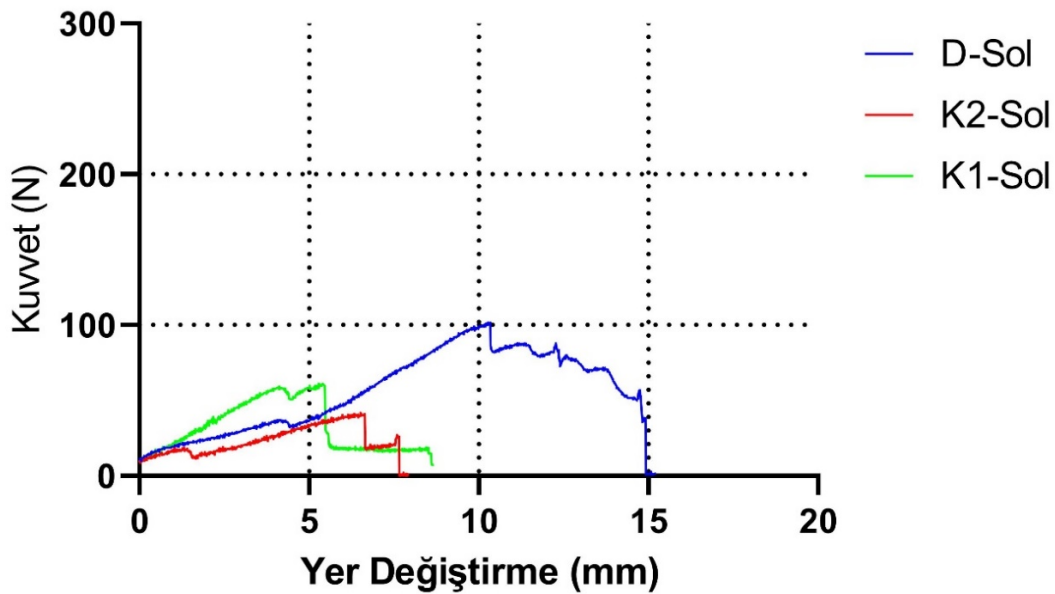
Onarım sonrası kopma için gereken maksimum kuvvet değerlerinin gruplar arası varyans analizi için yapılan Kruskal-Wallis testi sonucu gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,002$; $p<0,05$) (Tablo-4).

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Gruplar

İkili olarak grupların karşılaştırmasında Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. 3 grup olduğundan 3 kere tekrarlanan test sonuçlarına göre tüm gruplar arasında birbirleri ile karşılaştırıldıklarında ölçüm değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. K-1 grubunda kullanılan MK yöntemi onarım sonrasındaki ölçümler açısından K-2 grubunda kullanılan periferik sütürsüz atılan 6 UB'li Tang yöntemine göre daha kuvvetli olarak bulunmuştur ($p=0,026$; $p<0,05$). Her üç teknik için yapılan ölçümlerde bulunan kuvvet-yer değiştirme (uzama) grafikleri de “GraphPad Prism Ver.8” programı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil-37).

Onarım Sonrası Modeli



Şekil 37: Onarım Sonrası Modelde gruplar için örnek Kuvvet-Yer değiştirme Grafikleri. **D-Sol:** Deney grubu sol kalkaneal tendon; **K1-Sol:** 1. kontrol grubu sol kalkaneal tendon; **K2-Sol:** 2. kontrol grubu sol kalkaneal tendon; **N: Newton; mm:** milimetre

Deney grubu diğer gruplara karşı değerlendirildiğinde ise onarım anında oluşan maksimum gerilme kuvveti açısından her iki gruba üstün olduğu görülmüştür. K-1 grubuna karşı p değeri 0,015; K-2 grubuna karşı ise 0,002 ($p < 0,05$) olarak saptanmıştır (Tablo-5).

Tablo 5: Onarım Sonrası Modelde Deney Grubunun Kontrol grupları ile ikili karşılaştırması için yapılan Mann-Whitney U testi Analiz Sonuçları

Test İstatistikleri ^a (K-1 ve D)		Test İstatistikleri ^a (K2 ve D)	
	Onarım Sonrası Kuvvet (N)		Onarım Sonrası Kuvvet (N)
Mann-Whitney U	3,000	Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	24,000	Wilcoxon W	21,000
Z	-2,402	Z	-2,882
Asymp. Sig. (2-tailed)	,016	Asymp. Sig. (2-tailed)	,004
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,015 ^b	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,002 ^b

a. Grouping Variable: Gruplar

Ayrıca kopma anındaki maksimum uzama değerleri de gruplar arası değerlendirme amacıyla Kruskal-Wallis testi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu testin sonucu itibariyle uzama açısından gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı görülmüştür ($p=0,385$).

4.2.İyileşme Sonrası Model Bulguları

Onarım sonrası modelinden farklı olarak tüm deneklerin sağ aşıl tendonları onarım sonrasında 8 hafta sirküler alçı ile immobilizasyon modelinde izlenmiştir. Bu sürenin sonunda denekler kurban edilmiş, sağ aşıl tendon spesimenleri elde edilerek onarım sonrası modelinde uygulanan tüm testler bu spesimenlere de uygulanmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo-6).

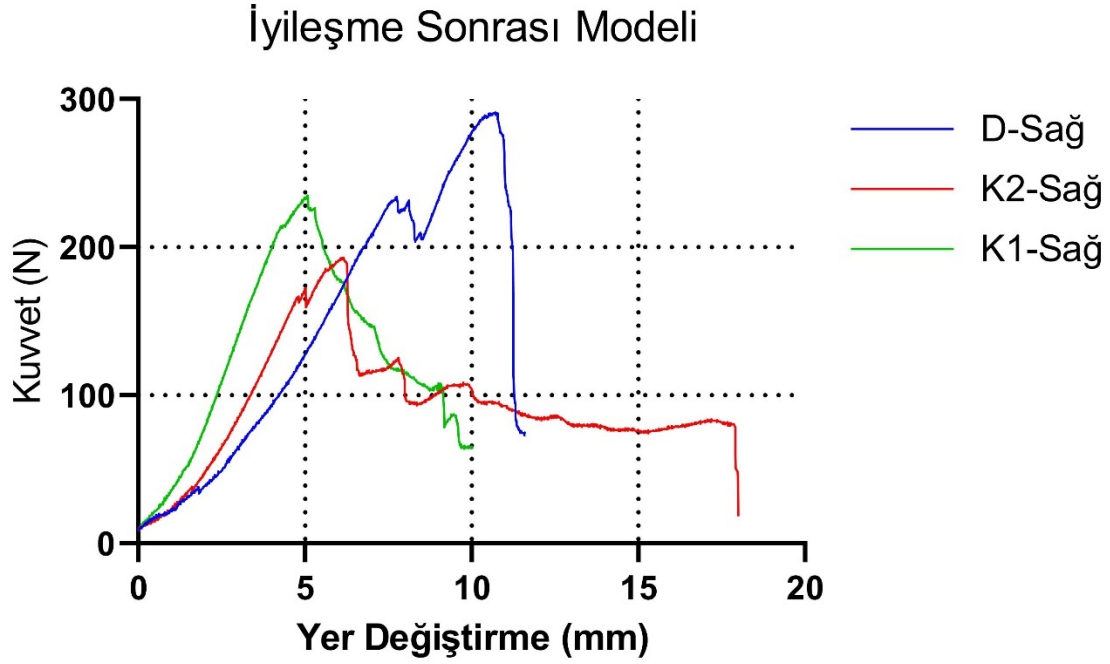
Tablo 6: İyileşme sonrası modelde (sağ kalkaneal tendon) maksimum kuvvet ve uzama değerleri. N: Newton, mm: milimetre

Denek -- Sağ bacak (iyileşme sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
K-1-1	201,719	17,486
K-1-2	111,563	4,221
K-1-3	234,688	5,062
K-1-5	323,438	8,045
K-1-6	234,375	14,079
K-1-7	175,625	8,895
Ortalama	213,568	9,631

Denek -- Sağ bacak (iyileşme sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
K-2-1	116,563	6,987
K-2-2	152,5	8,771
K-2-3	135	18,221
K-2-5	290,156	6,604
K-2-6	192,656	6,114
K-2-7	202,656	8,256
Ortalama	181,5885	9,159

Denek -- Sağ bacak (iyileşme sonrası)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)
D-1	220,017	8,804
D-2	342,6721	5,231
D-3	275	13,795
D-4	123,594	4,379
D-6	291,094	10,745
D-7	210,156	7,754
Ortalama	243,7555	8,451

Her üç teknik için yapılan ölçümlerde bulunan kuvvet-yer değiştirme (uzama) grafikleri de “GraphPad Prism Ver.8” programı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil-38).



Şekil 38: İyileşme Sonrası Modelde gruplar için örnek Kuvvet-Yer değiştirme Grafikleri. **D-Sağ:** Deney grubu sağ kalkaneal tendon; **K1-Sağ:** 1. kontrol grubu sağ kalkaneal tendon; **K2-Sağ:** 2. kontrol grubu sağ kalkaneal tendon; **N: Newton; mm: milimetre**

Modifiye Kessler yöntemi uygulanan Kontrol-1 (K-1 (MK)) grubunda elde edilen kopma için gereken maksimum kuvvet ortalama değeri 213,57 N, ortanca değeri ise 218,05 N olarak hesaplanmıştır. Standart sapma değeri 70,62 olarak hesaplanırken grup içi minimum ve maksimum kuvvet değerleri sırasıyla 111,56 N ve 323,44 N olduğu görülmüştür (Tablo-7).

Tang yöntemi uygulanan Kontrol-2 (K-2 (T)) grubu için ise kopma için gereken maksimum kuvvet ortalama değeri 181,58 N, ortanca değer ise 172,58 N olarak saptanmıştır. K-2 grubu için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 116,56 N ve 290,16 N olarak bulunurken standart sapma değeri ise 62,61 olarak hesaplanmıştır (Tablo-7).

Kendi yöntemimizin uygulandığı Deney (D) grubunda ise maksimum kuvvet ortalaması 243,76 N, ortanca 247,51 N dur. Grup içi minimum değer 123,59 N; maksimum değer ise 342,67 N görülmüş, standart sapma değeri 76,33 olarak hesaplanmıştır (Tablo-7).

