T.C.

Dokuz Eylül Üniversitesi

TIP FAKÜLTESİ

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ A.B.D.

ÖN ÇAPRAZ BAĞ REKONSTRÜKSİYONU SIRASINDA TÜNEL DRİLLEME DEVİR HIZININ TÜNEL GENİŞLEMESİ VE GREFT İYİLEŞMESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

UZMANLIK TEZİ

Dr. JAMİL ALASOV

DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ

Prof. Dr. MEHMET ERDURAN

İZMİR-2023

İÇİNDEKİLER TABLOSU

TEŞEKKÜR 4

TABLOLAR LİSTESİ 5

RESİMLER LİSTESİ 6

KISALTMALAR 7

ÖZET 8

SUMMARY 9

1. GİRİŞ-AMAÇ 10

2. GENEL BİLGİLER 11

2.1. TARİHSEL SÜREÇ 11

2.2. ÖÇB EMBRİYOLOJİSİ 13

2.3. ÖÇB HİSTOLOJİSİ 13

2.4. ÖÇB İNNERVASYONU VE VASKÜLER DOLAŞIMI 14

2.5. ÖÇB ANATOMİSİ 14

2.6. DİZİN BİYOMEKANİĞİ 15

2.7. ÖÇB YARALANMA MEKANİZMASI 16

2.8. RİSK FAKTÖRLERİ 16

2.9. ÖYKÜ VE FİZİK MUAYENE 17

2.10. ÖÇB YARALANMALARININ TANIMI VE SINIFLAMASI 19

2.11. ÖÇB YIRTIKLARINDA GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ 19

2.11.1 KONVANSİYONEL RADYOGRAFİLER 19

2.11.2. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME 20

2.11.3. ULTRASONOGRAFİ 20

2.12. TEDAVİ SEÇENEKLERİ 21

2.12.1. KONSERVATİF TEDAVİ 22

2.12.2. CERRAHİ TEDAVİ SEÇİMİ 22

2.13. REKONSTRUKSİYON CERRAHİSİ 23

2.13.1. GREFT SEÇENEKLERİ 24

2.13.3. SENTETİK GREFTLER 25

2.14. GREFTİN ENTEGRASYONU 26

2.15. FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON 26

2.16. KOMPLİKASYONLAR 27

2.17. KEMİK TÜNEL GENİŞLEMESİNİN ETİYOLOJİSİ 30

2.17.1. BİYOLOJİK FAKTÖRLER 31
2.17.2. MEKANİK FAKTÖRLER 32
3. MATERYAL VE METOD 34
3.1. MATERYAL 34
3.2. METOD 34
3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER 37
4.BULGULAR 38
4.1 RADYOLOJİK BULGULAR 38
4.2 HİSTOLOJİK BULGULAR 42
5. TARTIŞMA 44
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 48
7. KAYNAKLAR 48

TEŞEKKÜR

Meşakkatli fakat zaman geçtikçe daha çok sevdiğim eğitim sürecimin sonuna gelmiş bulunmaktayım. Eğitim sürem boyunca sorular sorup vakaları tartıştığım, usta-çırak ilişkisi gibi el becerilerimi geliştiren başta danışman öğretim üyem Prof. Dr. Mehmet ERDURAN olmakla birlikte eğitimimde emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürlerimi borç bilirim. Gece-gündüz demeden rahatsız ettiğim, sadece benim değil bütün asistanların yardımına koşan, sabrı, karakteri, el becerisi ve daha saymadığım nice olumlu yönlerini örnek aldığım Dr. Öğr. Üyesi Onur GÜRSAN'a desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Bu beş yılda birlikte yol aldığım, iyi ve kötü anıları birlikte yaşadığım, aile fertlerimden daha çok gördüğüm bütün asistan arkadaşlarıma, ayrıca tez yazma sürecinde desteklerinden dolayı Mehmet SALIN ve Ala Z MUQAT'a teşekkür ederim.

Asistanlık yıllarımın çekilir kılmasına vesile olan, resmi işlerde daima desteğini gösteren, arkadaşım Saniye EKEŞ'e ve güler yüzlü, sabırlı sohbetlerinden keyif aldığım sekreter ekibine teşekkür ederim.

Hekimlik ekip işidir. Bu ekipte bana sabreden, desteklerini esirgemeyen ve kendilerinden çok şey öğrendiğim baş hemşire Özlem YAZIR'ın nezdinde tüm servis ve cerrahi hemşirelerine, Cavit KAYA ve Mehmet TAŞTAN'ın nezdinde bütün personel ekibine teşekkür ederim.

İzmir'e geldiğim ilk günden itibaren bana her daim manevi destekte bulunan, birlikte eğlendiğimiz, sohbetlerinden zevk aldığım dostum Serdar AYTAÇ 'a, öğrencilik yıllarımdan itibaren dertlerimi sıkılmadan dinleyen, her şeyimizi paylaştığımız can dostum Farid GURBANLI'ya desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Yaptıkları fedakarlıkları düşündükçe, karşılığını asla veremeyeceğim, benim bugünkü ben olmamı sağlayan, hayatımın her alanında destek olan annem İrade'ye ve dayım İlham'a, birlikte büyüdüğümüz manevi desteğini her zaman üzerimde hissettiğim, iyi niyetli yaklaşımı ile herkesin gönlünde taht kuran kardeşim İlahe'ye ve ailenin, dayanışmanın, akrabalığın ne olduğunu bana gösteren ve öğreten koca kalpli ABDULLAYEV ailesine teşekkür ederim.

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.: Tedavi edilmemiş ÖÇB rüptürünün doğal seyri.

Tablo 2. Ön Çapraz Bağ Rekonstrüksiyonunda Karşılaşılan Komplikasyonlar.

Tablo 3. Bungee effect ve Windshield wiper'a ait 'En Sık'lar tablosu.

Tablo 4. Grupların normal dağılım uygunluğu.

Tablo 5. Gruplar arası tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin karşılaştırılması.

Tablo 6. 400RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılması.

Tablo 7. 1500RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılması.

Tablo 8. 400RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması.

Tablo 9. 1500RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması.

Tablo 10.: Radyolojik ölçümler milimetre cinsinden gösterilmiştir.

Tablo 11.: Drill devir hızıyla kemik dokuda meydana gelen sıcaklık arasındaki ilişki. (Goran Augustin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan orijinal alıntıdır.)

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.: a, b, c, d pilot çalışmada kullanılan deney hayvanının sol dizinin perop farklı açılardan görüntüsü. e, f cerrahi işlem sonrası yara yerlerinin görüntüsü.

Resim 2. : Tünelin radyolojik görüntüsüne ait kesitler.

Resim 3.: H&E boyama sonuçları. A- 1500 RPM; B- 400 RPM; C- 1500 RPM. * kemik iliği içindeki tendon greft; #, kemik doku-tendon yapışma hattı. A1, B1, C1, 4x; A2, B2, C3, 10x; A3, B3, C3, 40x büyütme.

Resim 4.: Masson trichrome ve Alcian Blue boyama. A- 400 RPM; B- 1500 RPM; C- 1500 RPM. * fibroz doku. A1, B1, C1, 4x; A2, B2, C3, 10x; A3, B3, C3, 40x büyütme.

Resim 5.: A1, A2, A3 400 RPM grubu Active caspase-3 boyaması.

KISALTMALAR

ÖÇB : Ön çapraz bağ

AÇB : Arka çapraz bağ

RPM : Rotation per minute

M.Ö. : Milattan önce

mm : Milimetre

cm^2 : Santimetre kare

AM : Anteromedial

PL : Posterolateral

N : Newton

AMA : American Medical Association

AO : Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

MRG : Manyetik rezonans görüntüleme

USG : Ultrasonokrafik görüntüleme

AP : Anterior-posterior

BPTB : Bone Patellar Tendon Bone

DVT : Derin Ven Trombozu

IL : İnterlökin

PG : Prostaglandin

TNF-a : Tümör nekrozis faktör alfa

JB&JS : JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY

BAP : Bilimsel araştırma projesi

ÖZET

Amaç: Bu çalışmaya başlarken amacımız farklı devir hızlarında drilleme sonucu oluşan termal nekrozun tünel genişlemesi ve greft iyileşmesi üzerindeki etkilerini incelemek ve drilleme ile oluşan ve literatürde gösterilen termal nekrozun insan öçb rekonstrüksiyonunda kullanılan drill hızlarına benzer hızlarda oluşup oluşmayacağının tavşan modelinde gözlemlenmesiydi. İnsanlarda ÖÇB rekonstrüksiyonunda kullanılan mevcut drillerin devir hızlarına benzer devir hızları seçilerek, deney hayvanlarında greft iyileşmesi ve tünel genişlemesi araştırılarak, elde edilen sonuçlar ile bu ve benzeri çalışmalara kaynak sağlayarak literatüre katkıda bulunmayı planladık.

Hipotezimiz ise delici tipteki motorlar ile yapılan drilleme işlemi sırasında yüksek (1500 RPM) devir hızının termal nekroz riskini arttırması ve tünel genişlemesinde anlamlı fark yaratması idi.

Materyal-metot: 23/2021 Protokol No'lu Dokuz Eylül Üniversitesi Yerel Etik Kurulu onayı ile 1 adet pilot çalışmada ve 12 adet ana çalışmada kullanılmak üzere erişkin, dişi, ağırlıkları 3-3,5 kg olan Yeni Zelanda türü tavşan temin edildi. Çalışmamız Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Multidisipliner Deney Hayvanları Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Proje için BAP 'tan maddi destek alındı. Deney hayvanları randomize 400RPM ve 1500RPM gruplarına dağıtıldı. Medial parapatellar insizyon ile diz eklemine ulaşılıp, ÖÇB bistüri yardımıyla kesildi. Bağ izdüşümlerine anatomik pozisyonda 400RPM ve 1500RPM devir hızlarında künt uçlu drill ile tünel açıldı. Drilleme esnasında oda ısısındaki serum fizyolojik ile irrigasyon uygulandı. Cruristen alınan ekstensor tendon grefti tünelden geçirilerek fikse edildi. Cerrahi işlem sonrası fiksasyon uygulanmadı. 12 hafta sonra deney hayvanları sakrifiye edilerek micro-CT ölçümleri ve histolojik boyamaları yapıldı. Farklı fiksasyon tekniklerinin denenmesine rağmen histolojik materyallerin lam üzerinde fikse olmamasından dolayı histolojik incelemeler yapılamadı.

Bulgular: Elde edilen verilerin analizinde SPSS 24.0 istatistik analiz yazılımı kullanıldı. Shapiro-Wilk, t-Testi için istatistik anlamlılık karar değeri $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Tünel çaplarının farkı, 12 hafta sonra 400 ve 1500 RPM gruplarında tünel genişliğinin 2 mm matkap çapına göre değeri ölçülerek analiz edildi. Ölçümler normal dağılıma uygun ve homojen varyansa sahip oldukları için analizler parametrik testler ile yapıldı. Gruplar arası tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta, proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin karşılaştırılmasında anlamlı fark bulunmadı. 400RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta, proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında tibia proksimal ve femur distal bölgelerinde genişleme anlamlı bulundu, diğer bölgelerde genişleme değerinde anlamlı fark bulunmadı. 1500RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta, proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında tünel genişlemesi bakımından anlamlı fark bulunmadı, hatta anlamlı daralma mevcut idi. 400RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılmasında tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı. Tibia distal-femur proksimal grubunda anlamlı daralma gözlemlendi. 1500RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılmasında tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı.

Çıkarım: Cerrahi işlemlerde kullanılan drillerin düşük veya yüksek devir hızlarında drilleme esnasında oluşan ısı artışının termal nekroz oluşturarak tünel genişlemesinde sanıldığı kadar etkili olmayacağı kanaatindeyiz.

SUMMARY

Objective: Our aim at the beginning of this study was to examine the effects of thermal necrosis resulting from drilling at different rotational speeds on tunnel enlargement and graft healing and to observe whether thermal necrosis shown in the literature caused by drilling would occur at rates similar to the drill speeds used in human ACL reconstruction in the rabbit model. We planned to provide resources for similar studies with the results obtained and contribute to the literature by selecting similar rotation speeds to the current drills speed used in ACL reconstruction in humans, investigating graft healing and tunnel enlargement in the rabbit model.

Our hypothesis was that high (1500 RPM) rotational speed during drilling with motors increases the risk of thermal necrosis and creates a significant difference in tunnel enlargement.

Material-Method: With the approval (Protocol No. 23/2021) of the Dokuz Eylül University Local Ethics Committee, adult female New Zealand rabbits with a weight of 3-3.5 kg were obtained to be used in 1 pilot study and 12 main studies. Our study was carried out in Dokuz Eylul University Faculty of Medicine Multidisciplinary Experimental Animals Laboratory. Financial support was received from BAP for the project. Experimental animals were splited into 400RPM and 1500RPM groups. The knee joint was reached with a medial parapatellar incision and the ACL was cut with the help of a scalpel. Tunnels were opened to the ligament projections with a blunt drill at 400RPM and 1500RPM rotational speeds in the anatomical position. During the drill, irrigation was applied with saline at room temperature. The extensor tendon graft taken from the cruris was attached by passing through the tunnel. No fixation was applied after the ıısurgical procedure. After 12 weeks, the experimental animals were sacrificed and micro-CT measurements and histological staining were performed. Although different fixation techniques were tried, histological examinations could not be performed because the histological materials were not fixed on the slide.

Results: SPSS 24.0 statistical analysis software was used in the analysis of the obtained data. Statistical significance decision value for Shapiro-Wilk, t-Test was accepted as $p < 0.05$. The difference of the tunnel diameters were analyzed by measure the value of the tunnel width relative to the 2mm drill diameter in the 400 and 1500 RPM groups after 12 weeks. The analyzes were performed with parametric tests since the measurements were suitable for normal distribution and had homogeneous variance. No significant difference was found between the groups when comparing the radiological measurements of the distal, middle, proximal regions for the femur and the tibia. In the comparison of the radiological measurements of the distal, middle, proximal and femur distal, middle and proximal regions of the tibia in the 400RPM group with a 2mm diameter drill, enlargement was found to be significant in the tibia proximal and distal femur regions, but no significant difference was found in the enlargement value in

the other regions. In the 1500RPM group, when the radiological measurements of the distal, middle, proximal and femur distal, middle, and proximal regions were compared with a 2mm diameter drill, no significant difference was found in terms of tunnel enlargement, on the contrary there was significant narrowing. No significant difference was found in terms of tunnel enlargement in the comparison of within-group matches in the 400RPM group. Significant narrowing was observed in the tibia distal-femur proximal group. No significant difference was found in terms of tunnel enlargement in the comparison of within-group matches in the 1500RPM group.

Conclusion: We believe that the heat increase during drilling at low or high rotational speeds of the drills used in surgical procedures will not be as effective as expected in tunnel expansion by creating thermal necrosis.

1. GİRİŞ-AMAÇ

Ön çapraz bağ yaralanması dizdeki en yaygın bağ yaralanmasıdır. Birleşik Devletlerde yılda 130.000-200.000 rekonstrüksiyon ve dünya çapında 400.000 rekonstrüksiyon cerrahisi yapılmaktadır (1–3).Toplumun sportif faaliyetlere katılımının artması ile daha fazla insanın ÖÇB rüptürü olma olasılığı da günden güne artmaktadır. Artan bu sayı başarısız cerrahi girişimlerin sayısında artışları da beraberinde getirmiştir. Başarısızlık sebeplerinden birisi de tünel genişlemesine bağlı yetmezliktir. Bugüne kadar tünel genişlemesinin sebebine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sayısının çokluğuna rağmen, tünel genişlemesin etiyolojisi konusundaki belirsizlikler devam etmektedir. Araştırmacılar etyolojik nedenleri mekanik ve biyolojik faktörler olmak üzere iki ana başlıkta toplamışlardır (4,5). Biyolojik faktörlerden birisi de drilleme zamanı ısının etkisi ile oluşan termal nekrozdur (5–8). Literatür tarandığında el matkabından 100000RPM'e kadar olan motorlu matkaplar ile farklı devir hızına sahip in vitro, invivo hayvan deneyleri çalışmaları yapılmış olduğunu ve bu çalışmaların radyolojik ve histolojik olarak incelendiğini gördük.

Bu çalışmaya başlarken amacımız farklı devir hızlarında drilleme sonucu oluşan termal nekrozun tünel genişlemesi ve greft iyileşmesi üzerindeki etkilerini tavşan modelinde incelemek ve termal nekrozu oluşturacak devir hızını belirlemekti. İnsanlarda ÖÇB rekonstrüksiyonunda kullanılan mevcut drillerin devir hızlarına benzer devir hızları seçilerek, deney hayvanlarında greft iyileşmesi ve tünel genişlemesi araştırılarak, elde edilen sonuçlar bu ve benzeri çalışmalara kaynak sağlayarak literatüre katkıda bulunmayı planladık.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. TARİHSEL SÜREÇ

Ön çapraz bağ (ÖÇB) anatomisi ile ilgili bilinen en eski bilgilere ünlü Smith Papirüsünde M.Ö. 3000 yıllarında eski Mısır döneminde rastlanmıştır (9). Hipokrat yazıtlarında (M.Ö. 460-370) ÖÇB yaralanmalarından ligament patolojisi zemininde diz çıkığı şeklinde bahsetmiş olsa da ilk olarak Claudius Galen tarafından "ligamenta genu cruciate" olarak tanımlanmıştır. Galen ‘den önce çapraz bağların sinir sisteminin bir parçası olduğuna inanılmaktaysa da bağın eklemi destekleyen ve patolojik diz hareketini engelleyen bir yapı olduğunu ilk kez Galen belirtmiştir (9). 1836’da Göttingen’den Weber ve ark. ÖÇB kesildiğinde dizin anteriora doğru kaydığını gözlemiş, ÖÇB’nin dizin anteriora kaymasını engellediğini bildirmiş ve aynı zamanda ön çapraz bağ yapısını oluşturan lif demetlerini tarif ederek dizin farklı fleksiyon derecelerinde ÖÇB demetlerinin gerginliği hakkında bilgi vermiştir. 1845’te ÖÇB yaralanmasını ilk kez Fransız cerrah Amedee Bonnet "Traite de Therapeutiques" adlı kitabında yazmıştır. Dizde ön çapraz bağ yırtığı olan hastaların fizik muayenelerinde hemartroz ve tibianın öne subluksasyonunu gözlemlemiş ve hastaların kopma hissi tariflediğini kitabında belirtmiştir. 1850 yılına gelindiğinde ise James Stark kendi kitabında ÖÇB yırtıklarından bahsetmiştir (10). 1875’te Georges C. Noulis tarafından Lachman testi tanımlanmıştır. 1876’da Dittel yaptığı çalışmalarında Bonnet ile benzer şekilde ÖÇB yaralanmalarının çoğunun femoral yapışma yerinden olduğunu bulmuş ve yayımlamıştır. 1876’da Paul Segond tibia anterolateral kenarının avülsiyon kırığını tanımlamış ve buna kendi ismini vermiştir. Bu kırığın ÖÇB rüptürü için patognomonik olduğunu vurgulamıştır. 1900’de Battle ilk cerrahi ÖÇB onarımını yapmış ve sonucunun tatmin edici olduğu hakkında bilgi vermiştir (11). 1895 yılında Mayo Robson bir madenciye bilateral ÖÇB tanısı koyarak artrotomi yapmış ve her iki ligamentin de femoral yapışma yerlerinden ayrıldığını gözlemlemiştir. Catgut sütürler ile bağ onarım yapmış ve operasyon sonrası dizi bir ay alçıda tutmuş. Daha sonra alçıyı çıkararak masaj ile birlikte aşamalı olarak hareket başlamış. Ameliyattan 8 yıl sonra 1903’te hastanın dizinin “mükemmel derecede güçlü” olduğunu bildiren vaka yayımlamıştır (12). 1903 yılında Münih’ten Lange ÖÇB yerine semitendinosus tendonuna iliştirdiği örülmüş ipeği kullanmayı denemiş, fakat sonuç başarısız olmuştur (13). Bugün kullanılan tüm intraartiküler rekonstrüksiyon tekniklerinin temel yöntemi 1917 yılında Hey Groves tarafından gösterilmiştir. Hey Groves, distal saplı olarak tibial tünelden geçirdiği fascia lata ile ilk intraartiküler ön çapraz bağ rekonstrüksiyon olgusunu ve 1919’da ise