Tablo 7: İyileşme Sonrası Modelinde grup ortalama, ortanca, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri

İyileşme Sonrası Kuvvet (N)

Gruplar	Sayı	Ortanca	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
K1	6	218,047000	213,568000	111,5630	323,4380	70,6193920
K2	6	172,578000	181,588500	116,5630	290,1560	62,6069900
D	6	247,508500	243,755517	123,5940	342,6721	76,3320051
Total	18	206,406000	212,970672	111,5630	342,6721	70,8203895

Gruplar arası farkın araştırılması amacı ile yine Kruskal Wallis testi uygulanmıştır. Özellikle K-2 ve D grupları arasında gözle görünen ortalama iyileşme sonrası kopma değerlerindeki farka rağmen Kruskal Wallis testine göre 3 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,268$).

Bu sonuca rağmen onarım sonrası modelinde olduğu gibi gruplar ikili olarak birbirleri ile Mann-Whitney U testi kullanılarak yeniden karşılaştırılmıştır. Yapılan ikili karşılaştırma analizlerine göre de en büyük istatistik farklılık K-2 ve D grupları arasında bulunmuş ($p=0,109$) ancak gruplar arası anlamlı istatistiksel farklılık saptanmamıştır ($p>0,05$).

Ayrıca kopma anındaki maksimum uzama değerleri de gruplar arası değerlendirme amacıyla Kruskal-Wallis testi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu testin sonucu itibariyle uzama açısından gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı görülmüştür ($p=0,977$).

4.3.Onarım Süresi Bulguları

Uygulanan yöntemlerin pratiklik ve klinikte uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi amacı ile tüm deneklere yapılan onarımlar sırasında zaman ölçümü yapılmıştır.

Onarım süreleri incelendiğinde K-1 grubunda onarım için gereken ortalama sürenin 8 dakika 33 saniye, K-2 grubu için 10 dakika 27 saniye, D grubu için ise 6 dakika 7 saniye olduğu görülmüştür. Tüm gruplar için hesaplanan ortalama, ortanca, maksimum değer, minimum değer ve standart sapma değerleri SPSS programı üzerinden hesaplanarak aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo-8).

Tablo 8: Onarım Süreleri açısından grupların ortalama, ortanca, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri. Sn: Saniye

Onarım Süresi (sn)

Gruplar	Sayı	Ortanca	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
K1	6	512,50	513,17	459	570	41,335
K2	6	615,00	627,33	556	713	59,577
D	6	381,50	367,00	304	417	44,855
Total	18	512,50	502,50	304	713	118,989

Yapılan ölçümler ve elde edilen sonuçlar ile bunların grup ortalamaları aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo-9).

Tablo 9: Deneklerin kaydedilen cerrahi onarım süreleri. sn: saniye

Denek	Onarım Süresi (sn)
K-1-1	524
K-1-2	480
K-1-3	501
K-1-5	459
K-1-6	545
K-1-7	570
Ortalama	513,17 sn (8 dk 33 sn)

Denek	Onarım Süresi (sn)
K-2-1	556
K-2-2	585
K-2-3	600
K-2-5	713
K-2-6	680
K-2-7	630
Ortalama	627,33 sn (10 dk 27 sn)

Denek	Onarım Süresi (sn)
D-1	382
D-2	304
D-3	398
D-4	417
D-6	320
D-7	381
Ortalama	367,000 sn (6 dk 7 sn)

Tablo 10: Onarım süreleri açısından 3 grup arası

Kruskal-Wallis yöntemi analiz sonuçları

Test İstatistikleri^{a,b}

	Onarım Süresi (sn)
Chi-Square	14,749
df	2
Asymp. Sig.	,001

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Gruplar

Ortalama onarım süreleri bağımsız 3 grubun istatistiksel değerlendirilmesi amacı ile kuvvet ölçümlerine benzer şekilde Kruskal-Wallis yöntemi ile değerlendirilmiştir. Test sonucuna göre yöntemler arasında onarım için gereken süre açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,001$; $p<0,05$) (Tablo-10).

Ayrıca spesifik iki grup arasındaki istatistiksel farklılığın belirlenmesi açısından tüm gruplar birbirleri ile Mann-Whitney U testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre K-1 grubu onarım süresi açısından K-2 grubundan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde onarım için daha kısa süre gerektirmektedir ($p=0,026$; $p<0,05$). D grubu ise her iki gruba göre anlamlı düzeyde daha kısa sürede onarılmıştır. Her iki grup ile de karşılaştırıldığında p değeri 0,002 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$) (Tablo-11). Bu durumda onarım için gereken süre $K2 > K1 > D$ olarak sıralanabilir.

Tablo 11: Onarım Süreleri Açısından Deney Grubunun Kontrol grupları ile ikili karşılaştırması için yapılan Mann-Whitney U testi Analiz Sonuçları

Test İstatistikleri ^a (K1 ve D)		Test İstatistikleri ^a (K2 ve D)	
	Onarım Süresi (sn)		Onarım Süresi (sn)
Mann-Whitney U	,000	Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	21,000	Wilcoxon W	21,000
Z	-2,882	Z	-2,882
Asymp. Sig. (2-tailed)	,004	Asymp. Sig. (2-tailed)	,004
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,002 ^b	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,002 ^b
a. Grouping Variable: Gruplar		a. Grouping Variable: Gruplar	

5. TARTIŞMA

Travmatik tendon kesileri günümüzde çok sık rastlanılan yaralanmalardır. Özellikle iş ve ev kazalarına bağlı gelişen el bölgesi yaralanmalarına ve cam ve bıçak benzeri keskin aletlerle oluşan önkol yaralanmalarına hemen her zaman fleksör tendon kesileri de eşlik etmektedir.¹⁷³ Tendon kesilerine veya tedavi ve izlem sürecinde yaşanan aksaklıklara bağlı olarak gelişen fleksör tendon fonksiyon kayıpları hayat kalitesini büyük oranda etkilemekte ve uzun süreli iş gücü kaybına neden olarak bireysel ve makro düzeyde yadsınamaz ciddiyette sosyoekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Tarihsel olarak Galen'in öğretileri doğrultusunda İbn-i Sina'nın önerilerinin aksine tendon onarımı ekstremitenin geri kalanı üzerinde sahip olabileceği olumsuz etkilerden korkularak yapılmamıştır.⁶ 17. yüzyıl sonlarında ve 18. yüzyıl başlarında Meekren ve Van Haller tarafından yapılan bazı deneysel çalışmalar sonucunda tendon onarımının uygulanabileceğinin gösterilmesiyle uzun süren bu tabu yıkılarak tendon onarımı klinik pratikte uygulanmaya başlanmıştır.⁶

On sekizinci yüzyılın sonlarında ve 19. yüzyılda konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşıl tendonu gibi paratenonla kaplı tendonlar üzerine yoğunlaşmış, fleksör tendonlar gibi sinovyal membranla kaplı tendonlarla ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır. 20. yüzyıla gelindiğinde ise fleksör tendonlar üzerine yapılan çalışmalar artmış, bu bölgede yapılan onarım sonuçlarının yüz güldürücü olmaması sebebiyle özellikle fleksör zon 2 bölgesi Bunnell tarafından "no-man's land" olarak tanımlanmıştır. İlk olarak yine Bunnell bu bölgedeki tendon iyileşmeleri sonucunda hareketi engelleyen yapışıklıklar oluştuğunu göstermiş ve bu bölgedeki yaralanmalarda sadece derin tendonun onarılması, erimeyen materyaller ile onarım ve postoperatif immobilizasyon gibi önerilerde bulunmuştur.^{11, 12}

Optimal sonuçların elde edilmesinde yaşanan güçlükler nedeni ile 1960'lı yılların sonuna kadar fleksör tendon yaralanmalarının, özellikle fleksör zon 2'deki yaralanmaların cerrahi tedavisinde primer onarım tercih edilmemiş, greftlerin kullanıldığı ikincil onarım teknikleri daha yaygın olarak uygulanmıştır.^{6, 16, 17} 1967'de Kleinert ve arkadaşlarının yaptığı çalışma²⁵ bu konuda bir dönüm noktası olmuş ve sonrasında el fleksör tendonlarının primer onarımı yaygınlaşarak kabul edilen cerrahi yöntem haline gelmiştir.⁶

Fleksör tendon yaralanmalarının primer onarımının yaygınlaşması araştırmacıları tendon iyileşme mekanizmalarına yönlendirmiş ve bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır. İntrensek ve ekstrensek iyileşme mekanizmaları ve ikisi arasındaki dengenin tendon iyileşmesi ve yapışıklıkların oluşması veya engellenmesi konusundaki önemi bu sayede

anlaşılmaya başlanmıştır.²⁶⁻³⁰ Bu çalışmaların tendonların ekstrasik iyileşme özelliklerinin ve dolayısı ile çevresel yapışıklıkların vazgeçilmez olmadığını göstermesi sonucunda; araştırmacı klinisyenler tendonların yapışıklık olmadan iyileşmesini sağlamak amacıyla onarım sahasının iyileşme sürecinde hareketlendirilmesi, onarım hattına daha fazla çekme kuvveti uygulanması, onarımın daha sağlam ve çoklu UB içeren farklı merkezi ve çevresel sütür teknikleri arayışına girmelerine neden olmuştur.⁶

Tarihsel olarak birkaç bin yıldır çözölemeyen tendon kesilerinin optimal onarımı konusu son birkaç on yılda ciddi bir ilerleme kaydetmiş ve ideal onarım teknikleri ve tedavi stratejileri geliştirilmiştir. Günümüzde her ne kadar birçok merkez ve yazar tarafından geniş serilerde yüz güldürücü sonuçlar rapor edilmekte olsa da fleksör tendon onarımlarında tüm mecraların üzerinde anlaşıldığı altın standart cerrahi teknik arayışı sürmekte; cerrahi teknik ve tedavi modalitelerine her geçen gün bir yenisi eklenmektedir.

Her ne kadar farklı yazar ve merkezler tarafından birbiri ile çelişen sonuçlar raporlanmış ve önerilerde bulunulmuş olsa da ideal tendon onarımının sahip olması gereken bazı belli başlı özellikler genel olarak kabul edilmektedir. Bu özellikler; sütür materyalinin emilemeyen özellikte olması, yapışıklıkların önlenmesi amacı ile onarım bölgesinin erken başlanılan aktif ve pasif fizik tedavi protokolleri ile hareketlendirilmesi, onarım hattı üzerine iyileşmenin yeniden yapılanma evresinde mekanik gerilme yükü uygulanması, onarım tekniğinin bu erken fizik tedavi protokollerine ve uygulanması gereken çekme kuvvetine yeniden rüptür veya ayrılma (gap formation) oluşmasına imkan vermeyecek kadar dayanıklı olması, onarılan tendonun vaskülaritesinin bozulmaması, diseksiyon genişliğinin minime indirgenmesi, onarım tekniğinin onarım sonrasında fleksör kılıf içerisinde hareketi engellemeyecek kadar az miktarda sürtünme direnci oluşturması ve aynı zamanda pratik ve hızlı uygulanabilen bir teknik olması olarak sıralanabilir.⁵⁵ Bu bilgiler ışığında çalışmamızın deney grubunda uyguladığımız tendon onarım tekniği geliştirilmiştir. Klinik pratikteki uygulamamızda yukarıdaki özellikleri taşıdığını tecrübe ettiğimiz tekniğimizin kantitatif etkinliğinin kanıtlanması, dünyada sık kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış diğer tekniklerle kantitatif karşılaştırılmasının yapılarak üstünlük ve eksikliklerinin belirlenmesi ve uygulanması pratik olan bu tekniğin literatüre kazandırılması amacı ile bu çalışma tasarlanmıştır.

Onarım sonrası tendon gerilme kuvvetine etki eden birçok faktörden bahsedilebilir.⁵⁵ Bunların arasında en önemli olarak gösterilen ise onarım sırasında kullanılan merkezi dikişte kullanılan uzunlamasına bileşen (UB) (strand) sayısıdır.^{3, 4, 141} Son zamanlarda tariflenen yeni onarım tekniklerinin çoğunda 6 veya daha fazla UB kullanılırken erken rüptür ve ayrılmayı

engellemek adına en azından 4 UB’li tekniklerin kullanılması önerilmektedir. Yapılan çalışmada D gruplarında kullanılan teknikte de 4 UB’li bir teknik kullanılmıştır. K-1 grubunda kullanılan 4 UB’li Modifiye Kessler tekniğinden farklı olarak ise epitendinöz dikiş kilitli atılarak modifiye edilmiş, merkezi dikişin atıldığı dikiş devam ettirilerek yaygın şekilde uygulananın aksine ince bir suture geçilmemiştir.

Tendonların pasif hareketler sırasında maruz kaldığı kuvvetler 1-9 N arasında iken düşük dirençli aktif hareketler sırasında 1-29 N, travma veya cerrahi onarım senaryoları gibi orta-yüksek direnç durumlarında ise bu kuvvetler 15-50 N’a kadar çıkmaktadır.^{135, 166} Bu nedenle ideal bir onarım tekniğinin en azından 50 N’luk bir gerilme kuvvetine sahip olması gerektiği yorumu yapılabilir.

İdeal bir tendon onarım tekniğinin onarım sonrasında akut dönemde yüksek gerilme kuvvetine sahip olması gerekmektedir. Bunun en önemli nedeni ise onarım sonrasında erken dönemde başlanması gereken aktif ve pasif egzersizlerdir. Bu egzersizler sayesinde iyileşme sırasında ekstrinsik mekanizmaların baskınlığı azaltılarak iyileşme sürecinin intrinsik taraf doğru kaymasını sağladığı gösterilmiştir. Bu sayede geç dönemde oluşması beklenen yapışıklıklar ve buna bağlı oluşacak olan hareket kısıtlılığı engellenmiş olacaktır. Erken başlanılan bu egzersizlerin bir diğer önemli katkısı ise iyileşmenin ve kollajen diziliminin tendon eksenine paralel oryantasyonunu sağlayarak tendonun iyileşme sonrasındaki morfolojik özelliklerini korumasına yardımcı olmasıdır. Söz konusu erken mobilizasyon rejimlerinin onarım hattında herhangi bir ayrışma (gap formation) veya onarımın rüptür ve yırtılma oluşturmaya olanak vermeyen onarım tekniği seçilmesi bu nedenlerden dolayı büyük önem taşımaktadır.

Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda K-1 (MK) ve Deney (D) gruplarında uygulanan teknikler onarım sonrasında erken aktif mobilizasyon için yeterli gerilme kuvvetini sağlayabildikleri görülmektedir. Her iki tekniğin de literatür bilgisinin aksine 4 UB içermelerine rağmen 6 UB kullanılan K-2 (T) grubuna göre anlamlı olarak onarım anında daha yüksek gerilme kuvvetlerine dirençli oldukları saptanmıştır. Bu durumun nedeni ise K-1 ve D gruplarında merkezi dikişlere ek olarak epitendinöz dikişlerin kullanılmış olması olarak tarafımızca yorumlanmaktadır.

İnsan fleksör tendon onarımlarından sonra iyi tendon iyileşmesinin en önemli gerekliliklerinden biri de en azından yapılan cerrahi işlem kadar önemli olduğu kabul edilen erken başlatılan erken aktif ve pasif egzersizlerdir. Onarılan tendonların erken mobilize edilmesi intrinsek iyileşme mekanizmalarını devreye sokmaya yardımcı olurken yüksüz ve

kontrollü yüklerle yapılan aktif egzersizler ise tendon iyileşmesinin yeniden yapılanma evresinde kollajen liflerinin dizilimini düzenli hale getirir ve iyileşen tendonu genel olarak daha güçlü hale getirir. Çalışmamızın onarım sonrası modelinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler deney grubunda uygulanmış olan tekniğimizin erken dönem gerilme kuvvetleri açısından üstünlüğünü gözle görülür ve istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde ortaya koymuştur. Bu bilgiler ışığında deney grubunda uygulanan tekniğimizin kontrol-1 ve kontrol-2 gruplarında uygulanan tekniklere göre erken aktif ve pasif mobilizasyon rejimlerine daha uygun olduğu rahatlıkla söylenebilir. Elde edilen gerilim kuvveti değerlerinden de görüleceği üzere (klinik tecrübelerimizle de uyumlu olarak) bu teknikle tendon kesileri onarılan hastalar daha iyi sonuçlar elde edilmesi amacıyla, güvenle erken aktif ve pasif mobilizasyon rejimlerine yönlendirilebilirler.

Özellikle son zamanlarda merkezi dikişler araştırmacı ve klinisyenler tarafından diğer tüm faktörlerden daha fazla önemsenir hale gelmiştir. Bunun nedeni toplam gerilme kuvvetine merkezi dikişlerin katkısının daha fazla olmasıdır. Hatta bazı yazarlar çoklu UB'li onarımların doğru uygulandığında erken aktif mobilizasyon için gereken yeterli gerilme kuvvetini oluşturduğunu, periferik dikişlerin yalnızca serbest tendon saçaklarını toplama görevi olduğunu ve epitendinöz dikişlerin toplam gerilme kuvvetine katkısının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu savunmaktadır.^{163, 174, 175} Tendon onarımlarının periferik sütürlerle desteklenmesinin terkedilebileceğini savunan bu düşünce çalışmamızın sonuçlarının da gösterdiği gibi bizim klinik gözlem ve tecrübelerimizle örtüşmemektedir ve epitendinöz sütürler terkedilmemelidir.

K-2 grubunda uyguladığımız 6 UB'li tekniğin literatüre katan Tang ve ark. 2001'de yaptığı bir çalışma periferik sütürlerin ne denli önemli olduğunu ortaya koymakta ve çalışmamızın sonuçlarını desteklemektedir.¹⁷⁶ Söz konusu çalışmada 6 UB'li Tang tekniği ile 2 UB'li geleneksel Modifiye Kessler yöntemleri biyomekanik olarak karşılaştırılmış ve her iki teknik farklı karmaşıklık düzeylerinde 3 farklı periferik sütür tekniği ile kombine edilerek biyomekanik testlere maruz bırakılmıştır. Özet olarak çalışmanın sonucunda üçte bir oranında merkezi dikiş sayısına sahip olmasına rağmen modifiye edilmiş periferik sütürlerle desteklendiğinde modifiye Kessler yönteminin toplam gerilme kuvvetinin basit devamlı epitendinöz sütürlerle desteklenen 6 UB'li Tang yönteminden daha güçlü olduğu gösterilmiştir.¹⁷⁶ Bu çarpıcı sonuç periferik sütürlerin artık göz ardı edilmeye başlanan önemini hatırlatır niteliktedir. Aynı yazarın güncel makalelerinde farklı yazarların çalışmalarına atıfta bulunarak 6 UB'li teknikler (örn: Tang, Lim/Tsai) kullanıldığında periferik sütürlerin kullanımının gerekli olmadığını savunduğu görülmektedir.¹⁷⁷

epitendinöz suturelerin kullanımının basit devamlı tekniğe üstünlüğünü göstermektedir. Basit devamlı teknikle atılan periferik dikişlere oranla modifiye edilerek atılan periferik dikişlerin onarım hattındaki ayrılma ve toplam tendon gerilme kuvvetini artırmaktadır^{137, 151}.

Dolayısıyla D grubunda kullanılan kilitli epitendinöz dikiş tekniğinin onarıma yapacağı gerilme kuvveti katkısı K-1 grubunda kullanılan basit devamlı tekniğe göre daha fazla olacaktır. Merkezi dikişler açısından herhangi bir fark bulunmayan K-1 ve D gruplarının arasındaki istatistiksel anlamlı farkın nedeninin epitendinöz dikiş tekniğindeki farklılık ve suture kalınlığı olduğu söylenebilir.