proksimal saplı olarak kullandığı fascia lata ile tamir ettiği 14 vakanın sonuçlarını bildirmiştir. 1920'de ÖÇB yetersizliği olan semptomatik dizlerde boşalma fenomenini tanımlamıştır. 1918'de Alwyn Smith ilk olarak pivot shift testini tarif etmiş, daha sonra ise başka bir makalesinde Hey Groves'in operasyon tekniğini değiştirerek medial kollateral bağı ve m.sartorius'un (sartorius kası) yapışma yerini anteriora transfer edip ekstrartiküler destek oluşturmuştur. Bu girişim sonuçlar başarısız olsa da tarihte ilk prostetik ÖÇB replasman girişimi olarak yerini almıştır (14). 1918'de Takagi diz eklemine bir sistoskop yardımı ile girerek inceleme-yapmıştır. 1919-1930 yıllarında artroskopinin keşfi ve gelişmesi ile bugünkü anlamında artroskopi ilk kez 1931 yılında Watanabe, Takagi, Takeda ve Ikeuchi tarafından uygulanmaya başlanmıştır. 1963'te Kenneth Jones santral 1/3 patellar tendonu (tibial tüberkül yapışma yerini koruyup, patella yapışma yerinden kemik blok çıkararak) kemik bloğuyla beraber blok kısmını femoral kondiler bölgeye transfer ederek ÖÇB rekonstrüksiyonu yaptı. Fakat sonuçlar olumlu değildi (15). 1976 yılında Johnson motorize intrartiküler aletleri geliştirmiş ve böylelikle sinovektomi ve menisektomi gibi artroskopik cerrahi işlemlerde yeni bir çağ başlamıştır (16). 1979'da Wok, ilk kez sentetik materyalleri kullanmış fakat uzun süren takip sonuçları olumsuz olmuştur. Dandy 1981'de ilk kez artroskopik rekonstrüksiyonu karbon fiber kullanarak tariflemiştir (17). 1982'de Clancy, ön çapraz bağ onarımında, bone-tendon-bone"(BTB) olarak isimlendirilen patellar tendon greftinin kemik bloklar halinde kullanılmasını önermiştir (18). 1982'de Lipscomb, Jones prosedürünün dizde ekstansör mekanizmada sorunlar ve eklem sertliği oluşturduğunu görmüş ve ilk hamstring tendon grefti kullanarak ÖÇB rekonstrüksiyonu yapmıştır. 1988'de ise Friedman artroskopik yöntemle dört kat hamstring otogrefti kullanarak ÖÇB tamiri yapmıştır (14). 1989 yılında Rosenberg ilk kez artroskopi destekli ÖÇB rekonstrüksiyonunda tek insizyon tekniğini başarılı bir şekilde uygulamıştır. 90'lı yıllarda kombine yöntemlerdeki geniş insizyonların sebep olduğu morbidite ve artroskopik yöntemlerin gelişmesi cerrahları sadece intraartiküler teknikleri kullanmaya yöneltmiş ve modern ÖÇB cerrahisinin temelleri atılmıştır (11).

2.2. ÖÇB EMBRİYOLOJİSİ

ÖÇB gestasyonun 6. haftasında, eklem boşluğu oluşmadan önce mezenkimal bir yoğunlaşma şeklinde blastomanın içinde görülmeye başlar (19). Diz eklemi ise embriyolojik gelişimin sekizinci haftasında femur ve tibianın mezenkimal kalıntıları arasındaki yarıktan gelişir. ÖÇB dizin posterior kapsülünden köken alan mezenter benzeri bir sinoviyal katlantı ile sarılır. Ve bu sebepten intra-artiküler yerleşimli olmasına rağmen ekstra-sinoviyaldir (20). 9. haftada çapraz bağlar, içerisinde fuziform nükleuslu çok sayıda immatür fibroblastların oluşturduğu tek bir yapı şeklinde görülürken 10. hafta civarında ayrılmaya başlar (18). 10. haftaya kadar çapraz bağlarda kan damarı görülmemektedir. 11.-14. haftalarda çapraz bağlar, çevre dokulardan özellikle yapışma yerleri daha belirgin olmakla farklılaşırlar ve bu sırada, çapraz bağları çevreleyen gevşek dokuda kan damarları oluşmaya başlar. 18. haftada çapraz bağlar tamamen izole olurlar (21). Gebeliğin 20. haftasında ön çapraz bağın morfolojisi yetişkin insanınkine çok benzer hal alır (21).

2.3. ÖÇB HİSTOLOJİSİ

ÖÇB düzenli bir dizilime sahip olup birbirine paralel olarak uzanan kollajen liflerden oluşmaktadır. %90 Tip 1 kollajen ve yaklaşık %10 civarında da Tip 3 kollajen vardır. Yapısında kollajene ek olarak fibroblast ve proteoglikandan oluşan ekstraselüler matriks içerir (22). 1-20 Mikron çapındaki kolajen lifleri birleşerek 100-250 mikron çapında subfasiküler üniteleri oluşturur ve etrafı endotenon adı verilen bağ dokusu ile çevrelenir. Endotenon ince ve gevrek yapıda bağ dokusudur. 3-20 adet subfasikül birleşerek kollajen fasiküllerini oluşturur. Fasiküllerin üzeri epitenon ile kaplıdır. Kollajen fasikülleri de birleşerek fibroblast ve ekstrasellüler matriks ile birlikte bağı meydana getirir. Bağın üzeri ise paratenon ile örtülmüş olup, etrafını sinovya kaplar ve onu ekstrasinovyal hale getirir (23). ÖÇB'nin histolojisinde önemli noktalardan birisi de 1 mm'den de kısa mesafede bağın kemiğe yapışma yeridir. Bu bölge geçiş zonu olarak adlandırılmaktadır. Cooper ve Misol bu geçiş zonunda dört farklı bölge tarif etmiştir. Sırası ile bağdan kemiğe doğru 1. Bölge kolajen lifleri, 2. Bölge kondrositten zengin fibrokartilaj, 3. Bölge mineralize fibrokartilaj ve 4. Bölge kemik matriksinden zengindir.

2.4. ÖÇB İNNERVASYONU VE VASKÜLER DOLAŞIMI

ÖÇB'nin innervasyonundan sorumlu asıl sinir N.Tibialisin terminal dallarından biri olan N.Articularis Posteriordur. Bu sinir popliteal fossadan eklem kapsülüne penetre olarak sinovial ve periligamentöz damarlar ile bağa ulaşır. N.Articularis Medialis ve Lateralis de bağın innervasyonuna katkı sağlamaktadır. Sinirde çok sayıda duyu reseptör sonlanmaları mevcuttur. Bunlara Ruffini, Paccini cisimcikleri, Golgi, nosiseptor gibi serbest sinir sonlanmaları aittir. Bu reseptörler kendine has özellikleri ile dizin propriosepsiyonundan sorumludurlar. ÖÇB'nin vaskülarizasyonundan sorumlu temel arter, orta geniküler arterin ligamentöz dallarıdır. Buna ek olarak inferomedial ve inferolateral genikular arterler de beslenmeye katkı sağlamaktadır. Orta ve inferior geniküler arterin dalları ÖÇB'nin çevresinde anostomoz yaparak sinoviyal bir ağ oluşturur. Bağ eşit şekilde beslenmez. Şöyle ki, proksimal kısmın kanlanması iyi iken, distaldeki fibrokartilaj kısımda arter yoktur (24,25).

2.5. ÖÇB ANATOMİSİ

Dizin dört ana stabilizör bağı mevcut. Bunlar: iç ve dış yan bağlar, ön ve arka çapraz bağlardır. ÖÇB boy, kilo, yaş, genetik, cinsiyet ve diğer faktörlere bağlı olmak üzere uzunluğu 25-41 mm, kalınlığı ise 7-12 mm arasında değişmektedir. Ortalama uzunluğu 35 mm, kalınlığı ise 10 mm olarak kabul edilir. Femurda ve tibiada yapışma yerlerinde kapladığı alan sırası ile 2-2,5 cm^2 ve 3 cm^2 dir. Liflerin yönü posterosuperiordan anteroinferiora, proksimalden distale ve lateralden mediale doğrudur. Bağ kendi etrafında dış rotasyon yaparak sarmal oluşturur (26). ÖÇB proksimalde lateral femoral kondilin medial yüzünün posterioruna olan yarım daireye benzer şekilde yapışır. Bu yarım dairenin düz kısmı anteriora bakmaktadır. ÖÇB origisunun anterior sınırını LFK (Lateral femoral kondil) medial yüzündeki kemik çıkıntı, yani lateral interkondiler sırt (resident ridge) oluşturur ve ÖÇB lifleri bu sırtın önüne yapışmaz. İnsersiyosu ise tibiada anterior sınırının yaklaşık 10-14 mm posteriorundan başlar, medial ve lateral tibial çıkıntılara kadar uzanır. Bu, interkondiler çukurdaki medial tibial tüberkülün önüne ve dış yanına denk gelmektedir (22). Sagittal planda 17 mm, koronal planda 11 mm çapındadır (27). Tibial yapışma yerini Amis ve ark. "ördek ayağı" örüntüsü olarak tanımlamıştır (22). ÖÇB tibial yapışma yerlerine göre anteromedial (AM) ve posterolateral (PL) demetlerden oluşmaktadır. AM demet 35 mm, PL demet ise 17-19 mm uzunluğunda olup çapları 11 mm'dir (9,24,28). AM band femurda diz ekstansiyonda proksimale, fleksiyonda posteriora, PL band ise

ekstansiyonda distale, fleksiyonda anteriora yapışır. Diz tam ekstansiyonda iken AM ve PL demet birbirine paraleldir ve bağda sarmal yoktur. PL demet tam ekstansiyona yakın en gergin halini alır. Diz fleksiyona getirilirken femoral roll-back (geriye kayma) yanı sıra femurun tibia üzerinde öne kaydığı görülür. AM demet yaklaşık 60°de en gergin halini alır. Diz 90° fleksiyonda iken bağ yaklaşık 28° dışa sarmal oluşturur (9).

2.6. DİZİN BİYOMEKANİĞİ

Diz eklemi bikondiler menteşe tipi bir eklem olup fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri ile yanısıra her üç düzlemde hareket edebilmektedir. Bu hareketler: koronal düzlemde abdüksiyon-addüksiyon, sagittal düzlemde fleksiyon-ekstansiyon, aksiyel transvers düzlemde ise iç-dış rotasyondur. Ayrıca bu düzlemlerin tümünde translasyon yapabilmektedir (29).

Diz ekstansiyondan fleksiyona gelirken 0°-20°de femoral kondiller sadece yuvarlanma hareketi yapar. Fleksiyon açısı artıkça yuvarlanma hareketine kayma hareketi de eşlik eder. Fleksiyonun sonlarına doğru ise yuvarlanma biter, sadece kayma hareketi izlenir. Arkaya doğru bu kayma yuvarlanma hareketine "femoral roll-back" denir (30). Medial femoral kondilin eklem yüzü, lateral femoral kondile kıyasla daha kısa ve geniştir. Bu sayede femur, fleksiyon ve ekstansiyon esnasında tibia şaft ekseninde rotasyon (fleksiyonda içe, ekstansiyonda dışa) hareketi yapar ve spiral şeklinde hareket eder (31). Buna "screw-home mekanizması" denir. ÖÇB'nin görevi tibianın öne translasyonunu ve iç rotasyonunu kısıtlamaktır. Özellikle 0°-30°de bu belirginken, fleksiyon derecesinin artması ile birlikte bu görevi daha çok anterolateral ve posteromedial kapsüler yapılar üstlenir. Ekstansiyonda rotasyonel kuvvetlere engel olan ana yapı PL demettir. ÖÇB gerildiğinde reseptörler aktive olurlar ve bir feedback döngüsü oluştururlar. ÖÇB quadricps ile negatif, hamstringler ile pozitif feedback döngüsü içerisindedir. Yani ÖÇB ve kuadriseps antagonist, ÖÇB ve hamstring grubu kasları ise sinerjist olarak hareket ederek tibianın öne translasyonunun dinamik olarak engellerler. Fizyolojik yürüyüşün erken basma fazında, diz eklem açıklığı 40°-45°nin altında quadriceps kası kasılır ve tibiayı anteriora translasyona zorlar. 60°nin üzerindeki fleksiyon derecelerinde ÖÇB üzerinde mekanoreseptörler aktifleşir ve hamstring kas grubunu aktive eder. Böylelikle translasyon kısıtlanmış olur. Akut ÖÇB yırtıklarında bu dinamik refleks arkı olmadığından, tibiada öne translasyon gözlenir. Fakat olay kronikleşince posterior kapsüldeki mekanoreseptörler önceki refleks yolun yerine geçer. Böylelikle hamstring grubu kaslar kasılır ve kuadriseps inhibe olur (32). ÖÇB'ye binen gerilme yüklenmeleri günlük işlevler sırasında 285-400 Newton (N)

arasındadır. Bağa binen yük arttıkça bağda sırası ile elastik deformasyon, plastik deformasyon ve yetmezlik gelişir. Yüklenmenin artmasıyla bağ gerilir ve uzar fakat yük kalkınca eski haline geri döner, buna elastik deformasyon denir. Yüklenmenin miktarı biraz daha artarsa kolajen lifleri arasındaki çapraz bağlar kopar ve bağ uzar. Yük aradan kalkınca bağ eski uzunluğuna dönemez, buna plastik deformasyon denir. Uygulanan gerilim kuvvetinden daha fazla artış olduğunda bağ makroskobik olarak kopar. Genç erişkinlerde bağın kopması için gereken son kuvvet 2160±157 N, 60 yaş üzerinde ise bu 658±129 N'dir (33). Bağın gücü, elastisitesi ve plastik deformasyon eşiğine birçok faktör etki etmektedir. Bunlara: immobilizasyon, damar yetmezliği, ileri yaş, steroid kullanımı, sistemik hastalıklar ve tekrarlayan travmaları örnek gösterebiliriz. Özellikle immobilizasyonun etkisi yüksektir. Sağlam bir ÖÇB 6 haftalık bir immobilizasyon ile gerilim kuvvetinin %60'ını kaybeder ve eski gücünü kazanması 40 haftaya kadar uzayabilir (13).

2.7. ÖÇB YARALANMA MEKANİZMASI

ÖÇB yaralanmaları %70- 80 oranında temassız veya indirekt temas sonucu gerçekleşir (34,35). Amerikan futbolu gibi çarpışmalı ve yüksek temaslı sporlarda bile ÖÇB'nin temassız yaralanma oranı %72,5 olarak kaydedilmiştir. Temassız yaralanmaların çoğu hareket kontrolünün zayıf olduğu anlık durumlarda gerçekleşir. Birçok yaralanma 30°den az fleksiyonda, abdüksiyon ve iç rotasyondaki dize, zıpladıktan sonra yere iniş veya aniden durma sırasında multiplanda yük binmesiyle gelişir (36–42). ÖÇB geriminin maksimal değeri yere ilk temastan hemen sonra, yaklaşık 7-50 milisaniye içinde olmaktadır (37,43–45). Yaralanma mekanizmalarını özetlemek gerekirse: valgus-dış rotasyon, varus-iç rotasyon-ekstansiyon, anteroposterior translasyon, hiperfleksiyon, hiperekstansiyondur.

2.8. RİSK FAKTÖRLERİ

Bu başlığımızın konusunu araştırırken birçok retrospektif çalışma, sistematik derleme ve meta analize rastladık. Kadın sporcu olmak 8 kat, interkondiler çentiğin genişliğinin 15 mm'den küçük olması 5 kat, menstürel döngünün ovulatuar fazında %86, futbol ve basketbolda hücum oyuncusu savunma oyuncusuna göre 1,5 kat, yüksek temas gerektiren sporlarda 3,5 kat rüptür riskini arttırmaktadır (43,46–49). Tibia plato eğimindeki her 1 derecede artış için

kadınlarda ÖÇB travması riski %21,7 oranında arttığını bildiren çalışma mevcuttur (50). Ayrıca kadınlarda COL5A1'in CC genotipinin yokluğunda, ÖÇB yaralanma oranlarında artış gözlemlenmiştir (51).

2.9. ÖYKÜ VE FİZİK MUAYENE

Yaralanma sırasında hastanın pozisyonu darbenin yönü ve şiddeti sorgulanmalıdır. Böylelikle ÖÇB ile birlikte hasarlanabilecek olası yapılar tahmin edilebilir (52). Birçok hasta dizinin ani dönmesine bağlı diz içinden gelen patlama sesi ve sonrasında gelişen ağrı hikayesi anlatır. Hasta travma sonrası genelde hareket edemez (53). Eğer 6 saati geçmiş ise genelde diz ödemli ve ağrılı olur ve ağrı, hematom veya refleks kas spazmına bağlı fizik muayene zorlaşır. Efüzyon fazla ise steril şartlar altında eklem ponksiyonu yapılabilir. Muayene kibar şekilde yapılmalıdır. Önce sağlam diz muayene edilmeli sonra hassas bir şekilde karşı dizin muayenesi yapılmalıdır. Eğer ağrı fazlaysa, muayene edilemiyorsa sedasyon altında yapılabilir. Geç olgularda ise asıl şikâyet ÖÇB yırtılmasına sekonder gelişen spor yapamama, koşamama, ani durma ve sıçramalarda ve merdiven inip-çıkarken dizin boşa çıkmasıdır.

ÖÇB yırtığı tanısında en sık Ön çekmece, Lachman ve Pivot Shift testleri kullanılır. Bundan başka fleksiyon-rotasyon çekmece testi, pivot shift testinin modifikasyonları olan Mcintosh, Jerk, Lossee gibi testler de tanımlanmıştır.

Ön Çekmece Testi

Testin sensitivitesi %18-92, spesifitesi %78-98'dir (54). Kronik ÖÇB yaralanmalarını göstermede daha başarılı olduğu bildirilmiştir (55). Hasta supin pozisyonda kalça eklemi 45° fleksiyonda, diz eklemi 90° fleksiyonda muayene masasına yattıktan sonra ayak masa ile tam temas halindeyken ve nötral rotasyondayken muayene eden kişi ayak üzerine oturarak dizi stabilize eder. Hamstringler gevşek pozisyondayken her iki el ile bacak arkadan kavranırken başparmaklar eklem çizgisi hizasına yerleştirilir. Tibiofemoral eklem çizgisi altından tibia anteriora translase edilmeye çalışılır. Karşılaştırmalı olarak yapılan testte taraflar arası belirgin fark olması, öne translasyonun son noktasının hissedilememesi veya >5mm üstü olması halinde test pozitif kabul edilir (56). Ön çekmece testinin pozitif, fakat Lachman testinin negatif olması, ÖÇB'nin PL bandının sağlam, AM bandının yırtık olduğunu bildirir (57). Teste başlamadan önce arka çapraz bağ (AÇB) 'nin sağlam olduğundan emin olunmalıdır. Bunun için tibial

tüberkülün diğer dizle karşılaştırılması önerilir. AÇB rüptüründe tibia öne çekildiğinde tibia proksimalinin karşı dizle benzer anterior konturunun oluşturduğu izlenir (56).

Lachman Testi

Hasta sırtüstü pozisyonda diz 30° fleksiyonda muayene masasına yatırılır. Hekim muayene edeceği diz tarafında masanın kenarında durur. Bir elin başparmağı tibial tüberkül üzerinde, diğer parmakları baldır etrafında olacak şekilde crurisi tutar. Diğer elin başparmağı kuadriseps tendonu üzerinden femura basarken diğer parmaklar posterior uyluğu kavrar. Baldır öne çekilirken uyluk arkaya doğru ittirilir. Karşı diz ile karşılaştırılan tibianın öne yer değiştirme derecesine ve son noktada duyulan takılma hissine göre karar verilir. ÖÇB rüptüründe artmış translasyon ve çarpmasız bir son nokta hissi alınırken, normal dizde bunlar gözlenmez. Translasyonun >5 mm 1+, 5-10 mm 2+, >10 mm olması 3+ olarak kabul edilir (58). 2 haftadan erken akut ÖÇB yaralanmalarında anestezi altında yapılan testin sensitivitesi %77.7 , spesifitesi %95'in üzerinde olduğu bildirtilmiştir. Subakut veya kronik ÖÇB yaralanmalarında ise sensitivitesi %84,6, spesifitesi>%95'tir (59).