Klinik pratikte tendon kesileri çoğu zaman eşlik eden nörovasküler yapılarla birlikte yaralanır. Bu nedenle onarım cerrahisi sırasında sadece tendonlar değil, damar ve sinir yapılarının da onarılması gerekebilir. Hatta yaralanan uzvun dolaşımının bozulmuş olması halinde revaskülarizasyon gerekebilir. Bu gibi durumlarda kemik ve tendon onarımı olası damar ve sinir onarımlarından önce yapılması gerektiğinden tendon onarımının hızlı bir şekilde bitirilmesi gerekir. Bu yüzden ideal bir tendon onarım tekniğinin yukarıda sıralanan biyomekanik özelliklerinin yanında pratiklik ve hızlı uygulanabilirlik de neredeyse bir o kadar önemli bir husustur.³

Kullanılan tekniklerin pratiklikleri ve üst üste birçok defa tekrar uygulanabilirliklerinin karşılıklı analizinin yapılması amacı ile çalışmamızda kullanılan tekniklerin uygulanma süreleri de kayıt altına alınmıştır. Tüm gruptaki tüm spesimenler tek bir cerrah tarafından uygulanmış, onarım süresi tüm grupta tendona temas eden ilk iğne ile başlatılmış, son düğümün kesilmesi ile sonlandırılmıştır.

Uygulanma süreleri karşılaştırıldığında D grubu için gereken süre her iki kontrol grubuna göre anlamlı şekilde daha kısa sürerken; K-2 (T) grubu ile K-1 (MK) grubu arasında yapılan incelemede K-1 grubunun K-2 grubuna göre daha avantajlı olduğu istatistiksel olarak gösterilmiştir. Bu bulguların nedenini açıklamak amacı ile onarım zamanları incelendiğinde onarım süresince atılan toplam düğüm (bağlama) sayısının (tüm grup ve tekniklerde yapılan bağlama başına atılan düğüm sayısı eşit olarak uygulanmıştır.) onarım süreleri üzerinde etkisi olduğu yorumu yapılabilir. Örneğin; K-1 (MK) grubundaki bağlama sayısı 1 adet merkezi dikiş, 2 adet periferik dikiş olmak üzere 3 adet; K-2 (T) grubundaki bağlama sayısı her bir ikili loop merkezi dikiş için bir olmak üzere 3 adet; D grubunda ise 1 adet merkezi dikiş, 1 adet epitendinöz dikiş için olmak üzere 2 adettir. Tüm gruplar için yapılan cerrahi işlemler sırasında tendon onarımları ile ilgili hiçbir kolaylaştırıcı asistansa başvurulmamış, tüm onarım uygulamalarının her basamağı tek cerrah tarafından gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla uygulamalar arasında oluşan bu süre farkının bir diğer nedeni de K-1 grubunda 1 kere K-2

grubunda ise 2 kere sütür materyalinin değiştirilerek yeni materyal kullanılmasının gerekmesi olarak düşünülebilir.

Çalışmamızda 3 farklı grupta kullanılan onarım tekniklerinin onarım anında oluşturdukları gerilme kuvvetlerinin değerlendirilmesinin yanı sıra bu tekniklerin iyileşme sürecine etkileri ve iyileşme dönemi sonrasında oluşturdukları gerilme kuvvetleri de değerlendirilmek istenmiştir. Bu nedenle deneklerin iki kalkaneal tendonundan biri 8 haftalık iyileşme sonucu ölçümler için, diğeri ise onarım anındaki ölçümler için ayrılmıştır. Tendon gerilme kuvvetleri ve tendonların biyomekanik özellikleri ile ilgili yapılan birçok çalışma onarım anındaki biyomekanik özellikleri değerlendirirken, yapılan onarımları iyileşme dönemi sonrasında değerlendiren çalışma sayısı daha azdır. Domuz, koyun, tavuk ve insan kadavra modelleri tendon biyomekanik çalışmaları için genellikle tercih edilen modeller olmuştur. Bunun başlıca nedeni ise insan kadavra fleksör tendonları hariç diğer spesimenlerin ulaşımının daha kolay olması ve canlı denek içermediğinden uygulamalarının daha kolay olmasıdır. Bahsedilen modeller boyut ve uzunluk açısından da insan fleksör tendonlarına yakın olmalarıyla tercih sebebi olmuşlardır. Ancak her ne kadar onarım anındaki tendon gerilme kuvveti erken rehabilitasyon programlarına başlanması açısından önemli göstergeler olsa da biz klinisyenler açısından daha önemli olan gösterge uygulanan tekniklerin iyileşme süreci ile ne kadar uyumlu oldukları ve iyileşmeyi olumlu ya da olumsuz nasıl etkiledikleri olmalıdır. Bu nedenle mevcut çalışmamız bu yönde tasarlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre onarım sonrası yapılan ölçüm sonuçları ile iyileşme sonrası yapılan ölçüm sonuçları gruplar içerisinde bir korelasyon göstermektedir. Yani, onarım sonrası ölçüm sonuçları gibi iyileşme sonrası ölçüm sonuçlarında da tendon gerilme kuvveti ortalamaları sırasıyla $D > K-1 > K-2$ olarak gerçekleşmiştir.

Gruplar arası farkın araştırılması amacı ile yine Kruskal Wallis testi uygulanmıştır. Özellikle K-2 ve D grupları arasında gözle görünen ortalama iyileşme sonrası kopma değerlerindeki farka rağmen Kruskal Wallis testine göre 3 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,268$). Bu sonuca rağmen onarım sonrası modelinde olduğu gibi gruplar ikili olarak birbirleri ile Mann-Whitney U testi kullanılarak yeniden karşılaştırılmıştır. Yapılan ikili karşılaştırma analizlerine göre de en büyük istatistik farklılık K-2 ve D grupları arasında bulunmuş ($p=0,109$) ancak gruplar arası anlamlı istatistiksel farklılık saptanmamıştır ($p>0,05$).

Saptanan ortalama ve ortanca değerler arasında gözle görünen farka rağmen bu farkın istatistiksel olarak anlamlı bulunamamış olmasının birkaç nedeni olabilir. Öncelikle sınırlı

denek sayısı (grup başına 6 adet) istatistiksel olarak anlamlı olabilecek bir farkı göstermek açısından yeterli olmamış olabilir. Bir diğer neden ise gruplar içerisindeki standart sapma (SD) değerlerinin iyileşme sonrası modelinde tüm gruplar için 60 N gibi çok yüksek değerlerde olması (ortalama değerin yaklaşık %30'u) olabilir.

El fleksör tendonları gibi intrasinovyal tendonların beslenmeleri diğer yumuşak doku elemanlarına göre daha kısıtlıdır. El fleksör tendonlarının özellikle makaralar altında kalan bölümleri ve tendonların volar tarafları hipovasküler bölgeler olarak saptanmışlardır.^{71, 72, 77} Fleksör tendonların beslenmesinde sinovyal sistemin önemi iyi bilinen bir gerçektir,^{83, 87, 90} dolayısıyla travma veya cerrahi onarım gibi sinovyal sistemin bozulduğu durumlarda tendon dolaşımı ve canlılığı kritik düzeyde olumsuz etkilenecektir.⁸⁶ Kullanılan onarım tekniği ile ilgili dikkat edilmesi gereken nokta travmaya uğrayarak zaten dolaşımı olumsuz etkilenen tendonun atılan sütürlerle tamamen beslenmesinin bozulduğu bir duruma getirilmemesidir. Yapılan diseksiyon da dikkatli yapılmalı, gereğinden fazla genişletilerek vinküler sistem tamamıyla bozulmamalıdır.

Çoklu merkezi dikiş kullanılarak yapılan onarımlar zaman zaman araştırmacılar tarafından dolaşımı olumsuz etkilediği öne sürülerek eleştirilmiştir. Benzer eleştiriler kalın sütürlerle atılan derin epitendinöz sütürler için de yapılmıştır. Tendon onarımını takiben atılan sütür materyallerinin tendon üzerinde bir travma etkisi yarattığı gösterilmiştir.¹⁸¹ Atılan dikişin etrafında aselüler bir alan oluştuğu gösterilmiş; kullanılan dikiş materyali kalınlığı ve dikişin tendon içerisinde kavradığı bölgenin genişliğinin de tendonda oluşan bu avasküler bölgenin genişliği ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.¹⁸² Bu bilgiler ışığında 6 ve hatta 8 uzunlamasına bileşenli onarımlar söz konusu olduğunda tendon içerisinde daha geniş bir hasar alanı oluşma riski mevcuttur. Aynı şekilde kalın ve komplike epitendinöz sütür kullanılan tekniklerde tendon Travmatik hasarının daha fazla olacağı ve iyileşme sonuçlarının daha olumsuz olacağı öne sürülebilir.

Ancak çalışma sonuçlarımız değerlendirildiğinde iyileşme sonrası ölçümlerde 6 UB'li onarım tekniği kullanılan K-2 (T) grubunun veya daha kalın ve kilitli epitendinöz sütür tekniği kullanılan D grubunun iyileşme sonuçlarında yukarıdaki varsayımları destekleyecek bir bulguya rastlanmamıştır. Tüm gruplarda 8 haftalık iyileşme dönemi sonrasında oluşan gerilme kuvvetleri onarım anına göre daha yüksek olarak saptanmış, bir tekniğin diğerine oranla dolaşım veya iyileşmeyi bozduğunu düşündürecek anlamlı bir istatistiksel fark izlenmemiştir.

Dolayısıyla kalın ve karmaşık periferik sütürlerin onarım hattını sıkıştırıp dolaşımını boğarak iyileşmeyi bozduğu ile ilgili spekülasyonlar çalışmamızda elde edilen iyileşme sonrası ölçüm sonuçları ile uyuşmamaktadır. D grubunun iyileşme sonrası dönemde elde edilen sonuçları diğer iki gruba oranla onarım anı ölçümlerinde saptanan ortalama değerler açısından üstünlüğünü iyileşme sonrası döneme de taşınmıştır. Bu sonuç kalın ve kilitli periferik sütürlerin tendon iyileşmesini bozmadığına yönelik bir bulgudur. Atılan düğüm sayısının artması ile tendon onarımı sırasında tendonun maruz kaldığı travmanın arttığı belirtilmektedir. Her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı bulunamasa da tarafımızca D grubunda uygulanan teknikte K-1 (MK) grubu ile aynı, K-2 (T) grubundan ise 1 eksik düğüm kullanılmış olması da elde ettiğimiz ölçüm sonuçlarının bir nedeni olabilir.

Özet olarak 8 haftalık iyileşme sonrası yapılan ölçüm sonuçlarına göre kullanılan 3 tekniğin hiçbirinin (immobilizasyon modelinde) tendon iyileşmesi üzerine diğerlerine oranla olumlu veya olumsuz daha fazla etki gösterdiğini düşündürecek bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak onarım anı ölçümlerinde saptanan farklılıklar yaklaşık olarak korunmuştur. D grubu iyileşme sonrası ölçümleri K-1 (MK) grubuna göre, bu grup ise K-2 (T) grubuna göre ortalama ve ortanca değerler göz önüne alındığında daha yüksek bulunmuştur.

Çalışmada oluşturulan gruplardaki karşılaştırmanın daha objektif yapılabilmesi açısından K-1 ve D gruplarında olduğu gibi K-2 grubunda da çevresel dikişlerin kullanılması gerektiği savunulabilir. Ancak çalışmamızın amacı periferik dikişler arasındaki farklılığın standardize edilerek sadece merkezi dikiş güçlerini ölçmek ve karşılaştırmak olmamıştır. Çalışmada hedeflenen amaç ve oluşturulan hipotez tarafımızca geliştirilmiş olan yöntemimizin global olarak çok sık kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış farklı iki yönteme göre etkinliğinin araştırılması olmuştur. Bu nedenle K-1 grubunda konvansiyonel bir basit devamlı periferik sütürle desteklenen Modifiye Kessler yöntemi tercih edilmiş; K-2 grubunda ise 6 UB'li onarımlar arasında belki de en sık kullanılan Tang yöntemi tercih edilmiştir. K-2 grubunda epitendinöz sütür kullanılmamasının nedeni ise daha önce bahsedildiği gibi çoklu merkezi dikiş kullanıldığında periferik sütür kullanımının gereksiz olduğunun savunulması ve klinik uygulamada bazı klinisyen ve araştırmacıların epitendinöz sütür kullanımını terk etmeye başlamasıdır. Dolayısı ile K-2 (T) grubunda periferik dikiş kullanılmaması ve sonuçların bu grubun aleyhine saptanması, epitendinöz onarımın tendon onarımının vazgeçilmez bir parçası olduğunu göstermesi açısından doğru bir karar olduğunu göstermektedir. Zira çalışmadaki amacımız çalışma sonuçlarının klinik pratik uygulamaya adapte edilebilir nitelikte olması yönündedir.

Çalışmamızın bir kısıtlılığı kullanılan tekniklerin sonuçlarının histopatolojik düzeyde değerlendirilmemiş olmasıdır. Bunun nedeni gruplardaki denek sayıları göz önüne alındığında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilebilmesi için optimal sayıda denek kullanılmış; deneklerin sağ aşıl tendonları iyileşme modelini, sol aşıl tendonları ise onarım sonrası modelini biyomekanik olarak değerlendirmek üzere kullanılmış olmasıdır. Çalışmamızın bulgularının histolojik kesitler kullanılarak desteklenmesi amacı ile benzer deney modeli ile tasarlanmış, ancak biyomekanik değerlendirme yerine histopatolojik değerlendirme yapılacak yeni deneysel çalışmaların yapılması uygun olabilir.

Deneysel çalışmamızın bir diğer kısıtlılığı deneklere yapılan operasyon sonrasında sirküler alçı kullanılarak immobilizasyon modelinin kullanılmış olmasıdır. Tüm denekler 8 haftalık izlem döneminde sirküler alçılarla talip edildiğinden kullanılan tekniklerin erken aktif ve pasif egzersiz programları ile uyumlarını değerlendirmekte yetersiz kalmış olabilir. Erken pasif ve aktif egzersiz programlarının tendon iyileşmesi üzerindeki olumlu etkisi bilinmektedir. Ancak farklı onarım tekniklerinin bu egzersiz programları ile uyumu ve toplam gerilme kuvvetlerinin yeterliliğinin değerlendirilmesi ve birbirleri ile istatistiksel karşılaştırmasının yapılabilmesi çalışma sonuçlarına önemli bir değer katabilecektir. Ancak tavşan modelinde kullanılan aşıl tendonu tavşanların günlük aktivite sırasında en çok kullandığı, ciddi yüklere maruz kalan bir tendondur. Bu nedenle tavşanların onarım sonrasındaki erken dönemde rüptür riski yüksek olduğundan immobilizasyon modeli seçilmiştir. Çalışma sırasında K-2 grubu deneklerinden birinin postoperatif 6. günde alçısını kemirerek çıkarması sonrası bu denek çalışmadan çıkarılmıştır. Sonrasında yapılan muayenede rüptürden şüphelenilen deneğin sakrifikasyon sonrasında onarılan tendonunun tamamen rüptüre olduğu görülmüştür. Bu da sirküler alçı kararımızı doğrulamıştır. Gelecekte postoperatif immobilizasyon gerekemeyen bir model tasarlanarak bu tekniklerin erken aktif egzersiz sonucu iyileşme sonuçlarının değerlendirilebileceği bir çalışmanın tasarlanması bilimsel açıdan değerli olabilir.

Tavşan aşıl tendonları insan fleksör tendon boyutları ile gösterdiği benzerlik nedeni ile tendon çalışmaları için değerli bir model seçeneğidir. Kadavra modellerine göre iyileşme potansiyelinin değerlendirilmesine olanak sağlayan canlı bir model olması da önemli bir özelliktir. Ancak tüm benzerliklerine rağmen insan fleksör tendonları ile tavşan aşıl tendonları yapısal olarak aynı kabul edilemez. Tendon yapısı ve iyileşme kapasitelerinin arasındaki farklılıklar bazı sonuçların insan modeli ile aynı olmamasına sebep olabilir.

Bir diğer farklılık ise insan fleksör tendonlarının intrasinovyal yapıda olması, tavşan kalkaneal tendonunun ise paratenonla kaplı yapıda olmasıdır. Bu durum iyileşme mekanizma

ve kapasitesinde farklılıklar olduğundan çalışmamızın bir kısıtlılığı olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı onarım teknikleri kullanılarak tasarlanacak insan intrasinovyal tendonlarını değerlendiren bir çalışma dolayısı ile bilimsel açıdan altın standart olacaktır.

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 tekniklerden daha az etkin olmadığını, hatta birçok parametrede daha olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



6. SONUÇ

Bu deneysel çalışmada tarafımızca geliştirilen tendon onarım tekniğinin cerrahi pratikte yaygın olarak kullanılan diğer tekniklerle karşılaştırılması ve kantitatif etkinliğinin kanıtlanması amaçlanmıştır. Teknikler arasındaki farkların kantitatif değerlendirmesi kopma için gereken toplam gerilme kuvvetlerinin onarım sonrası ve iyileşme sonrası modellerde biyomekanik olarak ölçülmesi ile yapılmıştır. Ayrıca tekniklerin pratik uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi amacı ile onarım süreleri de kaydedilerek istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tarafımızca tanımlanan ve deney grubunda kullanılan tekniğe ait biyomekanik veriler istatistiki olarak K-1 ve K-2 gruplarından elde edilen verilere göre anlamlı şekilde daha yüksek olarak saptanmıştır. Dolayısıyla tarafımızca geliştirilen teknik hem basit devamlı epitendinöz sütürle desteklenen Modifiye Kessler yönteminden hem de Tang yönteminden daha yüksek toplam gerilme kuvvetine sahip olduğu gösterilmiştir.

Kullanılan tekniklerin iyileşen tendon üzerindeki etkilerinin araştırılması amacı ile ölçümler üç teknik için de hem onarım anında hem de 8 haftalık (56 gün) iyileşme dönemi sonrasında yapılmıştır. Onarım anında yapılan ölçümlerde elde edilen verilerle benzer olacak şekilde deney grubunda elde edilen toplam gerilme kuvveti değerlerinin kontrol gruplarının her ikisinden de elde edilen verilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar tekniğimizin iyileşme dönemindeki tendon üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığını; onarım sonrasında yapılan ölçümlerde gösterdiği üstünlüğü iyileşme döneminde de koruduğunu göstermiştir.

Deneklerde yapılan tendon onarımlarının cerrahi süreleri de tekniklerin her birinin pratikteki uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi açısından kaydedilmiş ve istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm gruplarda yapılan sütür bağlamalarında eşit sayıda düğüm atımı yapılarak bağlama başına atılan düğüm sayısı standardize edilmiştir. Yapılan analizde onarım boyunca tek bir sütür kullanılarak 2 sütür bağlaması kullanılan deney grubunun süresi; hem 2 farklı sütür kullanılarak 3 sütür bağlaması yapılan Modifiye Kessler tekniğinden (1. Kontrol grubu), hem de 3 farklı sütür kullanılarak 3 sütür bağlanması yapılan Tang tekniğinden (2. Kontrol grubu) istatistiksel olarak anlamlı derecede daha kısa olarak bulunmuştur.

Sonuçta tarafımızca geliştirilen ve bu çalışmanın deney grubunda kullanılan tekniğin onarım anında ve iyileşme sonrasında hem Modifiye Kessler yönteminden hem de Tang yönteminden daha yüksek gerilme kuvveti oluşturmakta olduğu saptanmıştır. Bu tekniğin

aynı zamanda uygulama kolaylığı ve uygulanma hızı açısından diğer tekniklere göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.