Pivot Shift Testi

Dizin kombine rotatuar ve translasyonel laksitesini değerlendirmede kullanılır (60). Testin sensitivitesi %18-48, spesifitesi %97-99'dur (55). Sırtüstü yatan hastanın rahatlaması sağlandıktan sonra muayene eden kişi hastanın aynı taraf ekstremitesinin yanında durur. Muayene eden doktor bir elini fibula başına yerleştirir. Diğer elle bacağa iç rotasyon ve abduksiyon uygular. Bacak hiperekstansiyon ve iç rotasyonda tutulurken, dize valgus kuvveti uygulanır ve yavaşça fleksiyona getirilir. Ekstansiyonda sublukse olan tibia lateral platosu, 20-30° fleksiyonda iliotibial bandın etkisi ile redükte olur (61). Yazılardan da anlaşılacağı üzere bu testin anlamlı olabilmesi için iliotibial bandın sağlam olması gerekmektedir.

2.10. ÖÇB YARALANMALARININ TANIMI VE SINIFLAMASI

Kas ve tendon yaralanmaları The American Medical Association (AMA) tarafından sprain olarak adlandırılır ve üç evrede incelenir:

Evre 1. Bağın içindeki fibrillerde yırtılma oluşur, lokalize hasasiyet vardır, fakat instabilite gelişmez.

Evre 2. Daha çok ligament fibrili ayrışmıştır ve bağda parsiyel yırtık vardır. Az-orta derece patolojik hareket vardır, fakat instabilite gelişmez.

Evre 3. Tam kat rüptür, fonksiyon kaybı ve instabilite gelişir.

ÖÇB rüptürünün sınıflandırması: Uzun kemikler için AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) sınıflandırma modeline dayalı olarak 3 basamaklı bir ÖÇB rüptürü sınıflandırması getirilmiştir. İlk hane ÖÇB rüptürünün yerini tanımlar: A proksimal 1/3, B orta 1/3 ve C distal 1/3. İkinci hane ÖÇB rüptürünün statüsünü tanımlar: bir demet için 1, iki demet için 2 ve multilasere görünüm için 3. Üçüncü hane ÖÇB'yi saran sinoviyumu tanımlar: 1 tamamen sağlam, 2 ≥%50 sağlam ve 3 <%50 sağlamdır (62).

2.11. ÖÇB YIRTIKLARINDA GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

ÖÇB yırtıklarının değerlendirilmesinde direkt grafi, MRG ve USG yardımcı görüntüleme araçlarıdır.

2.11.1 KONVANSİYONEL RADYOGRAFİLER

ÖÇB rüptürünün değerlendirilmesinde direkt grafilerin yeri oldukça kısıtlıdır. Diz AP grafide çocuklarda ve erişkinlerde tibia eminensiya kırığı ve lateral kapsülün orta 1/3 kısmının tibia platosundan avulsiyonu (Segond kırığı) görülebilir. Diz lateral grafide lateral femoral kondilin kondilopatellar sulkusunda gözlenebilen osteokondral impaksiyon kırığına bağlı lateral femoral çentik belirtisi yine ÖÇB rüptürü açısından spesifik olmakla birlikte sensitivitesi düşük bir indirekt radyolojik belirteci görebiliriz. Kronik vakalarda interkondiler notch'da daralma diz tünel grafisinde karşımıza çıkabilir (63).

2.11.2. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME

En sık başvurulan sensivitesi en yüksek ve fizik muayene ile birlikte değerlendirildiğinde %95 üzeri tanı koydurucu görüntüleme yöntemidir (64). ÖÇB rüptürüne ilişkin primer ve rüptüre eşlik eden sekonder (ligamentöz veya meniskal yaralanmalar, kemik kontüzyonları gibi) yaralanmalar hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. ÖÇB rüptürünü düşündüren bulguları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (65–68):

1. ÖÇB'nin görülmemesi
2. ÖÇB'de T2 veya Fat-Sat. görünümde ödeme bağlı sinyal artışı
3. Aksiyel kesitte interkondiler çentikte boş çentik belirtisinin izlenmesi
4. Posterolateral tibial plato ve lateral femoral kondilde kemik kontüzyonlarının izlenmesi
5. Sagittal kesitte lateral menisküs posterior boynuzunun tibia platosundan taşması
6. Tibianın femura göre 7mm ve üzerinde öne translasyonu
7. AÇB'nin bükülmesi (buckling)
8. Sagittal kesitte Blumensaat çizgisi ile ÖÇB arasındaki açının apeksinin anterior-inferioru göstermesi
9. ÖÇB'nin AÇB'ye yapışık görülmesi.

2.11.3. ULTRASONOGRAFİ

USG'nin non-invaziv ve rahat erişilebilen görüntüleme aracı olması gibi avantajının yanı sıra, deneyim gerektiren ve kişiye bağlı sonuç vermesi gibi dezavantajı da vardır. ÖÇB yapışma yerinde hematom varlığının tespit edilmesi ÖÇB rüptürü lehine değerlendirilir (69).

2.12. TEDAVİ SEÇENEKLERİ

ÖÇB rüptürü tedavi edilmeden kendi haline bırakılırsa 8 farklı seyir gösterebilir. Gather bu seyirleri 8 sınıfa ayırmıştır. Bunlar **Tablo 1**.'de özetlenmiştir (70).

Tablo 1.: Tedavi edilmemiş ÖÇB rüptürünün doğal seyri.

Sınıf A	ÖÇB güdükleri düzensiz uçlu saçaklanmalar şeklinde kalır
Sınıf B	ÖÇB intrasinoviyal yırtık olarak kalır.
Sınıf C	Kemik avulsiyonuyla birliktedir
Sınıf D	Kopan ÖÇB güdükleri retrakte olur.
Sınıf E	ÖÇB güdüklerinden birisi AÇB 'a yapışır.
Sınıf F	ÖÇB atrofiye olarak tamamen rezorbe olur.
Sınıf G	Yırtık olan ÖÇB güdükleri birbirine bağlanarak iyileşir. Ancak iyileşme zayıf bir skar dokusuyla gerçekleşir.
Sınıf H	Bu tiplerden ikisi bir arada bulunur.

En sık sınıf E, en az ise sınıf G gözlenmektedir. İster cerrahi, isterse de konservatif tedavi olsun, her ikisinde de amaç, hastayı mümkün olan en kısa zamanda günlük ve sportif faaliyetlerine geri döndürmek, diz stabilitesini sağlayarak dizi tekrarlayan travmalardan korumaktır. Tedavi şeklini belirlerken hastanın yaşı, aktivite düzeyi, beklentisi, operasyon sonrası rehabilitasyona uyumu, eklem laktisitesi ve eklem içi diğer patolojiler göz önünde bulundurulmalıdır (71–73). Rüptür sonrası yaştan bağımsız olarak dizinde semptomatik instabilitesi olan kişilere cerrahi önerilmektedir (71). ÖÇB ile birlikte menisküs, kapsül, kollateral bağlar ve eklem kıkırdağının yaralandığı durumlarda tedavinin cerrahi olması konusunda görüş birliği mevcuttur (74). ÖÇB rütürü olan aktif kişilerde sekonder menisküs ve kıkırdak hasarı oluşmadan cerrahi tedavinin yapılması önem arz etmektedir.

2.12.1. KONSERVATİF TEDAVİ

Günümüzde ÖÇB rüptürünün en sık tedavisi cerrahi olmasına rağmen bazı seçilmiş vakalarda konservatif tedavi uygulanmaktadır. Özellikle inaktif yaşam tarzı olan ileri yaşlı ve dizinde instabilite atakları olmayan bireylere konservatif tedavi uygulanabilir. Akut ÖÇB yaralanması görüntülerle sabit olan fakat, muayenesinde Pivot-Shift ve Lachman testleri müphem olan hastalara da ilk başta konservatif tedavi denenebilir. Konservatif tedavide amaç, cerrahi tedavide olduğu gibi kişinin dizindeki güvensizlik ve boşalma hissini ortadan kaldırılmak ve günlük yaşamda menisküslere zarar vermeden ÖÇB'den yoksun yaşamayı öğretmektir. En önemli basamağını ise yaşam tarzı değişikliği teşkil ediyor. Dizde ağrı, boşalma ve şişmeye yol açan aktivitelerden uzak durulur. Diz eklemi tarafından tolere edilemeyen sıçrama, ani yön değiştirme, ani hızlanma ve yavaşlama gibi aktiviteler yapılmayarak geri dönüşümsüz dejeneratif değişiklikler önlenebilir. Yaşam tarzlarını değiştiremeyen veya eskisi gibi devam etmek isteyen hastalar konservatif tedaviden fayda görmeyeceği için cerrahi tedavi önerilir. Fizik tedavi birkaç aşamadan oluşmaktadır. Bunlara sırası ile travma sonrası oluşan efüzyon ve inflamasyonun sebep olduğu ağrının giderilmesi, tam eklem hareket açıklığına ulaşılması, kas gücünün geri kazanılması, kapalı kinetik zincir egzersizleri, açık kinetik zincir egzersizleri ve dizin motor kontrolünü ve fonksiyonunun kazandırılması dahildir. Bu aşamaların tamamlanması ile birlikte hasta, yapmak istediği sporda gerekli olan ve ani dönmeler, yavaşlamalar içeren hareketleri instabilite atağı oluşmadan yapmayı becerir. Eğer hasta bilinçli olarak istemesine rağmen hamstringlerin stabilizan etkilerini ortadan kaldıramıyorsa (spinal kort refleks aşaması) programdan en yüksek faydayı görmüş demektir (75–77).

2.12.2. CERRAHİ TEDAVİ SEÇİMİ

ÖÇB cerrahisinde primer amaç normal diz eklem hareket açıklığında, kalıcı instabilite riskini minimize ederek diz kinematiklerini ve stabiliteyi kazanmaktır. Cerrahi endikasyonlar geçmişe nazaran günümüzde daha da genişletilmiştir. Sporcular, genç aktif hastalar, diz içi diğer bileşenlerin (AÇB, kıkırdak, menisküs ve kollateral ligamanlar vs.) de yaralanmaları mevcutsa, bu hastalarda cerrahi tedavi ön planda düşünülmelidir. Tüm hastaların rekonstrüksiyondan fayda görmeyeceği unutulmamalı, tedaviye ve sonrasında rehabilitasyona iyi uyum sağlayabilecek hastalar seçilmelidir. Çok sayıda hastanın sadece rehabilitasyonla iyi,

hatta ameliyat öncesine nazaran daha iyi performans gösterdiği unutulmamalıdır (75,76,78–80). Ameliyat kararı, hasta beklentileri ve ulaşmak istediği aktivite düzeyi göz önüne alınarak hasta ile cerrahın muhtemel beklentiler hakkında ayrıntılı bilgi alışverişi sonrasında alınmalıdır.

2.12.2.1. CERRAHİ TEDAVİ SEÇENEKLERİ

ÖÇB rüptürünün cerrahi tedavisi eklem içi yapıldığı gibi eklem dışı ve kombine de yapılabilmektedir. Eklem dışı cerrahide ÖÇB tamir edilmeden, sekonder yapılara yönelik girişimlerde bulunulur. Eklem içi tedaviler ise primer dikiş, augmente (otojen materiyalle, emilebilen alloplastik materyalle, emilmeyen materyallerle) dikiş ve rekonstrüksiyon olmakla üçe ayrılır. Dikişlerle yapılan cerrahilerin sonucunun yüz güldürücü olmaması sebebiyle zamanla rekonstrüksiyon cerrahisi önem kazanmaya başladı ve günümüzde en sık tercih edilen altın standart cerrahi seçenektir (81–84).

2.12.2.2. CERRAHİ TEDAVİ ZAMANLAMASI

ÖÇB rüptüründen geçen ilk 3 hafta akut, 3-12 haftalar arası subakut, 12 haftadan sonra ise kronik dönem olarak adlandırılmaktadır. Shelbourne ve ark. yaptığı çalışmada akut dönemde yapılan rekonstrüksiyonlarda ilerleyen dönemde eklemde hareket kısıtlılığı ile kendini gösteren artrofibrozis riskinin artmış olduğunu gözlemledi (85). Tam tersine, rekonstrüksiyon için beklenen süre uzadıkça ortaya çıkacak instabilite atakları nedeniyle menisküs ve kıkırdak hasarı oluşma riski de artmaktadır (86). İdeal süre 6-12 hafta arasında, fizik tedavi ile iyi bir bacak kontrolü ve hareket açıklığı sağlanmış dizlerde alınmaktadır (87,88).

2.13. REKONSTRUKSİYON CERRAHİSİ

Artroskopik olarak ekleme girildikten sonra eklem değerlendirilir ve varsa diğer patolojiler tamir edilir. Sonra notchplasi yapılır femoral ve tibial tüneller açılır. Otograft kullanılacaksa greft alınır. Greft tünele yerleştirildikten sonra seçilmiş yöntemle fikse edilir.

Nochplasti- interkondiler çentiğin femoral tünelin açılması için hazırlanması işlemidir. Çentikteki osteofitlerin ve yumuşak dokuların temizlenmesiyle başlanır. İnterkondiler çentiğin grefti sıkıştırmasını engellemek ve çentiğin lateral duvarını daha iyi görerek femoral tünelin yerini belirlemek amacıyla yapılır (89).

Tibial tünel- ÖÇB rekonstrüksiyonunda tibial tünelin yerleşimini ve yönelimini doğru yapabilmek en önemli noktalardan biridir. Transtibial teknikte femoral tünelin açılması tibial tünel üzerinden olacağı için yapılan minimal yanlış başarısızlık ile sonuçlanabilir. Tibial tünel ÖÇB'nin tibiaya yapışma yerinin posterior yarısından açılır. Bu da tam ekstansiyonda sıkışmayı engellenmektedir.

Femoral tünel- tünelin eklem içine açıldığı yerin lokalizasyonu iki şekilde yapılır. Bunlardan birincisi Arnis tarafından diz fleksiyondayken interkondiler çentiğe göre yüzeysel-derin, üst- alt şeklinde adlandırma ile, ikincisi ise diz ekstansiyondayken anatomik olarak yapılmaktadır. Cerrahinin başarılı olması ve operasyon sonrası iyi klinik sonuç için tünelin olabildiğince anatomik pozisyonuna uygun açılması önem arz etmektedir. Tüneller, doğal ÖÇB'nin femur ve tibia yapışma yerlerinin ortasından geçmelidir. Femoral tüneli drillerken arkaya doğru açılmayı engellemek için arka duvarda 2 mm kadar mesafe bırakılmalıdır. Çıkış deliği AP planda sağ dizde saat 10-11, sol dizde saat 1-2 hizasında olmalıdır. Olası komplikasyonlardan uzaklaşmak için, doğal ÖÇB femoral yapışma yerine daha anatomik ulaşabildiğimiz ve femoral tünele uydurmak için tibial tünel açı ve uzunluğundan ödün vermediğimiz fakat daha fazla deneyim gerektiren anteromedial tekniğin kullanılması daha uygundur (90,91).

2.13.1. GREFT SEÇENEKLERİ

Rekonstrüksiyon cerrahisinde greftler: otogreft, allogreft ve sentetik greft olmak üzere üçe ayrılır. İdeal greft normal ÖÇB'nin özelliklerini taşımalı, güvenli şekilde fikse edilebilmeli, hızlı iyileşme süresi olmalı ve donör alan morbiditesi en az olmalıdır. Cerrah hastanın yaşı, aktivite düzeyi, daha önce geçirilmiş operasyon hikayesi ve diğer değişkenleri göz önünde bulundurarak uygun grefti seçmelidir (87).

2.13.1.1. OTOGREFTLER

Hamstring- semitendinosus ve gracilis kaslarının tendonları kullanılır. Dayanıklılığı (4108 N- 4213 N) ÖÇB'den 2,4 kat, sertliği (807-954 N/ mm) 3 kat fazladır. Kesit alanı normal ÖÇB'ye yakındır (92–97). Kesit alanının geniş olması ligamantizasyon ve vaskülarizasyonu kolaylaştırır (98,99). Ameliyat sonrası patellofemoral şikayetlerin olmaması, quadriceps kas gücünün korunması, ekstansör mekanizmaya zarar vermemesi ve fizisi kapanmamış hastalarda güvenle kullanılabilmesi diğer avantajlarındandır (74,98). Bu olumlu özelliklerinin yanısıra, yumuşak greft olması, tünellerde yumuşak doku-kemik iyileşmesinin yavaş olması,

tendonlardan küçük greft elde edilmesi ve bağda erken elongasyon gibi dezavantajları da vardır (100).

BPTB (Bone Patellar Tendon Bone)- uzun yıllar popülerliğini sürdürmüş grefttir. Greft alınmadan önce çekilen MRG ile greftin uzunluğu ve kalınlığı hakkında bilgi sahibi olunması, küçük insizyon ile alınabilmesi, ulaşımı kolay olması, kuvvetli olması, daha rijit bir fiksasyon sağlaması, başlangıç tespiti sağlam olması, otojenik uygunluğu olması, tünellerde erken kemik-kemik iyileşmesi sebebiyle erken spora dönüşün sağlanması açısından avantajlı bir grefttir (98,99,101,102). Fakat diz önü ağrısı oluşturması, patellar kırık riski, patellar tendon rüptürü riski, sert greft olması, patellar tendinit, ekstansör mekanizmayı zayıflatması, patellofemoral kondropati ve artrit gibi patellofemoral sorunlara neden olması, uzun operasyon süresi (allografte göre) greftin dezavantajları arasındadır (92,98–100,102).

Quadriceps- Geniş kesit alanı ve biyomekanik avantajları sayesinde özellikle revizyon vakalarda uygun bir seçenektir (103). Hem tek hem de çift demet için hazırlanabilmesi, greft alımının kolaylığı, daha az ön diz ağrısı ve donör saha ilişkili morbiditeye neden olması greftin avantajlarıdır. Dezavantajları ise düşük kolajen içeriği ve düşük tensil gücünün olması, kemik yumuşak doku integrasyonunun yavaş olmasıdır (99,104).

2.13.1.2. ALLOGREFTLER

Primer vakalardan ziyade genelde revizyon vakalarında ve çoklu bağ onarımlarında tercih edilir. Otogreftlerle karşılaştırıldığında diz fleksiyon ve ekstansiyon kuvvetlerinde kaybın ve donör saha morbiditesinin olmaması, ameliyat süresinin kısa olması, istenilen çapta ve ölçüde kesilebilmesi, donör saha olmaması kozmetik açıdan allogreftlerin avantajlarıdır. Allogreft olarak fasiya lata, aşil tendonu, patellar tendon, tibialis anterior ve posterior tendonları kullanılır. Dondurup kurutulmuş veya taze dondurulmuş şekildedirler. Greftin rezorbe olması, düşük tensil özellikleri, %35 immün yanıt ve doku rejeksiyonu, enfeksiyon riski ve maliyetin yüksek olması ise dezavantajlarıdır (105,106).

2.13.3. SENTETİK GREFTLER

Destek protezleri (LAD, PDS), kalıcı protezler (Gore-Tex) ve çatı protezleri (Karbon fiber) örnek verebiliriz (99). İstenilen ölçüde elde edilme avantajı vardır. Fakat sentetik materyalin eklem içinde aşınma ve yıpranması neticesinde ortaya çıkan maddelerin sinovite yol

açması, kopmalar olması uzun dönemde klinik sonuçların kötü olması ile neticelenmiştir. Bu yüzden günümüzde tercih edilmemektedir (99).