KAYNAKLAR

1. Su BW, Solomons M, Barrow A, Senoge ME, Gilberti M, Lubbers L, et al. Device for zone-II flexor tendon repair. A multicenter, randomized, blinded, clinical trial. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2005;87(5):923-35.
2. Wieskötter B, Herbort M, Langer M, Raschke MJ, Wähnert D. The impact of different peripheral suture techniques on the biomechanical stability in flexor tendon repair. Archives of orthopaedic and trauma surgery. 2018;138(1):139-45.
3. Rawson S, Cartmell S, Wong J. Suture techniques for tendon repair; a comparative review. Muscles Ligaments Tendons J. 2013;3(3):220-8.
4. Dogramaci Y, Kalaci A, Sevinç TT, Esen E, Komurcu M, Yanat AN. 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 (New York, NY). 2008;3(3):266-70.
5. Kozono N, Okada T, Takeuchi N, Shimoto T, Higaki H, Nakashima Y. A Biomechanical Comparison Between Asymmetric Pennington Technique and Conventional Core Suture Techniques: 6-Strand Flexor Tendon Repair. J Hand Surg Am. 2018;43(1):79.e1-.e8.
6. Manske PR. History of flexor tendon repair. Hand clinics. 2005;21(2):123-7.
7. Gratz C. The history of tendon suture. Med J Rec. 1928;127:156-7.
8. Mason ML, Shearon CG. The Process Of Tendon Repair: An Experimental Study Of Tendon Suture And Tendon Graft. Archives of Surgery. 1932;25(4):615-92.
9. Hueck H. Ueber Sehnenregeneration innerhalb echter Sehnenscheiden. Archiv Fuer Klinische Chirurgie. 1923;127:137-64.
10. Salomon A. Klinische und experimentelle Untersuchungen über Heilung von Sehnenverletzungen, insbesondere innerhalb der Sehnenscheiden. Langenbecks Arch Klin Chir. 1924;129:397-430.
11. Bunnell S. Repair of tendons in the fingers. Surg Gynecol Obstet. 1922;35:88-97.
12. Garlock JH. Repair of wounds of the flexor tendons of the hand. Annals of surgery. 1926;83(1):111.
13. Bunnell S. Surgery of the Hand. Philadelphia and Montreal. JB Lippincott Company; 1948.
14. Bunnell S. Primary repair of severed tendons the use of stainless steel wire. The American Journal of Surgery. 1940;47(2):502-16.

15. Mason ML. Primary and secondary tendon suture. A discussion of the significance of technique in tendon surgery. *Surg Gynecol Obstet*. 1940;70:392-402.
16. Boyes J. Immediate vs delayed repair of the digital flexor tendons. *Annals of western medicine and surgery*. 1947;1(4):145-52.
17. Van't Hof A, Heiple KG. Flexor-Tendon Injuries of the Fingers and Thumb: A Comparative Study. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 1958;40(2):256-322.
18. Edwards D. The blood supply and lymphatic drainage of tendons. *Journal of Anatomy*. 1946;80(Pt 3):147.
19. Peacock Jr E. Fundamental aspects of wound healing relating to the restoration of gliding function after tendon repair. *Surgery, gynecology & obstetrics*. 1964;119:241.
20. Peacock Jr EE. Biological principles in the healing of long tendons. *Surgical Clinics of North America*. 1965;45(2):461-76.
21. Peacock E, Vanwinkle W. Repair of tendons and restoration of gliding function. *Surgical Clinics of North America*. 1984:263-331.
22. Potenza AD. Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog: an experimental study. *JBJS*. 1962;44(1):49-64.
23. Potenza AD. Effect of associated trauma on healing of divided tendons. *Journal of Trauma Acute Care Surgery*. 1962;2(2):175-84.
24. Potenza AD. Critical evaluation of flexor-tendon healing and adhesion formation within artificial digital sheaths: an experimental study. *JBJS*. 1963;45(6):1217-33.
25. Kleinert H. Primary repair of lacerated flexor tendons in "no man's land". *J Bone Joint Surg A*. 1967;49:577.
26. Lindsay WK, Thomson HG. Digital flexor tendons: An experimental study: Part I. The significance of each component of the flexor mechanism in tendon healing. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 1959;12:289-316.
27. Lindsay WK, Thomson HG, Walker FG. 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;13:1-9.
28. Lundborg G, Rank F. Experimental studies on cellular mechanisms involved in healing of animal and human flexor tendon in synovial environment. *Hand*. 1980(1):3-11.
29. Katsumi M, Tajima T. Experimental investigation of healing process of tendons with or without synovial coverage in or outside of synovial cavity. *J Niigata Med Assoc*. 1981;95:532-67.

30. Manske PR, Gelberman R, Vande JB, Lesker P. Intrinsic flexor-tendon repair. A morphological study in vitro. *The Journal of bone joint surgery American volume*. 1984;66(3):385-96.
31. Titan AL, Foster DS, Chang J, Longaker MTJP, Surgery R. Flexor Tendon: Development, Healing, Adhesion Formation, and Contributing Growth Factors. 2019;144(4):639e-47e.
32. Tonegawa A, Funayama N, Ueno N, Takahashi Y. Mesodermal subdivision along the mediolateral axis in chicken controlled by different concentrations of BMP-4. *Development*. 1997;124(10):1975-84.
33. Titan AL, Foster DS, Chang J, Longaker MT. Flexor Tendon: Development, Healing, Adhesion Formation, and Contributing Growth Factors. *Plastic and reconstructive surgery*. 2019;144(4):639e-47e.
34. Dahners LE. Growth and Development of Tendons. In: Maffulli N, Renström P, Leadbetter WB, editors. *Tendon Injuries: Basic Science and Clinical Medicine*. London: Springer London; 2005. p. 22-4.
35. Kieny M, Chevallier A. Autonomy of tendon development in the embryonic chick wing. *Development*. 1979;49(1):153-65.
36. Ingelmark BE. The Structure Of Tendons At Various Ages And Under Different Functional Conditions. *Cells Tissues Organs*. 1948;6(3):193-225.
37. Jozsa L, Balint J. Examination of the constitution and configuration of the human tendons. II. Development of the tendinous structure during the individual life. *Magyar Traumatologia Orthopaedia es Helyreallito Sebeszet*. 1977;20(1):57-61.
38. Ippolito E, Natali PG, Postacchini F, Accinni L, De CM. Morphological, immunochemical, and biochemical study of rabbit achilles tendon at various ages. *The Journal of bone joint surgery American volume*. 1980;62(4):583-98.
39. Gaut L, Duprez D. Tendon development and diseases. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*. 2016;5(1):5-23.
40. Fedarko NS. Osteoblast/osteoclast development and function in osteogenesis imperfecta. *Osteogenesis Imperfecta*: Elsevier; 2014. p. 45-56.
41. Shukunami C, Takimoto A, Oro M, Hiraki Y. Scleraxis positively regulates the expression of tenomodulin, a differentiation marker of tenocytes. *Developmental biology*. 2006;298(1):234-47.

42. Guerquin M-J, Charvet B, Nourissat G, Havis E, Ronsin O, Bonnin M-A, et al. Transcription factor EGR1 directs tendon differentiation and promotes tendon repair. *The Journal of clinical investigation*. 2013;123(8).
43. Ito Y, Toriuchi N, Yoshitaka T, Ueno-Kudoh H, Sato T, Yokoyama S, et al. The Mohawk homeobox gene is a critical regulator of tendon differentiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010;107(23):10538-42.
44. Franchi M, Trirè A, Quaranta M, Orsini E, Ottani V. Collagen structure of tendon relates to function. *The Scientific World Journal*. 2007;7:404-20.
45. Lim WL, Liao LL, Ng MH, Chowdhury SR, Law JX. Current Progress in Tendon and Ligament Tissue Engineering. *Tissue Engineering Regenerative Medicine*. 2019:1-23.
46. Kannus P. Structure of the tendon connective tissue. *Scandinavian journal of medicine science in sports*. 2000;10(6):312-20.
47. Buschmann J, Bürgisser GM. Biomechanics of tendons and ligaments: tissue reconstruction and regeneration: Woodhead Publishing; 2017. 9 p.
48. Józsa L, Lehto M, Kvist M, Bálint JB, Reffy AJM. Alterations in dry mass content of collagen fibers in degenerative tendinopathy and tendon-rupture. 1989;9(2):140-6.
49. Robi K, Jakob N, Matevz K, Matjaz V. The physiology of sports injuries and repair processes. *Current issues in sports exercise medicine*. 2013:43-86.
50. Kirkendall D, Garrett W. Function and biomechanics of tendons. *Scandinavian journal of medicine science in sports*. 1997;7(2):62-6.
51. Sharma P, Maffulli N. Biology of tendon injury: healing, modeling and remodeling. *Journal of musculoskeletal neuronal interactions*. 2006;6(2):181.
52. Frank HN. *Netter Atlas of Human Anatomy* 6th Ed 2014. Elsevier; 2014. p. 450.
53. Rayan GM, Akelman E. *The hand: anatomy, examination, and diagnosis*: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
54. Yousef J, Anthony S. Flexor Tendon Injuries. *Essentials of Hand Surgery*: IntechOpen London; 2018. p. 21-33.
55. 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.
56. Seiler JG, 3rd. Flexor Tendon Injury. In: Wolfe SW, Pederson WC, Hotchkiss RN, Kozin SH, Cohen MS, editors. *Green's Operative Hand Surgery*. 1: Elsevier Health Sciences; 2016. p. 186.

57. Schöffl V, Heid A, Küpper T. Tendon injuries of the hand. *World Journal of orthopedics*. 2012;3(6):62.
58. Manske PR, Lesker PA. Palmar aponeurosis pulley. *Journal of Hand Surgery*. 1983;8(3):259-63.
59. Doyle JR. Anatomy of the finger flexor tendon sheath and pulley system. *The Journal of hand surgery*. 1988;13(4):473-84.
60. Zafonte B, Rendulic D, Szabo RM. Flexor pulley system: anatomy, injury, and management. *The Journal of hand surgery*. 2014;39(12):2525-32.
61. Mitsionis G, Bastidas JA, Grewal R, Pfaeffle HJ, Fischer KJ, Tomaino MM. Feasibility of partial A2 and A4 pulley excision: effect on finger flexor tendon biomechanics. *The Journal of hand surgery*. 1999;24(2):310-4.
62. Mitsionis G, Fischer K, Bastidas J, Grewal R, Pfaeffle H, Tomaino M. Feasibility of partial A2 and A4 pulley excision: residual pulley strength. *Journal of Hand Surgery*. 2000;25(1):90-4.
63. Tomaino M, Mitsionis G, Bastidas J, Grewal R, Pfaeffle J. The effect of partial excision of the A2 and A4 pulleys on the biomechanics of finger flexion. *Journal of Hand Surgery*. 1998;23(1):50-2.
64. Mayer L. The physiological method of tendon transplantation. *Surg Gynecol Obstet*. 1916;22:182.
65. Brockis J. The blood supply of the flexor and extensor tendons of the fingers in man. *The Journal of bone joint surgery British volume*. 1953;35(1):131-8.
66. Peacock Jr EE. A study of the circulation in normal tendons and healing grafts. *Annals of surgery*. 1959;149(3):415.
67. Nichols HM, Lehman W, Meek EC. Alteration of the blood supply of flexor tendons following injury. *The American Journal of Surgery*. 1954;87(3):379-83.
68. Smith JW. Blood Supply of Tendons. *Am J Surg*. 1965;109:272-6.
69. Colville J, Callison JR, White WL. Role of mesotenon in tendon blood supply. *Plastic and reconstructive surgery*. 1969;43(1):53-60.
70. Schatzker J, Brånemark P-I. Intravital observation on the microvascular anatomy and microcirculation of the tendon. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1969;40(sup126):1-42.
71. Lundborg G. The microcirculation in rabbit tendon: In vivo studies after mobilisation and transection. *The Hand*. 1975;7(1):1-10.

72. Zhang Z, Zhong S, Sun B, Ho G. Blood supply of the flexor digital tendon in the hand and its clinical significance. *Surgical Radiologic Anatomy*. 1990;12(2):113-7.
73. Peacock EE. Some problems in flexor tendon healing. *Surgery*. 1959;45(3):415-23.
74. Kleinert H, Kutz J, Atasoy E, Stormo A. Primary repair of flexor tendons. *The Orthopedic Clinics of North America*. 1973;4(4):865.
75. Boyes J. *Bunnell's Surgery of the hand*. (rev). Lippincott Co., Philadelphia; 1964.
76. Mayer L. Anatomy and physiology of tendons. *The Cyclopedia of Medicine, Surgery, Specialities*. 13:713-26.
77. Lundborg G. The vascularization of the human flexor pollicis longus tendon. *Hand*. 1979(1):28-33.
78. Ochiai N, Matsui T, Miyaji N, Merklin RJ, Hunter JM. Vascular anatomy of flexor tendons. I. Vincular system and blood supply of the profundus tendon in the digital sheath. *Journal of Hand Surgery*. 1979;4(4):321-30.
79. Manske PR, Whiteside LA, Lesker PA. Nutrient pathways to flexor tendons using hydrogen washout technique. *The Journal of hand surgery*. 1978;3(1):32-6.
80. Lundborg GJH. The vascularization of the human flexor pollicis longus tendon. 1979(1):28-33.
81. Armenta E, Fisher J. Anatomy of flexor pollicis longus vinculum system. *The Journal of hand surgery*. 1984;9(2):210-2.
82. Hergenroeder PT, Gelberman RH, Akeson WH. The vascularity of the flexor pollicis longus tendon. *Clinical Orthopaedics Related Research*. 1982(162):298-303.
83. Cohen MJ, Kaplan L. Histology and ultrastructure of the human flexor tendon sheath. *The Journal of hand surgery*. 1987;12(1):25-9.
84. Arai H. *Die Blutgefäße der Sehnen*: JF Bergmann; 1907.
85. Weber E, Hardin G, Haynes D, editors. *Synovial fluid nutrition of flexor tendons*. Orthop Res Soc; 1979.
86. Strickland J. *Green's operative hand surgery-Flexor tendons-acute injuries* 1999. 1851-97 p.
87. Lundborg G, Hansson H-A, Rank F, Rydevik B. Superficial repair of severed flexor tendons in synovial environment: an experimental, ultrastructural study on cellular mechanisms. *The Journal of hand surgery*. 1980;5(5):451-61.
88. Lundborg G. *The nutrition of flexor tendons*. The Hand Philadelphia: WB Saunders Comp. 1988:18.

89. Manske P, Lesker P. Flexor tendon nutrition. *Hand clinics*. 1985;1(1):13-24.
90. Chaplin D. The vascular anatomy within normal tendons, divided tendons, free tendon grafts and pedicle tendon grafts in rabbits: a microradioangiographic study. *The Journal of bone joint surgery British volume*. 1973;55(2):369-89.
91. Gambier R, Asvazadurian A, Venturini G. Research on Vascularization of the Tendons. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur*. 1962;48:225.
92. Kleinert HE, Verdan C. Report of the Committee on Tendon Injuries (International Federation of Societies for Surgery of the Hand). *The Journal of hand surgery*. 1983;8(5 Pt 2):794-8.
93. Moiemien N, Elliot D. Primary flexor tendon repair in zone 1. *Journal of Hand Surgery*. 2000;25(1):78-84.
94. Tang J. Flexor tendon repair in zone 2C. *The Journal of Hand Surgery: British European Volume*. 1994;19(1):72-5.
95. Schäfer W, Hohbach JR. [Primary treatment of flexor tendon injuries]. *Der Unfallchirurg*. 2020;123(2):89-96.
96. O'Brien M. The anatomy of the Achilles tendon. *Foot ankle clinics*. 2005;10(2):225-38.
97. Williams SK, Brage M. Heel pain-plantar fasciitis and Achilles enthesopathy. *Clinics in sports medicine*. 2004;23(1):123.
98. Palastanga N, Field D, Soames R. *Anatomy and human movement: structure and function*: Elsevier Health Sciences; 2006.
99. Wilder RP, Sethi S. Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clinics in sports medicine*. 2004;23(1):55-81.
100. O'Brien M. Functional anatomy and physiology of tendons. *Clinics in sports medicine*. 1992;11(3):505-20.
101. Barfred T. Experimental rupture of the Achilles tendon: comparison of various types of experimental rupture in rats. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1971;42(6):528-43.
102. Benjamin M, Evans EJ, Copp L. The histology of tendon attachments to bone in man. *Journal of anatomy*. 1986;149:89.
103. Józsa LG. Human tendons: anatomy, physiology and pathology. *Human Kinetics*. 1997.
104. Kvist M. Achilles tendon overuse injuries: a clinical and pathophysiological study in athletes with special reference to Achilles paratenonitis. 1991.
105. Kvist M. Achilles tendon injuries in athletes. *Sports Medicine*. 1994;18(3):173-201.

106. Jones FW. Structure and Function as Seen in the Foot: Bailliere, Tindall and Cox; 1944.
107. Allenmark C. Partial Achilles tendon tears. Clinics in sports medicine. 1992;11(4):759.
108. Williams J. Achilles tendon lesions in sport. Sports Medicine. 1986;3(2):114-35.
109. Kvist M, Jóazsa L, Järvinen MJ, Kvist H. Chronic Achilles paratenonitis in athletes: a histological and histochemical study. Pathology. 1987;19(1):1-11.
110. Romanelli DA, Almekinders LC, Mandelbaum BR. Achilles rupture in the athlete: Current science and treatment. Sports Medicine Arthroscopy Review. 2000;8(4):377-86.
111. David L, Grood ES, Noyes FR, Zernicke RE. Biomechanics of ligaments and tendons. Exercise sport sciences reviews. 1978;6(1):125-82.
112. Zantop T, Tillmann B, Petersen W. Quantitative assessment of blood vessels of the human Achilles tendon: an immunohistochemical cadaver study. Archives of orthopaedic trauma surgery. 2003;123(9):501-4.
113. Ahmed I, Lagopoulos M, McConnell P, Soames R, Sefton G. Blood supply of the Achilles tendon. Journal of orthopaedic research. 1998;16(5):591-6.
114. Langberg H, Bülow J, Kjaer M. Blood flow in the peritendinous space of the human Achilles tendon during exercise. Acta physiologica scandinavica. 1998;163(2):149-53.
115. Åstroöm M, Westlin N. Blood flow in the human Achilles tendon assessed by laser Doppler flowmetry. Journal of orthopaedic research. 1994;12(2):246-52.
116. Skalec A, Janeczek M, Czerski A. Anatomy and histology of the rabbit common calcanean tendon. Anatomia, histologia, embryologia. 2019;48(5):466-75.
117. Manske PR, Bridwell K, Lesker PA. Nutrient pathways to flexor tendons of chickens using tritiated praline. Journal of Hand Surgery. 1978;3(4):352-7.
118. Manske PR, Bridwell K, Whiteside L, Lesker PA. Nutrition of flexor tendons in monkeys. Clinical orthopaedics related research. 1978(136):294-8.
119. Manske PR, Lesker PA. Comparative nutrient pathways to the flexor profundus tendons in zone II of various experimental animals. Journal of Surgical Research. 1983;34(1):83-93.
120. Manske PR, Lesker PA. Nutrient pathways of flexor tendons in primates. The Journal of hand surgery. 1982;7(5):436-44.
121. Matthews P, Richards H. The repair potential of digital flexor tendons. An experimental study. J Bone Joint Surg Br. 1974;56-B(4):618-25.
122. Lundborg G, Rank F, Heinau B. Intrinsic tendon healing: A new experimental model. Scandinavian journal of plastic reconstructive surgery. 1985;19(2):113-7.

123. Strickland JW. Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. *Journal of Hand Surgery*. 2000;25(2):214-35.
124. Gelberman R, Amiel D, Gonsalves M, Woo S, Akeson W. The influence of protected passive mobilization on the healing of flexor tendons: a biochemical and microangiography study. *Hand*. 1981(2):120-8.
125. Woo SL, Gelberman RH, Cobb NG, Amiel D, Lothringer K, Akeson WH. The importance of controlled passive mobilization on flexor tendon healing: a biomechanical study. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1981;52(6):615-22.
126. Boyer MI, Watson JT, Lou J, Manske PR, Gelberman RH, Cai SR. Quantitative variation in vascular endothelial growth factor mRNA expression during early flexor tendon healing: an investigation in a canine model. *Journal of Orthopaedic Research*. 2001;19(5):869-72.
127. Gelberman RH, Amiel D, Harwood F. Genetic expression for type I procollagen in the early stages of flexor tendon healing. *The Journal of hand surgery*. 1992;17(3):551-8.
128. Rothman R, Slogoff S. The effect of immobilization on the vascular bed of tendon. *Surgery, gynecology, obstetrics*. 1967;124(5):1064-6.
129. Ketchum LD. Primary tendon healing: a review. *The Journal of hand surgery*. 1977;2(6):428-35.
130. Gelberman RH, Manske PR, Akeson WH, Woo SLY, Lundborg G, Amiel D. Flexor tendon repair. *Journal of Orthopaedic Research*. 1986;4(1):119-28.
131. MacMillan M, Sheppard JE, Dell PC. An experimental flexor tendon repair in zone II that allows immediate postoperative mobilization. *Journal of Hand Surgery*. 1987;12(4):582-9.
132. Feehan LM, Beauchene JG. Early tensile properties of healing chicken flexor tendons: early controlled passive motion versus postoperative immobilization. *The Journal of hand surgery*. 1990;15(1):63-8.
133. Gelberman RH, Osterman A, Breen T, Dimick M, Woo S. Influences of the protected passive mobilization interval on flexor tendon healing. A prospective randomized clinical study. *Clinical orthopaedics related research*. 1991(264):189-96.
134. Takai S, Woo SLY, Horibe S, Tung DKL, Gelberman RH. The effects of frequency and duration of controlled passive mobilization on tendon healing. *Journal of Orthopaedic Research*. 1991;9(5):705-13.
135. Schuind F, Garcia-Elias M, Cooney III WP, An K-N. Flexor tendon forces: in vivo measurements. *The Journal of hand surgery*. 1992;17(2):291-8.