2.14. GREFTİN ENTEGRASYONU

Greft tespit edildikten sonra fizyolojik ve biyomekanik değişiklikler geçirir ve gerçek ÖÇB'ye benzemeye çalışır. Otojen hamstring tendon grefti sinoviyalizasyon, neovaskülarizasyon ve ligamentizasyon aşamalarından geçerek kemiğe entegre olur. Ancak bu integrasyonun gerçekleşmesi ve ligamentizasyon için tendonun kemik tünel içinde izometrik ve rijid bir şekilde fiksasyonu elzemdir. Otojen hamstring tendon grefti kemik içine uygun şekilde yerleştirildikten sonra önce tendona karşı inflamatuar bir reaksiyon oluşur. Bu integrasyonun birinci fazı olan inflamatuvar fazdır ve 6 hafta sürer. Eğer uygun fiksasyon koşulları sağlanmamışsa inflamatuvar yanıt gecikir veya hiç olmaz (107,108). Uygun fiksasyon sonrası ortalama 6 hafta içinde hamstring tendon greftini infrapatellar yağ yastıkçığından ve geriye kalan ön çapraz bağ güdüğünden gelen damarlı sinovyal doku çevreler. Fakat greftin kendisi halen avaskülerdir. 6.- 12. haftalarda greftte fokal iskemik nekroz alanları oluşmaya başlar. Bu alanlar trombüslerle doldurulur. Trombüslerle doldurulmuş nekrotik kavitasyonlardan tendonun içerisine doğru vasküler kanallar oluşur. İntegrasyonun 2. fazı olan revaskülarizasyon böylelikle tamamlanmış olur. Greft revaskülarize olduktan sonra kan damarları vasıtasıyla tendona makrofajlar ve multinükleer dev hücreler gelir. Bu hücreler nekrotik tendon artıklarını fagositoz yoluyla ortamdan uzaklaştırır. 12. haftanın sonunda tendonda enflamatuar reaksiyona dair bulgu kalmaz. 12.-30. haftalarda greftin hem tünel içindeki hem de eklem içindeki bölümü doğal ÖÇB'ye benzemeye başlar. Bu sürece entegrasyonun 3. fazı olan ligamentizasyon denir (109). 6 ayın sonunda greftin histolojik görünümü normal ön çapraz bağ ile benzerdir: intrasellüler matriks homojen, hücre sayısı eşit, kollajen lifleri doğal ÖÇB'de olduğu gibi lineer olarak dizilmişlerdir (110).

2.15. FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON

Ameliyat öncesi dönemde hastaya rehabilitasyon protokolünün öğretilmesi, hasta uyumunun artmasına ve erken iyileşmeye yardımcı olur (111). Rehabilitasyon programları da kişiye özel olmalı ve preoperatif başlanmalı, sınırlama gerektirmeyecek spor aktivite seviyesine ulaşana kadar sürdürülmelidir. ÖÇB yaralanması olan hastada preoperatif hedef minimal efüzyon, tam ekstansiyon ve düz bacak kaldırma sırasında diz ekstansiyon lagı olmamasıdır (112–114). Diz ekstansiyon gücünün sağlam bacakla arasında en fazla %20 fark olacak

seviyeye getirilmesinin iki yıllık hasta memnuniyet skorları üzerine olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir (115).

Ameliyat sonrası rehabilitasyonun amacı; aktiviteye katılımın önündeki psikolojik engelleri (kinezyofobi) ortadan kaldırmak, tekrar yaralanmayı önlemek ve uzun vadeli yaşam kalitesini optimize etmek, hızlı ve güvenli bir şekilde travma öncesindeki fonksiyonel seviyesine geri döndürmektir (116). Literatürde bulunan ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrası rehabilitasyon protokollerinde bir heterojenite vardır. Yavaş/hızlı ilerleyen, ekstansiyonda kilitli dizlik kullanılan/kullanılmayan erken ağırlık aktarmaya izin veren/vermeyen vs. gibi farklı rehabilitasyon programları vardır (117). Hızlandırılmış rehabilitasyon programlarının eklem hareket açıklığının ve diz fonksiyonlarının daha erken kazanılması, daha düşük maliyet, daha erken kas gücünün sağlanması, spora erken dönüş, hızlı greft iyileşmesi, daha az artrofibrozis görülmesi gibi avantajları mevcuttur. Hastaların uygun bir rehabilitasyon programından sonra eski aktivite düzeylerine geri dönebilmeleri ortalama 6 ayı, spora tam dönüş ise 9-12 ayı bulmaktadır (118,119). Bu süreyi kısaltan önemli faktörler de mevcuttur: erkek cinsiyet ,30 yaşından küçük olmak, cerrahi öncesi yüksek aktivite düzeyi ve yaralanma ile cerrahi arası 3 aydan az olması (120). ÖÇB rekonstrüksiyonundan sonra zamana dayalı rehabilitasyon yerine aşamalı ve hedefe dayalı rehabilitasyonun kullanılması önerilmektedir (113). ÖÇB rekonstrüksiyonundan sonra spora dönüş için beklenen her ay tekrar yaralanma riski %51 oranında azalır, operasyondan 9 ay sonra ise riskte anlamlı bir azalma olmaz. Bu bilgiler ışığında tekrar yaralanma riskini %84 oranında azaltmak mümkündür (118). Sporcuların sahaya dönebilmesi için ağrı ve semptomların olmaması, efüzyonun olmaması, tam eklem hareket açıklığının sağlanmış olması, quadriseps gücünün kontralaterale göre ≥ %85 olması, hamstring gücünün kontralateralin ≥ % 100'ü olması, hamstring/quadriseps oranının % 70 veya üstü olması KT-1000 ölçümlerinde karşı tarafa göre anterior tibia translasyonun <3mm olması gerekmektedir. Kriterleri karşılamayan sporcuların, spora dönüş kriterlerinin tamamını karşılayanlara oranla ÖÇB greft rüptürü riski 4 kat daha fazladır (121).

2.16. KOMPLİKASYONLAR

Artan ameliyat sayıları ile birlikte komplikasyon oranlarında da artış gözlenmektedir. ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrası en sık görülen komplikasyonlar patello-femoral ağrı (görülme sıklığı %25), hareket kısıtlılığı, quadriceps güçsüzlüğü (sağlam diz ile karşılaştırıldığında %20'den fazla güç kaybının olması) ve greft rüptürüdür. Patello-femoral ağrı rehabilitasyon sürecine uyumsuzluğa neden olmakla hareket kısıtlılığı ve quadriceps güçsüzlüğü de oluşturur.

BPTB grefti kullanılan vakalarda daha sık görülmekte. Özellikle operasyon sonrası dizi tam ekstansiyonda fikse etmek yerine 30^0 açıda fikse edilmesine bağlı oluşur (122).

Tanım olarak artrofibrozis, ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrası rehabilitasyona rağmen, dizde 10°'den fazla ekstansiyon kısıtlılığı ve 120°'den az fleksiyonunun olması durumudur. Konservatif (yoğun fizik tedavi programları, patella mobilizasyonu, antienflamatuvar ilaç tedavisi, anestezi altında manipülasyon, kriyoterapi tedavinin fayda görmediği durumlarda cerrahi (artroskopik olarak notchplasti, transplantın ve Hoffa'nın debridmanı, yapışıklıkların giderilmesi, siklops ve bazı durumlarda greftin rezeksiyonu, lateral gevşetme, posterior kapsülotomi ile quadrisepsplasti) tedavi uygulanır. Geçmediği taktirde daha ciddi invaziv işlemler uygulanır. Önlemek için yaralanmanın akut (0.-6. haftalar) döneminde ameliyat edilmemeli ve egzersiz programına alınarak tam eklem hareket açıklığı sağlanmalıdır. Ameliyat sonrası dönemde diz istirahat halinde iken 0°'de tutulmalı, erken harekete izin verilmeli ve engel bir patoloji yok ise yük verilmeye başlanmalıdır (123).

DVT (Derin Ven Trombozu) insidansı, hastaların genelde genç ve sağlıklı bireyler olması nedeniyle %0,75- 3,5 arasındadır. Fakat tromboembolik risk grubunda olan hastalara cerrahi sonrasında DVT proflaksisi yapılması önerilmektedir (124). Tromboembolik risk grubu hastaların %10'nunda sessiz DVT geliştiği ve ameliyat sonrası çok seyrek olan mortaliteden en sık DVT'nin sorumlu olduğu unutulmamalıdır.

Refleks sempatik distrofi (insidansı %0,75) belirtileri gösteren hastaların %70-77'sinde safen sinirin infrapatellar dalının hasar gördüğü tesbit edilmiştir. Her türlü cerrahi girişim sonrası görülebilen yanıcı karakterde ve açıklanamayan devamlı ağrı, hiper veya hipotermik siyanotik vazomotor anormallikler, özellikle safen sinirin infrapatellar dalının duyu alanında ağrılı uyaranlara hiperestezi, hafif yumuşak doku şişliği, osteoporoz, hareket kısıtlılığı, kuadriseps atrofisi, hareketler esnasında çok şiddetli ağrı, atrofi ve fibrozis şeklinde trofik cilt bozuklukları ve sempatik sistem hiperaktivitesi ile karakterize ciddi komplikasyondur (125).

Rekonstrüksiyon esnasında nadir de olsa iyatrojenik damar yaralanmaları oluşabilir. Femoral tünel açılırken drill posterior kemik korteksi geçip arteriel yaralanmaya neden olabilir (126).

Travma sonrası posterior kapsül bütünlüğü bozulmuşsa, artroskopi esnasında kullanılan sıvının ekstravazasyonuna bağlı kopartman sendromu görülebilir. Ameliyat öncesi ve sonrası klinik ve fizik muayene ile mutlaka takip edilmelidir (127).

Cerrahide kullanılan otogreftlerin özelliklerine göre farklı komplikasyonlar gelişebilir. BPTB greftine ait sık görülen komplikasyonlar, patella-femoral ağrı, patella kırığı, patella baja, patellar tendinit, patellar tendon rüptürü, kuadriseps tendon rüptürü, patellanın medial subluksasyonu ve heterotopik ossifikasyondur. Hamstring tendonlarının kullanılmasına bağlı olarak nadir de olsa dizin fleksiyon gücünü minimal azaltarak uyluk adaleleri arasındaki dinamik dengeyi bozabilir. Kuadriceps tendonu alımı ise dizin ekstansör mekanizmasını zayıflatır (128).

ÖÇB rekonstruksiyonunda karşımıza çıkan önemli komplikasyonlardan biri de tünelin malpozisyonuna bağlı, bağ yetmezliğinin cerrahi sonrası da devam etmesidir. Tibial tünelin sagital planda olması gerekenden daha anterior pozisyonda drillenmesi fleksiyonda gerginlik ve hareket kısıtlılığı, ekstansiyonda ise AÇB ile sıkışma sendromlarına sebep olur. Femoral tünel malpozisyonları daha sık görülmektedir. Femoral tünelin daha vertikal yerleşimli olması rotasyonel instabilitenin devam etmesine neden olur ve fizik muayenede Pivot Shift testi pozitifliğinin devam ettiği görülür. Anterior yerleşimli femoral tünel fleksiyon, posterior yerleşimli femoral tünel ise ekstansiyonda sıkılık meydana getirir. Bağın cerrahi sonrası yetmezliğine sebep olabilecek diğer faktörler tespitteki yetersizlikler ve uygun olmayan tesbit yöntemleri, gözden kaçan arka çapraz bağ yaralanmaları ve olması gerekenden daha agresif rehabilitasyon uygulamalarıdır (129). Genel olarak komplikasyonları perioperatif ve postoperatif olarak 2 grup altında toplayabiliriz. **Tablo 2.**'de ayrıntılı şekilde diğer komplikasyonlar da gösterilmektedir.

Tablo 2. Ön Çapraz Bağ Rekonstrüksiyonunda Karşılaşılan Komplikasyonlar.

PERİOPERATİF KOMPLİKASYONLAR	**POSTOPERATİF KOMPLİKASYONLAR**
Hatalı açılan femoral ve tibial tüneller nedeni ile greftin interkondiler bölgede sıkışması.	Patellofemoral ağrı
Femoral tünelin posterior duvarının kırılması	Artrofibrozis

Patella kırıkları ve patellar tendon kopması veya sıyrılması.	Hatalı pozisyonda yerleştirilmiş greft nedeniyle oluşan hareket kısıtlılığı ve/veya instabilitenin devam etmesi
Tibial tespit sırasında vidanın grefti iterek kemik bloğun eklem içerisine penetrasyonu	Patellanın postoperatif dönemde herhangi bir darbe veya diz üzerine düşme sonrası kırılması
Semitendinöz yerine Semimembranöz tendonun alınmaya çalışılması	Eklem içerisine, tespit implantlarının düşmesi.
Kemik bloklarının kırılması veya vida yerleştirirken greftin kesilmesi	Enfeksiyon
Hamstring tendonlarının kısa alınması	DVT
BPTB greftinin uzun gelmesi	Tünel genişlemesi.
İyatrojenik olarak eklem içi diğer yapılara (kıkırdak, menisküsler, arka çapraz bağ) verilen hasar	Refleks sempatik distrofi
Greft ile vida arasında açılanma sebebiyle tespit ile ilgili sorunlar	Donör sahada hipoestezi
Damar yaralanması	Ekstansör ve fleksör kaslarda kuvvet kaybı
	İnfrapatellar kontraktür sendromu
	Çocukluk çağında epifiz lezyonları.
	Hematom

2.17. KEMİK TÜNEL GENİŞLEMESİNİN ETİYOLOJİSİ

Kemik tünelde rezorpsiyon veya osteoliz sonucu oluşmaktadır. Bu konu ile ilgili çok çalışma yapılmış olmasına rağmen etiyolojik nedenler tam olarak bilinmemektedir. Genel olarak genişlemeye etki eden etiyolojik sebepleri mekanik ve biyolojik olarak 2 ana başlık altında toplayabiliriz. Tünel genişlemesinin zamanı ile ilgili yapılan çalışmalarda, genişlemenin cerrahi işlemi takiben ilk 3 ayda artış gösterdiği, 3 ay -2 yıl arasında artışın devam ettiği, 3.yıldan sonra azaldığı bildirilmiştir (130–132).

2.17.1. BİYOLOJİK FAKTÖRLER

1. Allogreftler

Konağın grefte karşı göstermiş olduğu immün yanıta bağlı olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeninin ise kullanılan sterilizasyon yöntemine bağlı olduğu ileri sürülmüştür (6–8). Sterilizasyon yönteminde etilen oksit kullanılmayan "Fresh-frozen" ve "Cryopreserved" greftler ile yapılan cerrahilerde klinik sonuçlarda anlamlı farklar bulunmuştur (4,133). Fahey ve ark. yaptığı retrospektif bir çalışmada patellar tendon otogreft ve allogreftlerin aynı yöntem ile yapılan ameliyatlarını postoperatif 1. yılında radyolojik olarak karşılaştırmış ve tünel genişlemesinin allogreft kullanılan vakalarda istatistiksel anlamlı yüksek bulmuştur. Bunun sebebinin ise subklinik humoral ve hücresel immün yanıta bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir (134). Tam tersine, tünel genişleme insidansında allogreft ve otogreft arasında istatistiksel anlamlı fark olmadığını belirten çalışmalar da mevcuttur (135–138).

2. Sitokinler

Enflamasyon ve antijenik uyarımdan en sık interlökin 1 (IL-1), interlökin 6 (IL-6), interlökin 8 (IL-8), prostaglandin E2 (PG-E2) ve tümör nekrosis alfa (TNF α) sorumludur. MRG çalışmaları BPTB greftlerinde kemik tıkaç proksimalindeki greft-tünel uyumsuzluğu nedeni ile sinovial sıvının tünel-greft ara yüzeyine kaçtığını göstermiştir (sinovyal banyo efekti) (139,140). Bu kaçağın yukarıda adı çekilen sitokinler aracılığı ile osteolize ve sonrasında radyolojik olarak görülebilen tünel genişlemesine sebep olduğu bildirilmiştir (130,139–142).

3. Antijenik İmmün Cevap

Allogreftler ile yapılan rekonstrüksiyonlarda allogrefte karşı oluşan immün reaksiyon sonucu olarak gelişir (5).

4. Toksik Cevap

Fiksasyon materyali olarak metal kullanılmış rekonstrüksiyonlarda ve sterilizasyonunda etilen oksit kullanılmış allogreftlerde toksik cevap sebebiyle genişleme görülür (143).

5. Drilleme Sonrası Hücre Nekrozu

Tünel açılması zamanı yüksek devirli oyucu kullanımı tünel etrafında ısı oluşmasına sebep olmaktadır. Açığa çıkan ısı ameliyat sonrası tünel boyunca hücre nekrozu oluşturarak tünelde genişlemeye sebep olmaktadır (5,144). Bilindiği üzere 47°C üzerindeki ısı kemikte nekroz oluşturmaktadır (145–147).

2.17.2. MEKANİK FAKTÖRLER

1. Greft-Tünel Mikrohareketi

BPTB grefti kullanılarak yapılan rekonstrüksiyonlarda femoral tünelde oldukça sıkı bir tespit oluşturulur. Bu nedenle greft-tünel hareketi gözlenmez, fakat tibial tarafta aynısı geçerli değildir, kemik bloğu tendon bloğundan incedir. Buna bağlı olarak tünel ile tendon arasında ölü boşluk oluşur ve transvers planda ‘’Windshield wiper’’ (cam sileceği) etkisi olarak adlandırılan hareket gözlemlenir (5,130,142).

Hamstring otogrefti ile yapılan ÖÇB rekonstrüksiyonlarında hamstring otogreftinin tespiti eklem çizgisinden uzak noktada yapılmaktadır. Buna bağlı olarak tünel genişlemesi BPTB otogreftine göre hamstring otogreftinde daha yüksek oranda görülmektedir. Esnek tespit materyallerinin kullanılması ve uzak tespit nedeniyle greftin tünel içerisinde uzaması ve longitudinal yönde hareketi gözlenir. Bu longitudinal harekete “Bungee effect” denir. Bungee effect’e bağlı tünel genişlemesi daha sık femoral tarafta gözlenir (133,148–152). **Tablo 3.**’te bungee effect ve windshield wiper’a ilişkin ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3. Bungee effect ve Windshield wiper’a ait ‘En Sık’lar tablosu.

	windshield wiper	**Bungee effect**
En sık görüldüğü greft tipi	BPTB	Hamstring
En sık görüldüğü bölge	Tibial tünel	Her iki tünel
En sık görüldüğü cerrahi teknik	Uzun tendon, Tibial pin ile fiksasyon	Uzun fiksasyon mesafesi, düşük mukavemetli fikasyon materialleri (sütür, bant)
Hareketin yönü	Transvers	Uzunlamasına

2. Stres Shielding

BPTB otogrefti ile yapılan ÖÇB rekonstrüksiyonlarında interferans vidası ve kemik tıkacın proksimalindeki tünel daha az strese maruz kalır ve bunun sonucunda kemik rezorbsiyona uğrar. Bu, çimentosuz kalça protezlerde proksimal femurun daha az strese maruz kalması ile oluşan stres shielding ile benzerdir (131,134,142).

3. Uygunsuz Greft Yerleşimi

Tibial tünelin anterior yerleşimi interkondiler tavanda sıkışmaya ve greft üzerine binen yükte artmaya neden olur. Artan yük tünelin giriş deliği etrafında lokal strese sebep olur ve bu da osteoliz ile sonuçlanır. Sagital planda femoral tünelin daha horizontal açı ile yerleştirilmesi de tünel genişlemesine sebep olmaktadır. Segawa ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada femoral tünelde meydana gelen akut açılanmanın, tünelin ön kenarındaki mekanik stresi artırarak tünel genişlemesi sebebi olduğunu göstermişlerdir (138,149).

4. Greft Maturasyonu

Greft maturasyonu tünel içinde ve eklem içinde benzer şekilde gelişir. Fakat bu gelişim süreci tünel içinde daha yavaş olur. Tendon ve tünel duvarı arasındaki ölü boşlukta görülen granülasyon dokusu önce ince fibröz bir doku ile yer değiştirir. Daha sonra giderek yoğunlaşan fibröz doku 12. haftada greftin tendinöz kısmını tünel duvarına tamamen yapıştırır. Zamanla yoğun fibröz doku remodeling′e uğrayarak kemik dokuya dönüşür (153,154).

5. Erken Dönem Fizik Tedavi Programı

Greft tespit materyalleri yeteri kadar sağlam fikse edilmemişse erken dönemde uygulanan fizik tedavi sonrası yetmezliğe ve tünel genişlemesine sebep olur (5,130,155).