136. Tang JB, Zhang Y, Cao Y, Xie RG. Core suture purchase affects strength of tendon repairs. *The Journal of hand surgery*. 2005;30(6):1262-6.
137. Silfverskiöld K, May E, Törnvall A. Gap formation during controlled motion after flexor tendon repair in zone II: a prospective clinical study. *The Journal of hand surgery*. 1992;17(3):539-46.
138. McLarney E, Hoffman H, Wolfe SW. Biomechanical analysis of the cruciate four-strand flexor tendon repair. *The Journal of hand surgery*. 1999;24(2):295-301.
139. Wang B, Xie R, Tang J. Biomechanical analysis of a modification of Tang method of tendon repair. *Journal of Hand Surgery*. 2003;28(4):347-50.
140. Xie RG, Zhang S, Tang JB, Chen FJTJohs. Biomechanical studies of 3 different 6-strand flexor tendon repair techniques. 2002;27(4):621-7.
141. Cao Y, Zhu B, Xie RG, Tang JB. Influence of core suture purchase length on strength of four-strand tendon repairs. *The Journal of hand surgery*. 2006;31(1):107-12.
142. Tang JB. Indications, methods, postoperative motion and outcome evaluation of primary flexor tendon repairs in Zone 2. *Journal of Hand Surgery*. 2007;32(2):118-29.
143. Kim J, de Wit T, Hovius S, McGrouther DA, Walbeehm EJJoHS. What is the significance of tendon suture purchase? 2009;34(4):497-502.
144. Hotokezaka S, Manske PR. Differences between locking loops and grasping loops: effects on 2-strand core suture. *The Journal of hand surgery*. 1997;22(6):995-1003.
145. Miller B, Dodds SD, demars A, Zagoreas N, Waitayawinyu T, Trumble TE. Flexor tendon repairs: the impact of fiberwire on grasping and locking core sutures. *The Journal of hand surgery*. 2007;32(5):591-6.
146. Barrie KA, Tomak SL, Cholewicki J, Wolfe SW. 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):714-20.
147. Hatanaka H, Manske PR. Effect of suture size on locking and grasping flexor tendon repair techniques. *Clinical Orthopaedics Related Research*. 2000;375:267-74.
148. Xie RG, Xue HG, Gu JH, Tan J, Tang JB. Effects of locking area on strength of 2-and 4-strand locking tendon repairs. *The Journal of hand surgery*. 2005;30(3):455-60.
149. Taras JS, Raphael JS, Marczyk SC, Bauerle WB. Evaluation of suture caliber in flexor tendon repair. *The Journal of hand surgery*. 2001;26(6):1100-4.

150. Alavanja G, Dailey E, Mass DP. Repair of zone II flexor digitorum profundus lacerations using varying suture sizes: a comparative biomechanical study. *The Journal of hand surgery*. 2005;30(3):448-54.
151. Diao E, Hariharan JS, Soejima O, Lotz JC. Effect of peripheral suture depth on strength of tendon repairs. *The Journal of hand surgery*. 1996;21(2):234-9.
152. Sood M, Elliot D. A new technique of attachment of flexor tendons to the distal phalanx without a button tie-over. *Journal of Hand Surgery*. 1996;21(5):629-32.
153. Tang JB, Xu Y, Wang B. Repair strength of tendons of varying gliding curvature: a study in a curvilinear model. *The Journal of hand surgery*. 2003;28(2):243-9.
154. Tang JB, Cao Y, Xie RG. Effects of tension direction on strength of tendon repair. *The Journal of hand surgery*. 2001;26(6):1105-10.
155. Barrie KA, Tomak SL, Cholewicki J, Merrell GA, Wolfe SW. Effect of suture locking and suture caliber on fatigue strength of flexor tendon repairs. *The Journal of hand surgery*. 2001;26(2):340-6.
156. Tang JB. Flexor tendon injuries. *Clinics in plastic surgery*. 2019;46:295-306.
157. Tang JB, Zhou X, Pan ZJ, Qing J, Gong KT, Chen J. Strong digital flexor tendon repair, extension-flexion test, and early active flexion: experience in 300 tendons. *Hand clinics*. 2017;33(3):455-63.
158. Tang JB, Cao Y, Wu YF, Wang GH. Effect of A2 pulley release on repaired tendon gliding resistance and rupture in a chicken model. *The Journal of hand surgery*. 2009;34(6):1080-7.
159. Tang JB, Xie RG. Effect of A3 pulley and adjacent sheath integrity on tendon excursion and bowstringing. *The journal of hand surgery*. 2001;26(5):855-61.
160. Ben IK, Elliot D. "Venting" or partial lateral release of the A2 and A4 pulleys after repair of zone 2 flexor tendon injuries. *Journal of Hand Surgery*. 1998;23(5):649-54.
161. Xie RG, Tang JB. Investigation of locking configurations for tendon repair. *The Journal of hand surgery*. 2005;30(3):461-5.
162. Jordan MC, Schmitt V, Jansen H, Meffert RH, Hoelscher-Doht S. Biomechanical Analysis of the Modified Kessler, Lahey, Adelaide, and Becker Sutures for Flexor Tendon Repair. *J Hand Surg Am*. 2015;40(9):1812-7.
163. Giesen T, Sirotakova M, Copsey A, Elliot D. Flexor pollicis longus primary repair: further experience with the tang technique and controlled active mobilization. *Journal of Hand Surgery*. 2009;34(6):758-61.

164. Cao Y, Tang JB. Strength of tendon repair decreases in the presence of an intact A2 pulley: biomechanical study in a chicken model. *The Journal of hand surgery*. 2009;34(10):1763-70.
165. Tang JB. Recent evolutions in flexor tendon repairs and rehabilitation. *Journal of Hand Surgery*. 2018;43(5):469-73.
166. Urbaniak J, editor *Tendon suturing methods, analysis of tensile strength*. AAOS symposium on tendon surgery in the hand; 1975: The CV Mosby Co.
167. Kubota H, Manske PR, Aoki M, Pruitt DL, Larson BJ. Effect of motion and tension on injured flexor tendons in chickens. *The Journal of hand surgery*. 1996;21(3):456-63.
168. Aoki M, Kubota H, Pruitt DL, Manske PR. Biomechanical and histologic characteristics of canine flexor tendon repair using early postoperative mobilization. *The Journal of hand surgery*. 1997;22(1):107-14.
169. Oryan A, Moshiri A, Meimandi-Parizi AH. Short and long terms healing of the experimentally transverse sectioned tendon in rabbits. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2012;4(1):14.
170. Severo AL, Arenhart R, Silveira D, Ávila AO, Berral FJ, Lemos MB, et al. Biomechanics And Histological Analysis In Rabbit Flexor Tendons Repaired Using Three Suture Techniques (Four And Six Strands) With Early Active Mobilization. *Revista brasileira de ortopedia*. 2012;47(1):92-101.
171. Wichelhaus A, Beyersdoerfer ST, Vollmar B, Mittlmeier T, Gierer P. Four-Strand Core Suture Improves Flexor Tendon Repair Compared to Two-Strand Technique in a Rabbit Model. *BioMed Research International*. 2016;2016.
172. Hammerman M, Blomgran P, Ramstedt S, Aspenberg P. COX-2 inhibition impairs mechanical stimulation of early tendon healing in rats by reducing the response to microdamage. *Journal of applied physiology*. 2015;119(5):534-40.
173. Demirdover C, Ozturk F, Yazgan H, Yogurtcu N, Sevindik M, Vayvada H. Surgical treatment and functional outcomes of multicomponent soft tissue injuries of the wrist. *Hand surgery rehabilitation*. 2018;37(3):160-6.
174. Chen J, Zhou XJ, Ao O, Surgery T. Letter to editor: The impact of different peripheral suture techniques on the biomechanical stability in flexor tendon repair. 2018;138(7):1035-6.

175. Giesen T, Reissner L, Besmens I, Politikou O, Calcagni M. Flexor tendon repair in the hand with the M-Tang technique (without peripheral sutures), pulley division, and early active motion. *Journal of Hand Surgery*. 2018;43(5):474-9.
176. Tang JB, Wang B, Chen F, Pan CZ, Xie RG. Biomechanical evaluation of flexor tendon repair techniques. *Clinical Orthopaedics Related Research*®. 2001;386:252-9.
177. Tang JB. Flexor Tendon Injuries. *Clinics in plastic surgery*. 2019;46(3):295-306.
178. Moriya T, Zhao C, An K-N, Amadio PC. The effect of epitendinous suture technique on gliding resistance during cyclic motion after flexor tendon repair: a cadaveric study. *The Journal of hand surgery*. 2010;35(4):552-8.
179. Zhao C, Amadio PC, Zobitz ME, An KN. Gliding characteristics of tendon repair in canine flexor digitorum profundus tendons. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2001;19(4):580-6.
180. Zhao C, Amadio PC, Zobitz ME, Momose T, Couvreur P, An K-N. Gliding resistance after repair of partially lacerated human flexor digitorum profundus tendon in vitro. *Clinical Biomechanics*. 2001;16(8):696-701.
181. McDowell CL, Marqueen TJ, Yager D, Owen J, Wayne JS. Characterization of the tensile properties and histologic/biochemical changes in normal chicken tendon at the site of suture insertion. *The Journal of hand surgery*. 2002;27(4):605-14.
182. Wong J, Cerovac S, Ferguson M, McGrouther D. The cellular effect of a single interrupted suture on tendon. *Journal of Hand Surgery*. 2006;31(4):358-67.