6. Posterior Tibial Eğim

Posterior tibial eğim açısının fazla olmasının da tünel genişlemesinin nedeni olabileceğini söyleyen çalışmalar mevcuttur (156–159).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. MATERYAL

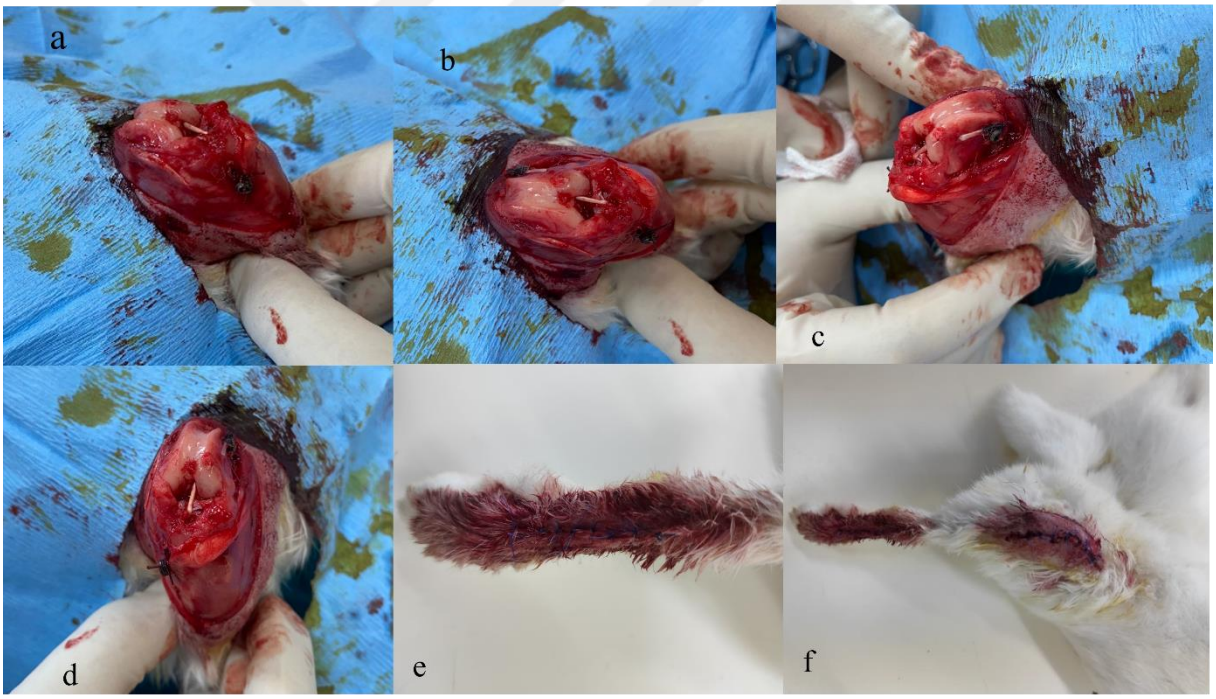
Çalışmamızda rastgele 2 grup oluşturarak, 400RPM ve 1500RPM devir hızlarında drillenen tünellerde drill devir hızının oluşturduğu nekrozun tünel genişlemesi ve greft iyileşmesine etkisinin radyolojik ve histolojik olarak incelemesini planladık. Bunun için öncelikle literatür tarandı ve benzer hayvan deneyleri araştırmaları incelendi. Bu konu hakkında çok fazla veri elde edemedik. Yapılan çalışmaların yöntemleri incelendikten sonra, insanlarda tünel drillenmesinin delici motor ile yapıldığını ve bu sebeple literatüte de katkısı olması için yüksek ve düşük devir hızı olan delici motor kullanarak çalışma yapabilmek adına etik kuruldan onay alındı. 23/2021 Protokol No'lu Dokuz Eylül Üniversitesi Yerel Etik Kurulu onayı ile 1 adet pilot çalışmada ve 12 adet ana çalışmada kullanılmak üzere erişkin, dişi, ağırlıkları 3-3,5 kg olan Yeni Zelanda türü tavşan temin edildi. Çalışmamız Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Multidisipliner Deney Hayvanları Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Proje için BAP 'tan maddi destek alındı. Öncelikle pilot çalışma için ayrılan 1 adet tavşan 'METOD' kısmında ayrıntılı anlatacağımız cerrahi işleme tabi tutuldu ve cerrahi sonrası çalışmanın yapılabilirliği kanıtlandı. Örneklerin radyolojik olarak incelenmesi EGE MATAL'da ve histolojik incelenmesi ise Dokuz Eylül Üniversitesi Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı'nda yapıldıktan sonra elde edilen veriler Shapiro-Wilk, t-Testi istatistiksel yöntem ile karşılaştırıldı.

3.2. METOD

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Laboratuvarı'nda yetiştirilen, 2,5- 3 kg ağırlığında, normal aktiviteye sahip, erişkin, 12 adet dişi Yeni Zelanda tavşanının tek diz eklemi çalışmaya dahil edildi. Çalışmada kullanılan denekler, standart laboratuvar koşullarında (20-24 °C oda sıcaklığı, %50 nem), serbest yem (ad libitum) ve su verilerek beslendi. Denekler, n=6 olacak şekilde rastgele 2 gruba ayrıldı.

Sedoanaljezi; tüm deneklerde 35mg/kg ketamin (Ketalar, Eczacıbaşı İlaç San. ve Tic. A.Ş. Lüleburgaz/ KIRKLARELİ), 5 mg/kg ksilazin (Rompun, BAYER Türk Kimya Sanç Ltd. Şti. Ümraniye/ İSTANBUL) intramüsküler yol ile uygulandı (160). Cerrahi enfeksiyon profilaksisi için, Sefazol (sefazolin sodyum, Mustafa Nevzat İlaç Sanayii A.Ş. Yenibosna/ İSTANBUL) 50mg/kg dozda intramüsküler uygulandı. İntramüsküler ilaç uygulamasının ardından deneklerde sedasyon oluşuncaya kadar ortalama 5 dakika beklendi. Denekler operasyon masasına alınmadan, her deneğin sağ dizi ve cruris anterioru tıraş edildi. Sonrasında tavşanlar operasyon masasına sırtüstü yatırılarak, sabitlendi. Sağ diz bölgesi polyvidon iyot (Batticon, Adeka İlaç San. ve Tic. A.Ş. Maslak/ İSTANBUL) ile boyandı ve cerrahi alan steril

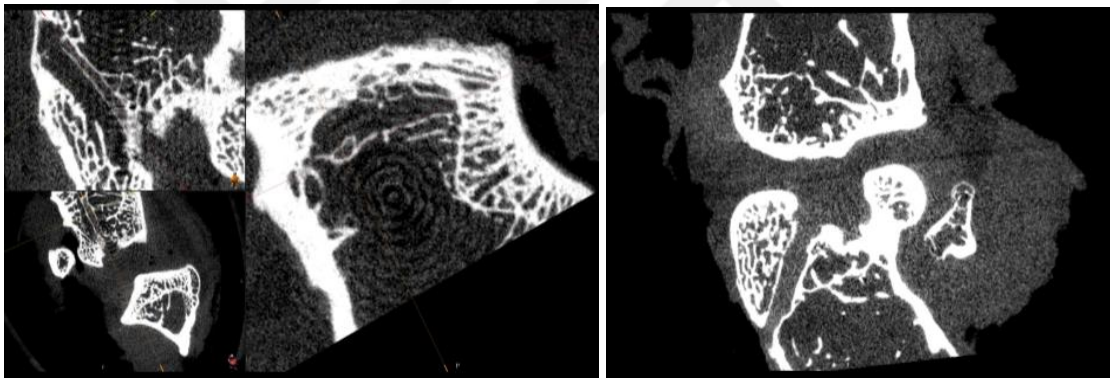
örtüler ile örtüldü. Sağ diz anteriorunda, yaklaşık 5 cm'lik insizyon ve sağ cruris anteriorunda 3 cm'lik insizyon ile cilt, cilt altı geçildi. Eklem medial parapatellar yaklaşımla açılarak, patella laterale deviye edildi. Diz eklemi maksimum fleksiyona alınarak ön çapraz bağı açığa çıkartıldı ve bistüri yardımıyla kesildi. 2.0 mm künt uçlu drill yardımı ile deneklerin ön çapraz bağlarının footprint noktalarına tibial ve femoral tünel açıldı. Drill devir hızı 1. Grupta 400 RPM 2. Gurupta ise 1500 RPM olarak ayarlandı. Drilleme işlemi sırasında serum fizyolojik ile yıkama yapıldı. Cruris anteriorundan ekstansör tendon grefti alındı ve greftin her iki ucu 4-0 vicryl ile Krakow sütür tekniği ile sütüre edildi. Tibial tünelin distaline ve femoral tünelin proksimaline 5mm mesafede 10mm boyutunda birer adet kortikal vida yerleştirildi. Hazırlanan greft tünellerden geçirildikten sonra diz midfleksiyon pozisyonunda sütürler kortikal vidaya bağlandı. Diz tam fleksiyon ve tam ekstansiyon pozisyonuna getirilerek greftin sağlamlığı kontrol edildi. İşlem sonrası yara yeri serum fizyolojik ile yıkandı. Patella redükte edildi ve 4-0 vicryl yardımıyla medial parapatellar kesi kapatıldı. Cilt 3-0 prolen ile usulüne uygun biçimde kapatıldı **(Resim 1.)**



Resim 1.: a, b, c, d pilot çalışmada kullanılan deney hayvanının sol dizinin perop farklı açılardan görüntüsü. e, f cerrahi işlem sonrası yara yerlerinin görüntüsü.

Resim 1.: Pilot çalışmada kullanılan deneğin sol dizine ait cerrahi işlemin görüntüleri

İşlem sonrası yara yeri tekrar polyvidon iyot ile temizlendi. Cerrahisi sonrası ilk iki gün deneklere analjezi için parasetamol parasetamol 2mg/kg içme suyuna katılarak oral yolla verildi. Deneklere atel uygulanmayıp, kafeslerinde serbestçe dolaşmalarına izin verildi. Yara yerleri iyileşene kadar deneklere günlük polyvidon iyot ile pansuman yapıldı, lokal veya sistemik enfeksiyon bulguları açısından yakın olarak izlendi. 12 hafta takibin sonunda tüm denekler yüksek doz sodyum tiyopental (Pental, İbrahim Etem Ulagay İlaç Sanayi Türk A.Ş. Topkapı/ İSTANBUL) uygulanarak sakrifiye edildi. Sakrifikasyon sonrası cerrahi işlem uygulanan dizler, femurda fiksasyon yapılan vidanın proksimalinden ve tibiada vidanın distalinden olacak şekilde kesilerek çıkartıldı. Sakrifikasyon sonrası alınan dokular %10 formol içine alınarak fikse edildi. Önce EGE MATAL Mikro CT Laboratuvarında 30 µm ölçütünde kesitler alınarak DİCOM formatına uygun tarandı. Elde edilen veriler Dokuz Eylül Üniversitesi Radyoloji Anabilim Dalı'nda dosya oluşturularak yüklendi. SECTRA IDS7 yardımıyla femoral ve tibial tünellerin giriş orta ve çıkış bölgelerinde toplam 6 ölçüm yapıldı. **(Resim 2.)**



Resim 2. : Tünelin radyolojik görüntüsüne ait kesitler.

Radyolojik taramalar yapıldıktan sonra EDTA solüsyonu içine alınan kemik dokuları yumuşayana kadar dekalsifiye edildi. Dekalsifikasyon sonrası rutin doku takibi protokolü uygulanarak, dokular parafin bloklara gömüldü.

Doku genel morfolojisinin değerlendirilmesi için Hematoksilen&Eozin, bağ doku değerlendirmesi için Masson Trichrome (04-010802, Bio-Optica, Italy) ve kemik doku değerlendirmesi için Alcian Blue (RRSK400-100, Atom Scientific, UK) boyamaları yapıldı. Dokudaki apopitotik hücrelerin değerlendirilmesi için Caspase-3 (bs-0081R, Bioss, USA) ve TUNEL (11684817910, Roche, Germany) boyamaları yapıldı.

İmmünohistokimya için biyotin-streptavidin (Histostain-plus IHC kit, Invitrogen, USA) yöntemi kullanıldı. Endojen peroksidaz aktivitesini bloklamak için 15 dk H_2O_2 ile inkübe edildi. Antigen retrieval için dokular Sitrat (15-M103, Bio-optica, Italy) ile 5 dk. mikrodalgada kaynatıldıktan sonra 20 dk. soğutuldu. 15 dk Blocking solüsyon ile inkübe edildikten sonra 1 gece primer antikor ile inkübe edildi. Ertesi gün dokular sırasıyla 30'ar dk. biyotinli sekonder antikor ve Streptavidin-peroksidaz ile inkübe edildi. Primer antikor olarak Caspase-3 (bs-0081R, Bioss, USA) (1:100) kullanıldı. Kromojen olarak diaminobenzidine (DAB Substrate, Roche, Germany) kullanıldı. Daha sonra kesitler Hematoksilen ile zemin boyaması yapılarak entellan ile kapatıldı.

Histolojik incelemeler için boyamalar yapıldıktan sonra kurutulma süreleri boyunca bekletildi. Daha sonra serum fizyolojik ile düşük volüm hızında yıkama yapıldı. Örnekler mikroskop altında incelendiğinde ise birçok histolojik materyalin lam üzerine yapışmadığı anlaşıldı. Yapışmama sebepleri ve buna karşı alınacak tedbirler için literatür tekrar gözden geçirildi. Bunun üzerine daha önce 5 mikron kalınlığında kesimler yapılan dokudan 3 mikron kalınlığında kesimler yapıldı. Özel adeziv lam kullanıldı. Yapışması için bir önceki boyamada beklenen sürenin iki katı beklendi ve tekrar yukarıda adı geçen boyamalar literatürde gösterildiği sıra ile uygulandı. Mikroskop altında tekrar inceleme sırasında yine birçok preparatın üzerinde histoloji materyalinin olmadığı görüldü. Yetersiz numune sayısı nedeniyle histolojik verilerin istatistiksel incelemesi yapılmadı. Sadece histolojik numunelerin olduğu preparatlar hakkında yorumlarda bulunuldu.

3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 24.0 paket programı kullanılarak deney hayvanları 2 mm kalınlığında drill kullanılarak 400RPM ve 1500RPM devir hızlarında 2 grupta tünel genişlemelerinin 2mm drill çapına göre genişliği, gruplar arası tünel çapları arasındaki fark ve grup içi tünel çapları arasındaki farklar analiz edildi. Tüm analizlerde SPSS 24.0 istatistik analiz yazılımı kullanıldı. Shapiro-Wilk, t-Testi için istatistik anlamlılık karar değeri $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

4.BULGULAR

4.1 RADYOLOJİK BULGULAR

Grupların dağılımda ölçümlerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek için yapılan Shapiro-Wilk test sonucunda anlamlı fark bulunmamış olup, normal dağılıma uygun olduğu gözlemlenmiştir. (p<0.05 kabul edildi.) **(Tablo 4.)**

Tablo 4. Grupların normal dağılım uygunluğu.

		Shapiro-Wilk		
	GRUP	Statistic	df	p
tibia distal	400	,845	6	,143
	1500	,892	6	,330
tibia orta	400	,944	6	,689
	1500	,932	6	,595
tibia proksimal	400	,841	6	,132
	1500	,918	6	,490
Femur distal	400	,986	6	,977
	1500	,929	6	,571
Femur orta	400	,898	6	,361
	1500	,853	6	,166
Femur proksimal	400	,977	6	,935
	1500	,877	6	,254

Levene testi ile varyansların homojen olduğu da saptandı. Ölçümler normal dağılıma uygun ve homojen varyansa sahip oldukları için analizler parametrik testler ile yapıldı.

Gruplar arası tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin karşılaştırılmasında t-Testi kullanılmış olup, sonucunda anlamlı fark bulunmamıştır. (p<0.05 kabul edildi.) **(Tablo 5.)**

Tablo 5. Gruplar arası tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin karşılaştırılması.

Group Statistics

	GRUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
tibia distal	400	6	,683	,3545	,1447	
	1500	6	1,050	,4135	,1688	,967
tibia orta	400	6	1,033	,3983	,1626	
	1500	6	,967	,3670	,1498	,928
tibia proksimal	400	6	1,417	,6524	,2664	
	1500	6	1,067	,5502	,2246	,470

Femur distal	400	6	1,467	,5888	,2404	
	1500	6	1,550	,3209	,1310	,272
Femur orta	400	6	1,233	,4967	,2028	
	1500	6	1,167	,6501	,2654	,516
Femur proksimal	400	6	1,117	,4119	,1682	
	1500	6	1,083	,5492	,2242	,731

400RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında One -Sample T-testi kullanılmış olup, tibia proksimal ve femur distal bölgelerinde genişleme anlamlıdır, diğer bölgelerde genişleme değerinde anlamlı fark bulunmamıştır. (P<0.05 kabul edildi.) **(Tablo 6.)**

Tablo 6. 400RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılması.

One-Sample Statistics[a]

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
tibia distal	6	,683	,3545	,1447	,000
tibia orta	6	1,033	,3983	,1626	,002
tibia proksimal	6	1,417	,6524	,2664	,080
Femur distal	6	1,467	,5888	,2404	,077
Femur orta	6	1,233	,4967	,2028	,013
Femur proksimal	6	1,117	,4119	,1682	,003

a. GRUP = 400

1500RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında One -Sample t-Testi kullanılmış olup, tünel genişlemesi bakımından anlamlı fark bulunmamış olup, anlamlı daralma mevcuttur. (p<0.05 kabul edildi.)**(Tablo 7.)**

Tablo 7. 1500RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal orta proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılması.

One-Sample Statistics[a]

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
tibia distal	6	1,050	,4135	,1688	,002
tibia orta	6	,967	,3670	,1498	,001
tibia proksimal	6	1,067	,5502	,2246	,009
Femur distal	6	1,550	,3209	,1310	,019
Femur orta	6	1,167	,6501	,2654	,026
Femur proksimal	6	1,083	,5492	,2242	,009

400RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması için bağımlı gruplarda t-Testi yapıldı. Testin sonucunda tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı. Tibia distal-femur proksimal grubunda anlamlı daralma gözlemlendi. (p<0.05 kabul edildi.) **(Tablo 8.)**

Tablo 8. 400RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması.

Paired Samples Statistics[a]

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
Pair 1	tibia distal	,683	6	,3545	,1447	
	Femur proksimal	1,117	6	,4119	,1682	,041
Pair 2	tibia orta	1,033	6	,3983	,1626	
	Femur orta	1,233	6	,4967	,2028	,340
Pair 3	tibia proksimal	1,417	6	,6524	,2664	
	Femur distal	1,467	6	,5888	,2404	,849

a. GRUP = 400

1500RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması için bağımlı gruplarda t-Testi yapıldı. Testin sonucunda tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı. (p<0.05 kabul edildi.)**(Tablo 9.)**

Tablo 9. 1500RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılması.

Paired Samples Statistics[a]

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	p
Pair 1	tibia distal	1,050	6	,4135	,1688	
	Femur proksimal	1,083	6	,5492	,2242	,454
Pair 2	tibia orta	,967	6	,3670	,1498	
	Femur orta	1,167	6	,6501	,2654	,224
Pair 3	tibia proksimal	1,067	6	,5502	,2246	
	Femur distal	1,550	6	,3209	,1310	,915

a. GRUP = 1500

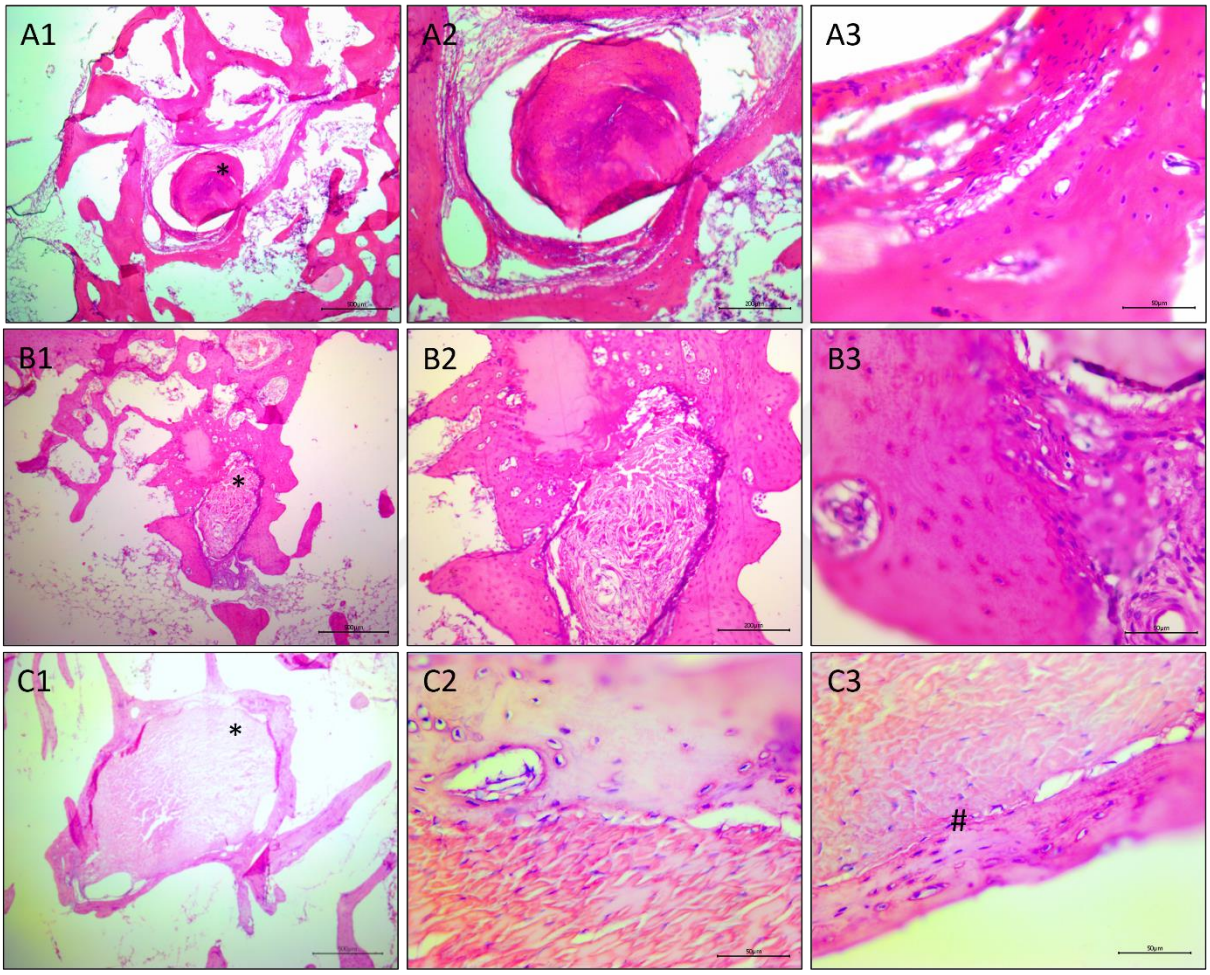
Radyolojik ölçümler tibia ve femurda açılmış olan tünelin proksimal, orta ve distal bölümünden IDS 7 SECTRA programı yardımıyla ölçülmüştür. (**Tablo 10.)**

Tablo 10.: Radyolojik ölçümler milimetre cinsinden gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
1		tibia distal	tibia orta	tibia proksi	femur distal	femur orta	femur proksi
2	400rpm1	0,2	0,6	0,5	0,7	1,2	1,3
3	400rpm2	0,9	0,9	0,7	1,5	1,2	1
4	400rpm3	1	1,1	1,7	2,4	1,8	1,3
5	400rpm4	0,7	0,7	1,7	1,1	0,8	0,9
6	400rpm5	0,3	1,2	1,8	1,3	0,6	0,5
7	400rpm6	1	1,7	2,1	1,8	1,8	1,7
8	1500rpm1	0,9	0,8	0,8	1,8	2,3	2,1
9	1500rpm2	1,8	1,3	2	1,6	0,6	0,8
10	1500rpm3	1,1	0,9	0,5	1,2	0,7	0,5
11	1500rpm4	1,1	1,5	1,4	1,2	0,7	0,9
12	1500rpm5	0,8	0,8	1	2	1,4	1
13	1500rpm6	0,6	0,5	0,7	1,5	1,3	1,2

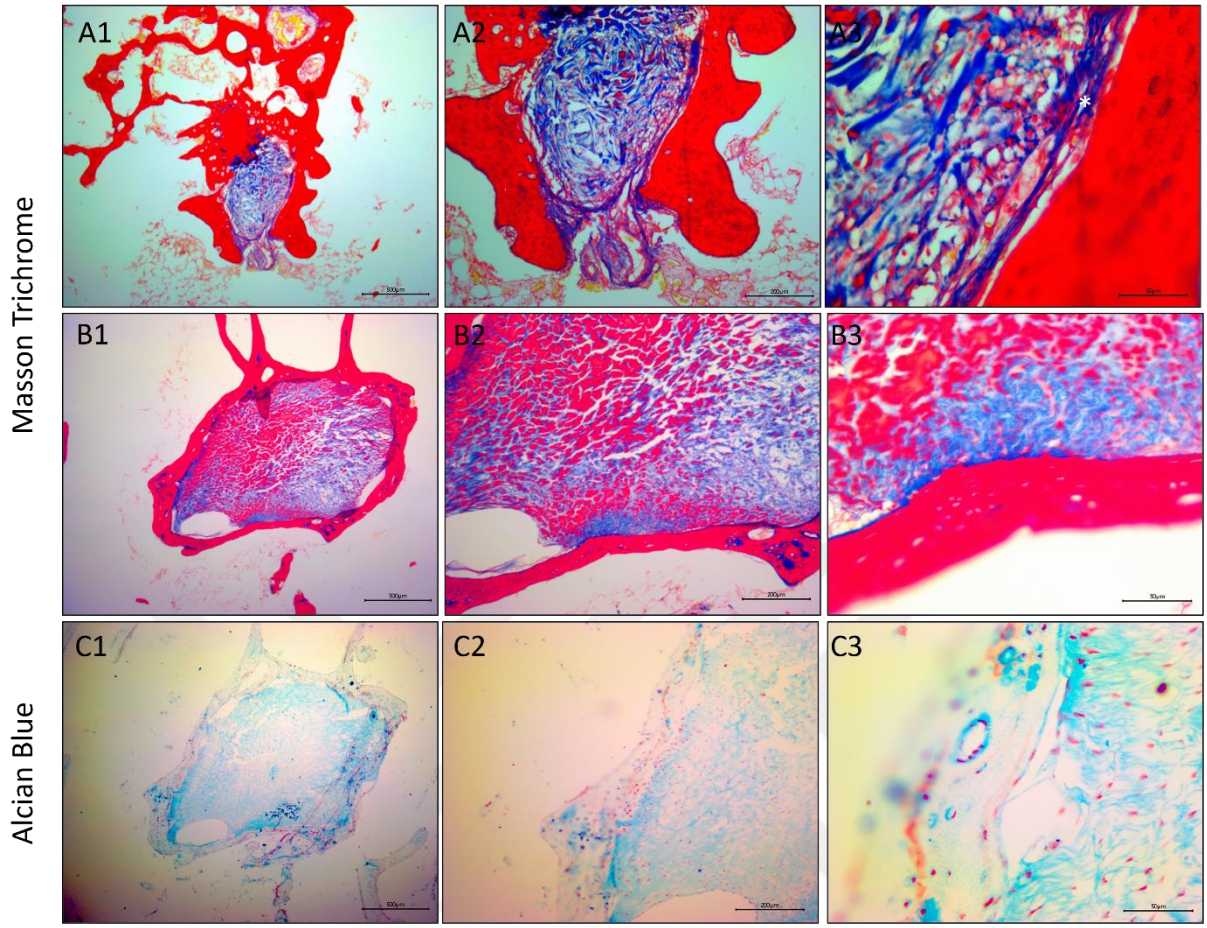
4.2 HİSTOLOJİK BULGULAR

H&E ile boyamada 1500 RPM grubunda tendon çevresinde önemli oranda fibrovasküler bağ dokusu gözlendi. Genel olarak kemik doku ve tendon arasında belirgin bir yapışma hattı gözlendi ve düzenli şekilde ilerlemiş görüldü. Kemik doku ve greft arasında belirgin lenfosit infiltrasyonu gözlenmedi (**Resim 3.)**.



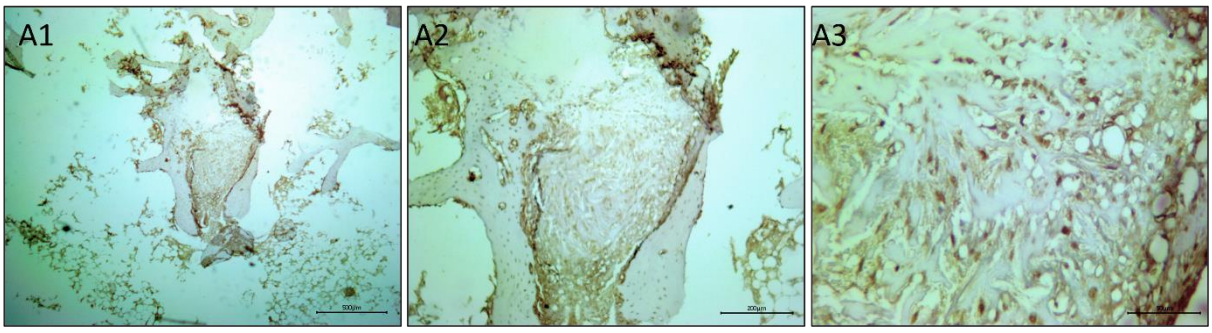
Resim 3.: H&E boyama sonuçları. A- 1500 RPM; B- 400 RPM; C- 1500 RPM. * kemik iliği içindeki tendon greft; #, kemik doku-tendon yapışma hattı. A1, B1, C1, 4x; A2, B2, C3, 10x; A3, B3, C3, 40x büyütme.

Masson trichrome ile bağ doku boyaması yapıldığında 19.07 grubunda tendon greft ve kemik doku arasında belirgin fibroz doku oluşumu görüldü. Alcian blue boyamasında greft alanında belirgin kıkırdak doku gözlenmedi **(Resim 4.)**.



Resim 4.: Masson trichrome ve Alcian Blue boyama. A- 400 RPM; B- 1500 RPM; C- 1500 RPM. * fibroz doku. A1, B1, C1, 4x; A2, B2, C3, 10x; A3, B3, C3, 40x büyütme.

Active caspase-3 boyamasında tendon greft ve kemik dokuda bol miktarda caspase-3 pozitif apopitotik hücre gözlendi **(Resim 5.)**.



Resim 5.: A1, A2, A3 400 RPM grubu Active caspase-3 boyaması.

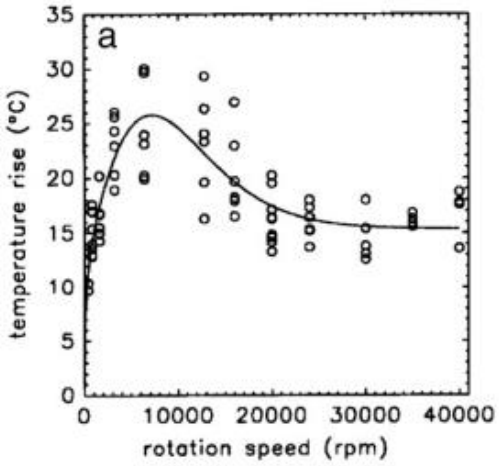
5. TARTIŞMA

Ön çapraz bağ yaralanması dizdeki en yaygın bağ yaralanmasıdır. Birleşik Devletlerde yılda 130.000-200.000 rekonstrüksiyon ve dünya çapında 400.000 rekonstrüksiyon cerrahisi yapılmaktadır (1–3).Toplumun sportif faaliyetlere daha fazla katılımı ile daha fazla insanın ÖÇB rüptürü olma olasılığı da günden güne artmaktadır. Artan cerrahiler başarısızlık sayılarında da artışları beraberinde getirmektedir. Başarısızlık sebeplerinden birisi de tünel genişlemesine bağlı yetmezliktir. Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda uygulanan tespit yöntemlerinin ve kullanılan greft türünün hepsinde kemikte tünel genişlemesi meydana gelmektedir (161). Radyolojik olarak görünen tünel genişlemesine neden olan etiyolojik nedenler net olarak bilinmemektedir. Araştırmacılar etyolojik nedenleri mekanik ve biyolojik faktörler olmak üzere iki ana başlıkta toplamışlardır (4,5). Mekanik faktörler uygunsuz greft yerleşimi, dizin kişiler arası farklılık gösteren anatomisi, fiksasyon yöntemleri ve materyalleri, tünel içindeki greftin mikro hareketi, agresif rehabilitasyonu içerir. (100,130,134). Biyolojik faktörler ise eklem sıvısı, inflamatuar yanıt, etilen oksit gazının toksik etkileri, allografte immün yanıt, drillemenin sebep olduğu hücre nekrozunu içerir (5–8). 47°C üzerindeki sıcaklığın kemikte nekroz oluşturduğu bilinmektedir (145–147). Başka bir çalışmada yapılan değerlendirmelerde sıcaklık nedeniyle termal nekroz, sıcaklık bir dakika boyunca 47 °C 'yi veya bir saat boyunca 43 °C 'yi aştığında meydana geldiği gösterilmiştir (162–165). Bundan yola çıkarak yüksek devir hızlarında drilleme sırasında oluşan sıcaklığın hücrelerde nekroza sebep olarak tüneli genişletebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmaya başlarken amacımız farklı devir hızlarında drilleme sonucu oluşan termal nekrozun tünel genişlemesi ve greft iyileşmesi üzerindeki etkilerini tavşan modelinde incelemek ve drilleme ile oluşan ve literatürde gösterilen termal nekrozun insan öçb rekonstrüksiyonunda kullanılan drill hızlarına benzer hızlarda oluşup oluşmayacağının gözlemlenmesiydi. İnsanlarda ÖÇB rekonstrüksiyonunda kullanılan mevcut drillerin devir hızlarına benzer devir hızları seçilerek, deney hayvanlarında greft iyileşmesi ve tünel genişlemesi araştırılarak, elde edilen sonuçlar ile bu ve benzeri çalışmalara kaynak sağlayarak literatüre katkıda bulunmayı planladık.

Çalışmamızda farklı drill devir hızlarının oluşturduğu farklı sıcaklık değerlerinin termal nekroz üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Diğer çalışmalarda drill devir hızlarının kemik üzerindeki sıcaklık değişimleri ölçülmüş ve çalışmamıza yön vermiştir. Goran Augustin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada artan drill devir hızları ile kemik dokuda oluşan sıcaklık arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 10000RPM hızına kadar sıcaklık artışı

meydana gelmiş, 10000 RPM i aşan drill devir hızlarında azalarak 40000-50000 RPM devir hızlarında plato çizmiştir (162) (**Tablo 11.).**



Tablo 11.: Drill devir hızıyla kemik dokuda meydana gelen sıcaklık arasındaki ilişki. (Goran Augustin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan orijinal alıntıdır.)

Birçok çalışmada 10000 RPM e kadar drill devir hızı ile sıcaklık arasında lineer bir doğru orantı ilişkisi gösterilmiştir (166–175). 10000 RPM in üzerindeki çalışmalarda ise ters orantılı bir ilişki olduğu görüldü (176,177).

Reingewirtz, yaptığı bir çalışmasında devir hızının 400-7000 RPM'de sıcaklık artışı ile doğru orantılı, 7000-24000 RPM'de ters orantılı ve 40000 RPM'e kadar olan hızlarda ise plato çizdiğini söylemiştir (178).

Başka bir çalışmada ise drill devir hızlarıyla sıcaklık arasındaki ilişki karşılaştırılmış ve 900, 1050 ve 1200 RPM devir hızlarında maksimum kemik doku sıcaklıkları sırasıyla 53,7°C, 50,2°C ve 47,0°C bulunmuştur (179).

Ender Ugutmen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (180) erken dönem tibial ve femoral tünel genişlemelerinin, ilk önce matkap ucunun sarkaç hareketi ve ısı nekrozuyla üretilen, spesifik olmayan bir enflamatuar reaksiyonla artan oldukça erken bir süreç olduğu bulundu. Bu bulguların da daha önceki diğer çalışmalar ile benzer sonuçlar gösterdiği görüldü (181–184).

Li Yue ve arkadaşlarının JB&JS (JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY) dergisinde 2020 yılında yayınlanan makalesinde drillemeden kaynaklanan kemik nekrozunun kemik tünel genişlemesi sürecinde rol oynayabileceğini öne sürdü. Drill kullanılarak tünel

açıldığında, çevre dokuda nekroza neden olan belirli bir miktarda ısı oluşturur ve bu ısı enerjisiyle oluşan nekrozun ikincil bir enflamasyon tepkisi ile arttığı öne sürülmüştür (185).

Fahey ve Indelicato, literatürdeki birçok çalışmada kemik tünel genişlemesinin potansiyel bir nedeni olarak belirtilen drillenen kemikte resorbe olan kanselloz kemiğin nekrotik kenarını tanımlamıştır (186).Bu çalışma daha önce yapılan çalışmalar ile benzer sonuçlar göstermiştir (187,188).

Termal nekrozun implantların çevresinde kemik rezorpsiyonu ile sonuçlandığını, implantın gevşemesine ve osteosentezin başarısızlığına yol açtığını gösteren birçok çalışma mevcuttur (166,167,189–195).

Birçok çalışma, irrigasyon ile soğutmanın kemik drilleme işlemindeki sıcaklık artışını azaltmadaki en etkili yol olabileceği konusunda hemfikirdir (165,171,172,196–205).

Soğutma sistemi internal veya eksternal olarak yapılabilir. Haider ve arkadaşları, Benington ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda internal soğutmanın eksternal soğutmaya karşı belirgin bir üstünlüğünü saptayamamışlardır (203,206).

Matthews ve Hirsch tarafından yapılan çalışmada, harici soğutma için sulama hızı ne kadar yüksek olursa kemik sıcaklığının o kadar düşük olduğunu gösterilmiştir. 500 ml/dk irrigasyon hızı, kemik sıcaklığını kritik seviye olan 47 °C'ye yakın olan 50 °C'nin altına düşürmek için yeterli olduğu bulunmuştur (168).

Rupesh Kumar Pandey ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sıcaklık artışının drillin devir hızı, ilerleme hızı, soğutma sisteminin özellikleri, drilleme derinliği, çapı, kesici yüzün açıları, sarmal açısı, uç açıları, aşınması vs. özelliklerinden etkilendiğini bulmuştur (207).

Çalışmamız hayvan deneyleri olduğu için güç analizine gerek duyulmadan minimum sınır olan üçün üzerinde hayvan kullanılmıştır. Grup içi ve gruplar arası dağılım homojen olduğundan dolayı ise analizde parametrik testler yapılmıştır.

Literatür tarandığında el matkabından 60000-100000 RPM devir hızına kadar farklı hızların sıcaklık oluşturma üzerine etkisi araştırıldığı görüldü. Fakat birçok çalışma sadece nekroza odaklandığından dolayı özellikle tünel genişlemesini konu alan makale sayısının az olduğu tespit edildi. Bu yüzden literatüre de katkı sağlamak amacı ile insanda kullanılan yönteme benzer yöntem seçildi. Daha da açmak gerekirse devir hızlarının 1500 RPM olması ve daha önceki çalışmalardan bilindiği üzere irrigasyonun sıcaklık artışını engellemesinden dolayı drilleme esnasında her iki grupta oda sıcaklığında serum fizyolojik ile irrigasyon yapıldı. Çalışmayı tek cerrah aynı drilli kullanarak yaptı. Drill ısısı oda sıcaklığında idi.

Radyolojik ölçümler incelendiğinde her iki grupta genişlemenin olmadığı hatta daralmanın olduğu saptandı. Gruplar arası tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta,

proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin karşılaştırılmasında tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı.

400RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta, proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında proksimal tibia ve distal femur bölgelerinde anlamlı genişleme saptandı. Bu sonucun deneylerin dizlerinin operasyon sonrası dize fiksasyon uygulanmaması ve buna bağlı erken donemde tünel içi mikro harekete bağlı olduğunu düşünmekteyiz.

1500RPM grubunda tibia distal, orta, proksimal ve femur distal, orta, proksimal bölgelerinin radyolojik ölçümlerinin 2mm çaplı drill ile karşılaştırılmasında da tünel genişlemesi saptanmadı. Literatürde gösterilen '10000RPM devir hızına kadarki artışlarda sıcaklık artışının da lineer olarak artar' bilgisi göz önünde bulundurulduğunda serum fizyolojik ile irrigasyon yapıldığı taktirde sıcaklık artışının insanlarda kullanılan drillerin yüksek devir hızlarında bile tünel genişlemesi oluşturmayacağı kanaatindeyiz. Tabii ki bu çalışma hayvanlar üzerinde yapıldığından insanlara birebir uygulamamız mümkün değildir, ama insanlar üzerinde yapılacak bir çalışmada ön ayak olacaktır.

400RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılmasında tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı. Tibia distal-femur proksimal grubunda anlamlı daralma gözlemlendi. 1500RPM grubunda grup içi eşleşmelerin karşılaştırılmasında tünel genişlemesi açısından anlamlı fark bulunmadı. Bu bize düşük devir hızında iyileşmenin daha iyi olduğu, tünel genişlemesi açısından ise anlamlı olmadığını, tibia orta- femur orta ve tibia proksimal-femur distal gruplarında ise anlamlı daralmanın olmamasının sebebi olarak yukarıda belirttiğimiz üzere ameliyat sonrası dönemde dizdeki fiksasyon yetersizliğinden kaynaklanan mikroharekete bağlı olduğunu düşündürdü.

Bu çalışma bize hipotezimizde belirttiğimizin aksine insanlarda kullanılan drillerin yüksek devir hızlarında oluşan ısı artışının tünel genişlemesinde sanıldığı kadar etkili olmayacağını gösterdi.

Çalışmanın amacının sadece drill devir hızının tünel genişlemesi ve greft iyileşmesine etkisinin araştırılması olduğunu göz önüne alırsak, dizde ameliyat sonrası fiksasyon yetersizliğine bağlı mikrohareketin olması, greft çapının ölçülmemesi, eklem sıvısının olası tünel genişleme etkilerinin ekarte edilememesi, drilleme esnasında oluşan sıcaklık artışının sadece devir hızından değil, ilerleme hızı, drilleme esnasında tünel içinde geçen sürenin ölçülmemesi bakımından zayıf tarafları mevcuttur

Çalışmamızda 5 farklı boyama (Hematoksilen&Eozin, Masson Trichrome, Alcian Blue, TUNNEL ve Caspase-3) ile greftin ligamantizasyon süreci incelenmek istendi. Fakat alınan

örneklerin lam üzerine yapışmaması, yapışan örneklerin çoğunda ise greft materyalinin tünel içerisinde görülmemesi nedeniyle histolojik boyalamalarda yeterli sayıda örneğe ulaşılamadı. Kesitlerde tünel içerisinde greftin görülmemesinin sebebi tarafımızca fiksasyon yapılmadığı için greft kopmasına bağlı olduğu kanaatine varıldı. Yetersiz örnek sebebiyle istatistiksel değerlendirme yapılamadı. TUNNEL ve Caspase-3 boyamalarında lam üzerine hiç dokunun yapışmaması nedeniyle görüntü alınamadı.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın özeti olarak cerrahi işlemlerde kullanılan drillerin yüksek devir hızlarında oluşan ısı artışının termal nekroz oluşturarak tünel genişlemesinde sanıldığı kadar etkili olmayacağı sonucuna vardık.

7. KAYNAKLAR

1. Rayan F, Nanjayan SK, Quah C, Ramoutar D, Konan S, Haddad FS. Review of evolution of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction. World J Orthop. 2015 Mar 18;6(2):252–62.
2. Mall NA, Chalmers PN, Moric M, Tanaka MJ, Cole BJ, Bach BR, et al. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. Am J Sports Med. 2014 Oct;42(10):2363–70.
3. Gottlob CA, Baker CL, Pellissier JM, Colvin L. Cost effectiveness of anterior cruciate ligament reconstruction in young adults. Clin Orthop Relat Res. 1999 Oct;(367):272–82.
4. Wilson TC, Kantaras A, Atay A, Johnson DL. Tunnel Enlargement after Anterior Cruciate Ligament Surgery. Am J Sports Med. 2004 Mar 30;32(2):543–9.
5. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998;6(4):231–40.
6. Jackson DW, Windler GE, Simon TM. Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried, ethylene oxide-sterilized bone-patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. Am J Sports Med. 1990;18(1):1–10; discussion 10-1.
7. Roberts TS, Drez D, McCarthy W, Paine R. Anterior cruciate ligament reconstruction using freeze-dried, ethylene oxide-sterilized, bone-patellar tendon-bone allografts. Two year results in thirty-six patients. Am J Sports Med. 1991;19(1):35–41.
8. Zislis T, Mark DE, Cerbas EL, Hollinger JO. Scanning electron microscopic study of cell attachment to biodegradable polymer implants. J Oral Implantol. 1989;15(3):160–7.
9. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. Clin Orthop Relat Res. 2007 Jan;454:35–47.

10. Stark J. Two Cases of Rupture of the Crucial Ligament of the Knee-Joint. Edinb Med Surg J. 1850 Oct 1;74(185):267–71.

11. Snook GA. A short history of the anterior cruciate ligament and the treatment of tears. Clin Orthop Relat Res. 1983;(172):11–3.

12. Robson AW. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. Ann Surg. 1903 May;37(5):716–8.

13. Cabaud HE. Biomechanics of the anterior cruciate ligament. Clin Orthop Relat Res. 1983;(172):26–31.

14. Colombet P, Allard M, Bousquet V, de Lavigne C, Flurin PH, Lachaud C. Anterior cruciate ligament reconstruction using four-strand semitendinosus and gracilis tendon grafts and metal interference screw fixation. Arthroscopy. 2002 Mar;18(3):232–7.

15. JONES KG. RECONSTRUCTION OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT. A TECHNIQUE USING THE CENTRAL ONE-THIRD OF THE PATELLAR LIGAMENT. J Bone Joint Surg Am. 1963 Jul;45:925–32.

16. Arnold JA, Coker TP, Heaton LM, Park JP, Harris WD. Natural history of anterior cruciate tears. Am J Sports Med. 1979;7(6):305–13.

17. Dandy DJ, Flanagan JP, Steenmeyer V. Arthroscopy and the management of the ruptured anterior cruciate ligament. Clin Orthop Relat Res. 1982 Jul;(167):43–9.

18. Clancy WG. Intra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament. Orthop Clin North Am. 1985 Apr;16(2):181–9.

19. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006 Mar;14(3):204–13.

20. Ellison AE, Berg EE. Embryology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. Orthop Clin North Am. 1985 Jan;16(1):3–14.

21. Ratajczak W. Early development of the cruciate ligaments in staged human embryos. Folia Morphol (Warsz). 2000;59(4):285–90.

22. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. J Bone Joint Surg Br. 1991 Mar;73(2):260–7.

23. Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, Moreland MS, Cohen M, Fu FH. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. Arthroscopy. 2007 Mar;23(3):278–83.

24. Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TAS, Neyret P. Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Aug;18(8):1075–84.

25. Norwood LA, Cross MJ. The intercondylar shelf and the anterior cruciate ligament. Am J Sports Med. 1977;5(4):171–6.

26. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. Clin Orthop Relat Res. 1975;(106):216–31.

27. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SLY. Quantitative Analysis of Human Cruciate Ligament Insertions. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. 1999 Oct;15(7):741–9.

28. Giuliani JR, Kilcoyne KG, Rue JPH. Anterior cruciate ligament anatomy: a review of the anteromedial and posterolateral bundles. J Knee Surg. 2009 Apr;22(2):148–54.

29. Dabirrahmani D, Hogg M. Modification of the Grood and Suntay Joint Coordinate System equations for knee joint flexion. Med Eng Phys. 2017 Jan;39:113–6.

30. Takeda Y, Xerogeanes JW, Livesay GA, Fu FH, Woo SL. Biomechanical function of the human anterior cruciate ligament. Arthroscopy. 1994 Apr;10(2):140–7.

31. Iwaki H, Pinskerova V, Freeman MA. Tibiofemoral movement 1: the shapes and relative movements of the femur and tibia in the unloaded cadaver knee. J Bone Joint Surg Br. 2000 Nov;82(8):1189–95.

32. Kato Y, Ingham SJM, Maeyama A, Lertwanich P, Wang JH, Mifune Y, et al. Biomechanics of the human triple-bundle anterior cruciate ligament. Arthroscopy. 2012 Feb;28(2):247–54.

33. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. Am J Sports Med. 1991;19(3):217–25.

34. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. J Am Acad Orthop Surg. 2000;8(3):141–50.

35. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthopedics. 2000 Jun;23(6):573–8.

36. Johnston JT, Mandelbaum BR, Schub D, Rodeo SA, Matava MJ, Silvers-Granelli HJ, et al. Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. Am J Sports Med. 2018 Mar;46(4):862–8.

37. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. Am J Sports Med. 2007 Mar;35(3):359–67.

38. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. Am J Sports Med. 2007 Mar;35(3):359–67.

39. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. Am J Sports Med. 2010 Nov;38(11):2218–25.

40. Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. Br J Sports Med. 2009 Jun;43(6):417–22.

41. Cochrane JL, Lloyd DG, Buttfield A, Seward H, McGivern J. Characteristics of anterior cruciate ligament injuries in Australian football. J Sci Med Sport. 2007 Apr;10(2):96–104.

42. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. Am J Sports Med. 2009 Feb;37(2):252–9.

43. Kernozek TW, Ragan RJ. Estimation of anterior cruciate ligament tension from inverse dynamics data and electromyography in females during drop landing. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2008 Dec;23(10):1279–86.

44. Cerulli G, Benoit DL, Lamontagne M, Caraffa A, Liti A. In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2003 Sep;11(5):307–11.

45. Levine JW, Kiapour AM, Quatman CE, Wordeman SC, Goel VK, Hewett TE, et al. Clinically relevant injury patterns after an anterior cruciate ligament injury provide insight into injury mechanisms. Am J Sports Med. 2013 Feb;41(2):385–95.

46. Arendt EA, Agel J, Dick R. Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. J Athl Train. 1999 Apr;34(2):86–92.

47. Nigg BM, Segesser B. The influence of playing surfaces on the load on the locomotor system and on football and tennis injuries. Sports Med. 1988 Jun;5(6):375–85.

48. Shelbourne KD, Facibene WA, Hunt JJ. Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1997;5(4):229–33.

49. Zeng C, Gao S guang, Wei J, Yang T bao, Cheng L, Luo W, et al. The influence of the intercondylar notch dimensions on injury of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2013 Apr;21(4):804–15.

50. Barnum MS, Boyd ED, Vacek P, Slauterbeck JR, Beynnon BD. Association of Geometric Characteristics of Knee Anatomy (Alpha Angle and Intercondylar Notch Type) With Noncontact ACL Injury. Am J Sports Med. 2021 Aug;49(10):2624–30.

51. Posthumus M, September A v, O'Cuinneagain D, van der Merwe W, Schwellnus MP, Collins M. The COL5A1 gene is associated with increased risk of anterior cruciate ligament ruptures in female participants. Am J Sports Med. 2009 Nov;37(11):2234–40.

52. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. Am J Sports Med. 2006 Feb;34(2):299–311.

53. Guillodo Y, Rannou N, Dubrana F, Lefèvre C, Saraux A. Diagnosis of anterior cruciate ligament rupture in an emergency department. J Trauma. 2008 Nov;65(5):1078–82.

54. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. J Orthop Sports Phys Ther. 2006 May;36(5):267–88.

55. Scholten RJPM, Opstelten W, van der Plas CG, Bijl D, Deville WLJM, Bouter LM. Accuracy of physical diagnostic tests for assessing ruptures of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. J Fam Pract. 2003 Sep;52(9):689–94.

56. Katz JW, Fingeroth RJ. The diagnostic accuracy of ruptures of the anterior cruciate ligament comparing the Lachman test, the anterior drawer sign, and the pivot shift test in acute and chronic knee injuries. Am J Sports Med. 1986;14(1):88–91.

57. Rossi R, Dettoni F, Bruzzone M, Cottino U, D'Elicio DG, Bonasia DE. Clinical examination of the knee: know your tools for diagnosis of knee injuries. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol. 2011 Oct 28;3:25.

58. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. Am J Sports Med. 1976;4(2):84–93.

59. Mall NA, Chalmers PN, Moric M, Tanaka MJ, Cole BJ, Bach BR, et al. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. Am J Sports Med. 2014 Oct;42(10):2363–70.

60. Musahl V, Citak M, O'Loughlin PF, Choi D, Bedi A, Pearle AD. The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. Am J Sports Med. 2010 Aug;38(8):1591–7.

61. Galway HR, MacIntosh DL. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. Clin Orthop Relat Res. 1980;(147):45–50.

62. Heusdens CHW, Zazulia K, Roelant E, Dossche L, van Tiggelen D, Roeykens J, et al. Study protocol: a single-blind, multi-center, randomized controlled trial comparing dynamic intraligamentary stabilization, internal brace ligament augmentation and reconstruction in individuals with an acute anterior cruciate ligament rupture: LIBRƎ study. BMC Musculoskelet Disord. 2019 Dec 18;20(1):547.

63. Ng WHA, Griffith JF, Hung EHY, Paunipagar B, Law BKY, Yung PSH. Imaging of the anterior cruciate ligament. World J Orthop. 2011 Aug 18;2(8):75–84.

64. Polly DW, Callaghan JJ, Sikes RA, McCabe JM, McMahon K, Savory CG. The accuracy of selective magnetic resonance imaging compared with the findings of arthroscopy of the knee. J Bone Joint Surg Am. 1988 Feb;70(2):192–8.

65. Ng WHA, Griffith JF, Hung EHY, Paunipagar B, Law BKY, Yung PSH. Imaging of the anterior cruciate ligament. World J Orthop. 2011 Aug 18;2(8):75–84.

66. Chen WT, Shih TTF, Tu HY, Chen RC, Shau WY. Partial and complete tear of the anterior cruciate ligament. Acta Radiol. 2002 Sep;43(5):511–6.

67. Chan WP, Peterfy C, Fritz RC, Genant HK. MR diagnosis of complete tears of the anterior cruciate ligament of the knee: importance of anterior subluxation of the tibia. AJR Am J Roentgenol. 1994 Feb;162(2):355–60.

68. Vahey TN, Hunt JE, Shelbourne KD. Anterior translocation of the tibia at MR imaging: a secondary sign of anterior cruciate ligament tear. Radiology. 1993 Jun;187(3):817–9.

69. Skovgaard Larsen LP, Rasmussen OS. Diagnosis of acute rupture of the anterior cruciate ligament of the knee by sonography. Eur J Ultrasound. 2000 Dec;12(2):163–7.

70. Goradia VK, Grana WA. A comparison of outcomes at 2 to 6 years after acute and chronic anterior cruciate ligament reconstructions using hamstring tendon grafts. Arthroscopy. 2001 Apr;17(4):383–92.

71. Barrett GR, Rook RT, Nash CR, Coggin MR. The effect of Workers' Compensation on clinical outcomes of arthroscopic-assisted autogenous patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction in an acute population. Arthroscopy. 2001 Feb;17(2):132–7.

72. Beynnon BD, Johnson RJ, Fleming BC, Kannus P, Kaplan M, Samani J, et al. Anterior cruciate ligament replacement: comparison of bone-patellar tendon-bone grafts with two-strand hamstring grafts. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am. 2002 Sep;84(9):1503–13.

73. Anderson AF, Snyder RB, Lipscomb AB. Anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study of three surgical methods. Am J Sports Med. 2001;29(3):272–9.

74. Gottlob CA, Baker CL, Pellissier JM, Colvin L. Cost effectiveness of anterior cruciate ligament reconstruction in young adults. Clin Orthop Relat Res. 1999 Oct;(367):272–82.

75. Yack HJ, Collins CE, Whieldon TJ. Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament-deficient knee. Am J Sports Med. 1993;21(1):49–54.

76. Ciccotti MG, Lombardo SJ, Nonweiler B, Pink M. Non-operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle-aged patients. Results after long-term follow-up. J Bone Joint Surg Am. 1994 Sep;76(9):1315–21.

77. Frank CB, Jackson DW. The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am. 1997 Oct;79(10):1556–76.

78. Grindem H, Eitzen I, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Risberg MA. Nonsurgical or Surgical Treatment of ACL Injuries: Knee Function, Sports Participation, and Knee Reinjury: The Delaware-Oslo ACL Cohort Study. J Bone Joint Surg Am. 2014 Aug 6;96(15):1233–41.

79. Frobell RB, Roos HP, Roos EM, Roemer FW, Ranstam J, Lohmander LS. Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. BMJ. 2013 Jan 24;346:f232.

80. Beaufils P, Hulet C, Dhénain M, Nizard R, Nourissat G, Pujol N. Clinical practice guidelines for the management of meniscal lesions and isolated lesions of the anterior cruciate ligament of the knee in adults. Orthop Traumatol Surg Res. 2009 Oct;95(6):437–42.

81. Saithna A, Daggett M, Helito CP, Monaco E, Franck F, Vieira TD, et al. Clinical Results of Combined ACL and Anterolateral Ligament Reconstruction: A Narrative Review from the SANTI Study Group. J Knee Surg. 2021 Jul;34(9):962–70.

82. Rezende FC, de Moraes VY, Martimbianco ALC, Luzo MV, da Silveira Franciozi CE, Belloti JC. Does Combined Intra- and Extraarticular ACL Reconstruction Improve Function and Stability? A Meta-analysis. Clin Orthop Relat Res. 2015 Aug;473(8):2609–18.

83. Heusdens CHW, Blockhuys K, Roelant E, Dossche L, van Glabbeek F, van Dyck P. Suture tape augmentation ACL repair, stable knee, and favorable PROMs, but a re-rupture rate of 11% within 2 years. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2021 Nov 2;29(11):3706–14.

84. van der List JP, Vermeijden HD, Sierevelt IN, Rademakers M v, Falke MLM, Helmerhorst GTT, et al. Repair versus reconstruction for proximal anterior cruciate ligament tears: a study protocol for a prospective multicenter randomized controlled trial. BMC Musculoskelet Disord. 2021 Apr 30;22(1):399.

85. Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M. Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. Am J Sports Med. 1991;19(4):332–6.

86. Andriacchi TP, Briant PL, Bevill SL, Koo S. Rotational changes at the knee after ACL injury cause cartilage thinning. Clin Orthop Relat Res. 2006 Jan;442:39–44.

87. Fu FH, Schulte KR. Anterior cruciate ligament surgery 1996. State of the art? Clin Orthop Relat Res. 1996 Apr;(325):19–24.

88. Scranton PE, Bagenstose JE, Lantz BA, Friedman MJ, Khalfayan EE, Auld MK. Quadruple hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a multicenter study. Arthroscopy. 2002 Sep;18(7):715–24.

89. Zhou R, Ren S, Wu J, Li C, Xie X, You T, et al. A Bone-Hamstring Autograft for Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Arthrosc Tech. 2021 Apr 1;10(4):e1033–8.

90. Clark R, Olsen RE, Larson BJ, Goble EM, Farrer RP. Cross-pin femoral fixation: a new technique for hamstring anterior cruciate ligament reconstruction of the knee. Arthroscopy. 1998 Apr;14(3):258–67.

91. Arnold MP, Kooloos J, van Kampen A. Single-incision technique misses the anatomical femoral anterior cruciate ligament insertion: a cadaver study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2001 Jul;9(4):194–9.

92. Richmond JC. Three surgical methods of anterior cruciate ligament reconstruction were equally effective. J Bone Joint Surg Am. 2002 Feb;84(2):323.

93. Patel J v, Church JS, Hall AJ. Central third bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction: a 5-year follow-up. Arthroscopy. 2000;16(1):67–70.

94. Harner CD, Olson E, Irrgang JJ, Silverstein S, Fu FH, Silbey M. Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 3- to 5-year outcome. Clin Orthop Relat Res. 1996 Mar;(324):134–44.

95. Greis PE, Steadman JR. Revision of failed prosthetic anterior cruciate ligament reconstruction. Clin Orthop Relat Res. 1996 Apr;(325):78–90.

96. Delay BS, McGrath BE, Mindell ER. Observations on a retrieved patellar tendon autograft used to reconstruct the anterior cruciate ligament. A case report. J Bone Joint Surg Am. 2002 Aug;84(8):1433–8.

97. Scranton PE, Bagenstose JE, Lantz BA, Friedman MJ, Khalfayan EE, Auld MK. Quadruple hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a multicenter study. Arthroscopy. 2002 Sep;18(7):715–24.

98. Williams RJ, Hyman J, Petrigliano F, Rozental T, Wickiewicz TL. Anterior cruciate ligament reconstruction with a four-strand hamstring tendon autograft. Surgical technique. J Bone Joint Surg Am. 2005 Mar;87 Suppl 1(Pt 1):51–66.

99. Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, Ma CB. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. Am J Sports Med. 1999;27(6):821–30.

100. Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial. J Bone Joint Surg Am. 2004 Oct;86(10):2143–55.

101. Erickson BJ, Harris JD, Fillingham YA, Frank RM, Bush-Joseph CA, Bach BR, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction practice patterns by NFL and NCAA football team physicians. Arthroscopy. 2014 Jun;30(6):731–8.

102. Carmichael JR, Cross MJ. Why bone-patella tendon-bone grafts should still be considered the gold standard for anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med. 2009 May;43(5):323–5.

103. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. J Bone Joint Surg Am. 1984 Mar;66(3):344–52.

104. Brand J, Hamilton D, Selby J, Pienkowski D, Caborn DN, Johnson DL. Biomechanical comparison of quadriceps tendon fixation with patellar tendon bone plug interference fixation in cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 2000 Nov;16(8):805–12.

105. Shino K, Kawasaki T, Hirose H, Gotoh I, Inoue M, Ono K. Replacement of the anterior cruciate ligament by an allogeneic tendon graft. An experimental study in the dog. J Bone Joint Surg Br. 1984 Nov;66(5):672–81.

106. Mariscalco MW, Magnussen RA, Mehta D, Hewett TE, Flanigan DC, Kaeding CC. Autograft versus nonirradiated allograft tissue for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. Am J Sports Med. 2014 Feb;42(2):492–9.

107. Youn I, Jones DG, Andrews PJ, Cook MP, Suh JKF. Periosteal augmentation of a tendon graft improves tendon healing in the bone tunnel. Clin Orthop Relat Res. 2004 Feb;(419):223–31.

108. Jackson DW, Corsetti J, Simon TM. Biologic incorporation of allograft anterior cruciate ligament replacements. Clin Orthop Relat Res. 1996 Mar;(324):126–33.

109. Silva A, Sampaio R, Pinto E. Femoral tunnel enlargement after anatomic ACL reconstruction: a biological problem? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Sep;18(9):1189–94.

110. Tom JA, Rodeo SA. Soft tissue allografts for knee reconstruction in sports medicine. Clin Orthop Relat Res. 2002 Sep;(402):135–56.

111. Schonewill A, Rogers K, Spear A, Weinberg D, Pitt R. Combined Effects of Aquatic and Land-Based Rehabilitation in Female Soccer Players Post ACL Reconstruction: An Overview of Current Evidence. J Phys Ther Health Promot. 2015 Jun 30;3(2):11–9.

112. Wright RW, Preston E, Fleming BC, Amendola A, Andrish JT, Bergfeld JA, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: part I: continuous passive motion, early weight bearing, postoperative bracing, and home-based rehabilitation. J Knee Surg. 2008 Jul;21(3):217–24.

113. van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. Br J Sports Med. 2016 Dec;50(24):1506–15.

114. van Grinsven S, van Cingel REH, Holla CJM, van Loon CJM. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Aug;18(8):1128–44.

115. Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med. 2009 May;43(5):371–6.

116. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. Best Pract Res Clin Rheumatol. 2019 Feb;33(1):33–47.

117. Burgi CR, Peters S, Ardern CL, Magill JR, Gomez CD, Sylvain J, et al. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. Br J Sports Med. 2019 Sep;53(18):1154–61.

118. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. Br J Sports Med. 2016 Jul;50(13):804–8.

119. Flanigan DC, Everhart JS, Pedroza A, Smith T, Kaeding CC. Fear of reinjury (kinesiophobia) and persistent knee symptoms are common factors for lack of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 2013 Aug;29(8):1322–9.

120. de Valk EJ, Moen MH, Winters M, Bakker EWP, Tamminga R, van der Hoeven H. Preoperative patient and injury factors of successful rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction with single-bundle techniques. Arthroscopy. 2013 Nov;29(11):1879–95.

121. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. Br J Sports Med. 2016 Aug;50(15):946–51.

122. Fox AE, Johnson DS. Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. J Bone Joint Surg Am. 2005 Aug;87(8):1882–3; author reply 1883.

123. Marx RG. Functional bracing was no better than nonbracing after anterior cruciate ligament repair. J Bone Joint Surg Am. 2005 Aug;87(8):1890.

124. Adala R, Anand A, Kodikal G. Deep vein thrombosis and thromboprophylaxis in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. Indian J Orthop. 2011 Sep;45(5):450–3.

125. O'Neill DB. Arthroscopically assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. A follow-up report. J Bone Joint Surg Am. 2001 Sep;83(9):1329–32.

126. Janssen RPA, Sala HAGM. Embolism of the popliteal artery after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report and literature review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007 Dec;15(12):1449–51.

127. Bomberg BC, Hurley PE, Clark CA, McLaughlin CS. Complications associated with the use of an infusion pump during knee arthroscopy. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. 1992 Jun 1;8(2):224–8.

128. Heard WMR, Chahal J, Bach BR. Recognizing and managing complications in ACL reconstruction. Sports Med Arthrosc Rev. 2013 Jun;21(2):106–12.

129. Drez DJ, DeLee J, Holden JP, Arnoczky S, Noyes FR, Roberts TS. Anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone allografts. A biological and biomechanical evaluation in goats. Am J Sports Med. 1991;19(3):256–63.

130. Fink C, Zapp M, Benedetto KP, Hackl W, Hoser C, Rieger M. Tibial tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. Arthroscopy. 2001 Feb;17(2):138–43.

131. Peyrache MD, Djian P, Christel P, Witvoet J. Tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction by autogenous bone-patellar tendon-bone graft. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1996;4(1):2–8.

132. Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ. Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(3):138–45.

133. Linn RM, Fischer DA, Smith JP, Burstein DB, Quick DC. Achilles tendon allograft reconstruction of the anterior cruciate ligament-deficient knee. Am J Sports Med. 1993;21(6):825–31.

134. Fahey M, Indelicato PA. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. Am J Sports Med. 1994;22(3):410–4.

135. Shino K, Kawasaki T, Hirose H, Gotoh I, Inoue M, Ono K. Replacement of the anterior cruciate ligament by an allogeneic tendon graft. An experimental study in the dog. J Bone Joint Surg Br. 1984 Nov;66(5):672–81.

136. Clancy WG, Narechania RG, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD, Lange TA. Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in rhesus monkeys. J Bone Joint Surg Am. 1981 Oct;63(8):1270–84.

137. Arnoczky SP, Warren RF, Ashlock MA. Replacement of the anterior cruciate ligament using a patellar tendon allograft. An experimental study. J Bone Joint Surg Am. 1986 Mar;68(3):376–85.

138. Zijl JA, Kleipool AE, Willems WJ. Comparison of tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft or allograft. Am J Sports Med. 2000;28(4):547–51.

139. Zysk SP, Fraunberger P, Veihelmann A, Dörger M, Kalteis T, Maier M, et al. Tunnel enlargement and changes in synovial fluid cytokine profile following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon and hamstring tendon autografts. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2004 Mar;12(2):98–103.

140. Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ. Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(3):138–45.

141. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998;6(4):231–40.

142. L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH, Harner CD. Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1997;5(4):234–8.

143. Aga C, Rasmussen MT, Smith SD, Jansson KS, LaPrade RF, Engebretsen L, et al. Biomechanical comparison of interference screws and combination screw and sheath devices for soft tissue anterior cruciate ligament reconstruction on the tibial side. Am J Sports Med. 2013 Apr;41(4):841–8.

144. Tei MM, Placella G, Sbaraglia M, Tiribuzi R, Georgoulis A, Cerulli G. Does Manual Drilling Improve the Healing of Bone-Hamstring Tendon Grafts in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A

Histological and Biomechanical Study in a Rabbit Model. Orthop J Sports Med. 2020 Apr;8(4):2325967120911600.

145. Toksvig-Larsen S, Ryd L, Lindstrand A. On the problem of heat generation in bone cutting. Studies on the effects on liquid cooling. J Bone Joint Surg Br. 1991 Jan;73(1):13–5.

146. Chen YC, Hsiao CK, Tu YK, Tsai YJ, Hsiao AC, Lu CW, et al. Assessment of heat generation and risk of thermal necrosis during bone burring by means of three-dimensional dynamic elastoplastic finite element modelling. Med Eng Phys. 2020 Jul;81:1–12.

147. Lee J, Rabin Y, Ozdoganlar OB. A new thermal model for bone drilling with applications to orthopaedic surgery. Med Eng Phys. 2011 Dec;33(10):1234–44.

148. Webster KE, Feller JA, Hameister KA. Bone tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised comparison of hamstring and patellar tendon grafts with 2-year follow-up. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2001;9(2):86–91.

149. Segawa H, Omori G, Tomita S, Koga Y. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2001 Jul;9(4):206–10.

150. Nebelung W, Becker R, Merkel M, Röpke M. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using Endobutton fixation on the femoral side. Arthroscopy. 1998;14(8):810–5.

151. Hogervorst T, van der Hart CP, Pels Rijcken TH, Taconis WK. Abnormal bone scans of the tibial tunnel 2 years after patella ligament anterior cruciate ligament reconstruction: correlation with tunnel enlargement and tibial graft length. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000;8(6):322–8.

152. Barber FA. Flipped patellar tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 2000;16(5):483–90.

153. Yoshiya S, Nagano M, Kurosaka M, Muratsu H, Mizuno K. Graft healing in the bone tunnel in anterior cruciate ligament reconstruction. Clin Orthop Relat Res. 2000 Jul;(376):278–86.

154. Ishibashi Y, Toh S, Okamura Y, Sasaki T, Kusumi T. Graft incorporation within the tibial bone tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone autograft. Am J Sports Med. 2001;29(4):473–9.

155. Jaureguito JW, Paulos LE. Why grafts fail. Clin Orthop Relat Res. 1996 Apr;(325):25–41.

156. Hudek R, Schmutz S, Regenfelder F, Fuchs B, Koch PP. Novel measurement technique of the tibial slope on conventional MRI. Clin Orthop Relat Res. 2009 Aug;467(8):2066–72.

157. Hashemi J, Chandrashekar N, Mansouri H, Gill B, Slauterbeck JR, Schutt RC, et al. Shallow Medial Tibial Plateau and Steep Medial and Lateral Tibial Slopes: New Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injuries. Am J Sports Med. 2010 Jan 21;38(1):54–62.

158. Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, Vanhees MK, Collins MS, Dahm DL. Lateral Tibial Posterior Slope Is Increased in Patients With Early Graft Failure After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med. 2015 Oct 28;43(10):2510–4.

159. Nagai K, Tashiro Y, Herbst E, Gale T, Wang JH, Irrgang JJ, et al. Steeper posterior tibial slope correlates with greater tibial tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2018 Dec;26(12):3717–23.

160. Wenger S. Anesthesia and Analgesia in Rabbits and Rodents. J Exot Pet Med. 2012 Jan;21(1):7–16.

161. Klein JP, Lintner DM, Downs D, Vavrenka K. The incidence and significance of femoral tunnel widening after quadrupled hamstring anterior cruciate ligament reconstruction using femoral cross pin fixation. Arthroscopy. 2003;19(5):470–6.

162. Augustin G, Zigman T, Davila S, Udilljak T, Staroveski T, Brezak D, et al. Cortical bone drilling and thermal osteonecrosis. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2012 May;27(4):313–25.

163. Davidson SRH, James DF. Drilling in Bone: Modeling Heat Generation and Temperature Distribution. J Biomech Eng. 2003 Jun 1;125(3):305–14.

164. Tai BL, Palmisano AC, Belmont B, Irwin TA, Holmes J, Shih AJ. Numerical evaluation of sequential bone drilling strategies based on thermal damage. Med Eng Phys. 2015 Sep;37(9):855–61.

165. Kondo S, Okada Y, Iseki H, Hori T, Takakura K, Kobayashi A, et al. Thermological Study of Drilling Bone Tissue with a High-speed Drill. Neurosurgery. 2000 May 1;46(5):1162–8.

166. THOMPSON HC. Effect of drilling into bone. J Oral Surg (Chic). 1958 Jan;16(1):22–30.

167. PALLAN FG. Histological changes in bone after insertdon of skeletal fixation pins. J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv. 1960 Sep;18:400–8.

168. Matthews LS, Hirsch C. Temperatures measured in human cortical bone when drilling. J Bone Joint Surg Am. 1972 Mar;54(2):297–308.

169. Brisman DL. The effect of speed, pressure, and time on bone temperature during the drilling of implant sites. Int J Oral Maxillofac Implants. 1996;11(1):35–7.

170. Toews AR, Bailey J V, Townsend HG, Barber SM. Effect of feed rate and drill speed on temperatures in equine cortical bone. Am J Vet Res. 1999 Aug;60(8):942–4.

171. Anitua E, Carda C, Andia I. A novel drilling procedure and subsequent bone autograft preparation: a technical note. Int J Oral Maxillofac Implants. 2007;22(1):138–45.

172. Augustin G, Davila S, Mihoci K, Udiljak T, Vedrina DS, Antabak A. Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited. Arch Orthop Trauma Surg. 2007 Oct 30;128(1):71–7.

173. Basiaga M, Paszenda Z, Szewczenko J, Kaczmarek M. Numerical and experimental analyses of drills used in osteosynthesis. Acta Bioeng Biomech. 2011;13(4):29–36.

174. Sezek S, Aksakal B, Karaca F. Influence of drill parameters on bone temperature and necrosis: A FEM modelling and in vitro experiments. Comput Mater Sci. 2012 Jul;60:13–8.

175. Xu L, Wang C, Jiang M, He H, Song Y, Chen H, et al. Drilling force and temperature of bone under dry and physiological drilling conditions. Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2014 Nov 23;27(6):1240–8.

176. Abouzgia MB, Symington JM. Effect of drill speed on bone temperature. Int J Oral Maxillofac Surg. 1996 Oct;25(5):394–9.

177. Reingewirtz Y, Szmukler-moncler S, Senger B. Influence of different parameters on bone heating and drilling time in implantology. Clin Oral Implants Res. 1997 Jun;8(3):189–97.

178. Reingewirtz Y, Szmukler-moncler S, Senger B. Influence of different parameters on bone heating and drilling time in implantology. Clin Oral Implants Res. 1997 Jun;8(3):189–97.

179. Chen YC, Tu YK, Tsai YJ, Tsai YS, Yen CY, Yang SC, et al. Assessment of thermal necrosis risk regions for different bone qualities as a function of drilling parameters. Comput Methods Programs Biomed. 2018 Aug;162:253–61.

180. Ugutmen E, Ozkan K, Güven M, Sener N, Altintas F. Early tunnel enlargement after arthroscopic ACL reconstructions. Acta Orthop Belg. 2007 Oct;73(5):625–9.

181. Peyrache MD, Djian P, Christel P, Witvoet J. Tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction by autogenous bone-patellar tendon-bone graft. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1996;4(1):2–8.

182. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. Am J Sports Med. 1982;10(3):150–4.

183. Harner CD, Marks PH, Fu FH, Irrgang JJ, Silby MB, Mengato R. Anterior cruciate ligament reconstruction: endoscopic versus two-incision technique. Arthroscopy. 1994 Oct;10(5):502–12.

184. Fahey M, Indelicato PA. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. Am J Sports Med. 1994;22(3):410–4.

185. Yue L, DeFroda SF, Sullivan K, Garcia D, Owens BD. Mechanisms of Bone Tunnel Enlargement Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. JBJS Rev. 2020 Apr;8(4):e0120–e0120.

186. Fahey M, Indelicato PA. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. Am J Sports Med. 1994;22(3):410–4.

187. Fuchs TF, Petersen W, Vordemvenne T, Stange R, Raschke M, Paletta JRJ. Influence of synovial fluid on human osteoblasts: an in vitro study. ScientificWorldJournal. 2007 Dec 18;7:2012–20.

188. Silva A, Sampaio R, Pinto E. Femoral tunnel enlargement after anatomic ACL reconstruction: a biological problem? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Sep;18(9):1189–94.

189. Hobkirk JA, Rusiniak K. Investigation of variable factors in drilling bone. J Oral Surg. 1977 Dec;35(12):968–73.

190. Hillery MT, Shuaib I. Temperature effects in the drilling of human and bovine bone. J Mater Process Technol. 1999 Aug;92–93:302–8.

191. Abouzgia MB, James DF. Measurements of shaft speed while drilling through bone. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 1995 Nov;53(11):1308–15.

192. Matthews LS, Green CA, Goldstein SA. The thermal effects of skeletal fixation-pin insertion in bone. J Bone Joint Surg Am. 1984 Sep;66(7):1077–83.

193. Tai BL, Palmisano AC, Belmont B, Irwin TA, Holmes J, Shih AJ. Numerical evaluation of sequential bone drilling strategies based on thermal damage. Med Eng Phys. 2015 Sep;37(9):855–61.

194. Ashford RU, Pande KC, Dey A. Current practice regarding re-use of trauma instrumentation: results of a postal questionnaire survey. Injury. 2001 Jan;32(1):37–40.

195. Davidson SR, James DF. Drilling in bone: modeling heat generation and temperature distribution. J Biomech Eng. 2003 Jun;125(3):305–14.

196. Costich ER, Youngblood PJ, Walden JM. A study of the effects of high-speed rotary instruments on bone repair in dogs. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. 1964 May;17(5):563–71.

197. Boyne PJ. Histologic Response of Bone to Sectioning by High-Speed Rotary Instruments. J Dent Res. 1966 Mar 20;45(2):270–6.

198. Eriksson AR, Albrektsson T, Albrektsson B. Heat caused by drilling cortical bone: Temperature measured *in vivo* in patients and animals. Acta Orthop Scand. 1984 Jan 8;55(6):629–31.

199. Krause WR. Orthogonal Bone Cutting: Saw Design and Operating Characteristics. J Biomech Eng. 1987 Aug 1;109(3):263–71.

200. Toksvig-Larsen S, Ryd L, Lindstrand A. On the problem of heat generation in bone cutting. Studies on the effects on liquid cooling. J Bone Joint Surg Br. 1991 Jan;73-B(1):13–5.

201. Ohashi H, Therin M, Meunier A, Christel P. The effect of drilling parameters on bone. J Mater Sci Mater Med. 1994 Apr;5(4):237–41.

202. Yacker MJ, Klein M. The effect of irrigation on osteotomy depth and bur diameter. Int J Oral Maxillofac Implants. 1996;11(5):634–8.

203. Benington IC, Biagioni PA, Briggs J, Sheridan S, Lamey PJ. Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation. Clin Oral Implants Res. 2002 Jun;13(3):293–7.

204. Ercoli C, Funkenbusch PD, Lee HJ, Moss ME, Graser GN. The influence of drill wear on cutting efficiency and heat production during osteotomy preparation for dental implants: a study of drill durability. Int J Oral Maxillofac Implants. 2004;19(3):335–49.

205. Proff P, Bayerlein T, Kramer A, Allegrini S, Dietze S, Fanghänel J, et al. Requirements and infection prophylaxis for internally cooled implant drills. Folia Morphol (Warsz). 2006 Feb;65(1):34–6.

206. Haider R, Watzek G, Plenk H. Effects of drill cooling and bone structure on IMZ implant fixation. Int J Oral Maxillofac Implants. 1993;8(1):83–91.

207. Pandey RK, Panda SS. Drilling of bone: A comprehensive review. J Clin Orthop Trauma. 2013 Mar;4(1):15–30.