

Revizyon ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu ameliyatlarında greft seçenekleri

Graft options in revision anterior cruciate ligament reconstruction

Ömer Naci Ergin, Buğra Yoldaş

İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul

Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu (ÖÇBR) sayısındaki artışa paralel olarak, revizyon ön çapraz bağ (ÖÇB) cerrahisine duyulan gereksinim de giderek yükselmektedir. Başarısız bir ÖÇBR'nin revizyonu; tünel osteolizi, önceki implantlar ve sınırlı donör kaynakları nedeniyle oldukça karmaşık bir cerrahi prosedürdür. Revizyon cerrahisinde başarıya ulaşmanın en kritik ve değiştirilebilir basamaklarından birini ise uygun greft seçimi oluşturmaktadır. Bu amaçla; hastanın primer cerrahi öyküsü, tünel anatomisi, eşlik eden intraartiküler patolojiler ve aktivite beklentisi çok iyi analiz edilmeli; ameliyat öncesi multidisipliner bir planlama yapılmalıdır. Klinik pratikte geleneksel ekstansör mekanizma otogreftleri (kemik-patellar tendon-kemik, kuadriseps tendonu), hamstring tendonları ve peroneus longus tendonu gibi diz dışı alternatiflerin yanı sıra allogreftler, ksenogreftler ve doku mühendisliği ürünleri temel seçenekleri oluşturmaktadır. Geniş ölçekli kayıt çalışmaları uzun dönem sağkalımda otogreft üstünlüğünü gösterirken; allogreftler, ksenogreftler ve sentetik yapılar ise belirli kısıtlılıkları nedeniyle daha seçici endikasyonlarla değerlendirilmektedir. Literatürde revizyon ÖÇB cerrahisinde primer rekonstrüksiyonlar kadar yüksek başarı oranları bildirilmese de; biyomekanik özellikler ve histolojik entegrasyon kinetiği göz önünde bulundurularak yapılacak hastaya özgü, kişiselleştirilmiş bir greft tercihi ile oldukça tatmin edici klinik sonuçlara ulaşılabilir.

Anahtar sözcükler: revizyon ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu; greft seçimi; allogreft; otogreft; sentetik greft; ksenogreft

Parallel to the increasing number of primary anterior cruciate ligament reconstructions (ACLR), the requirement for revision anterior cruciate ligament (ACL) surgery is also steadily rising. Revision of a failed ACLR is a highly complex surgical procedure due to tunnel osteolysis, previous hardware, and limited donor tissue sources. Selecting the appropriate graft stands out as one of the most critical and modifiable steps to achieve success in revision surgery. To this end, the patient's primary surgical history, tunnel anatomy, concomitant intra-articular pathologies, and activity expectations must be thoroughly analyzed, and a meticulous preoperative planning should be performed. In clinical practice, conventional extensor mechanism autografts (bone patellar tendon bone and quadriceps tendon), hamstring tendons, and non-knee alternatives such as the peroneus longus tendon remain the cornerstone options alongside allografts, xenografts, and tissue-engineered products. While large-scale registry data demonstrate the superiority of autografts regarding long-term survivorship, allografts, xenografts, and synthetic structures are considered with more selective indications due to their specific limitations. Although the literature reports that revision ACL surgery may not yield functional success rates as high as primary reconstructions, highly satisfactory clinical outcomes can be achieved through a patient-specific, personalized graft selection that accounts for biomechanical properties and histological integration kinetics.

Key words: revision anterior cruciate ligament reconstruction; graft selection; allograft; autograft, synthetic graft; xenograft

Ön çapraz bağ (ÖÇB) yaralanmaları, günümüzde modern toplumun fiziksel aktiviteye katılımının artmasıyla birlikte en sık karşılaşılan spor yaralanmalarından biri hâline gelmiştir.^[1] Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 200.000 yeni vaka bildirilmekte olup bu yaralanmaların tedavisinde ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu (ÖÇBR), diz stabilitesini geri kazan-

dırmak ve menisküs yırtığı ile osteoartrit gibi sekonder komplikasyon risklerini azaltmak için altın standart cerrahi prosedür olarak kabul edilmektedir.^[1,2] Ancak, cerrahi tekniklerdeki ilerlemelere rağmen literatürde primer ÖÇBR sonrası yetmezlik oranları %4 ile %25 arasında değişen geniş bir yelpazede bildirilmektedir.^[3,4]

Greft yetmezliği sonrası uygulanan revizyon ÖÇBR hem cerrah hem de hasta için oldukça zorlu ve teknik olarak karmaşık bir süreçtir.^[4,5] Revizyon cerrahisi, primer prosedüre göre; anatomik bozukluklar, önceki cerrahiden kalan tünellerin yanlış pozisyonu, tünel osteolizi, mevcut implantlar ve eşlik eden intraartiküler patolojiler nedeniyle çok daha fazla dikkat ve titiz bir ameliyat öncesi planlama gerektirir.^[4-6] Ayrıca revizyon cerrahisinden sonra elde edilen klinik ve fonksiyonel sonuçlar, primer rekonstrüksiyona kıyasla genellikle daha az öngörülebilir ve daha düşük başarı oranlarına sahiptir.^[7]

Revizyon ÖÇBR’de cerrahin karşılaştığı en kritik kararlardan biri uygun greftin seçilmesidir.^[8] Greft seçimi, 21. yüzyıl ortopedik cerrahi pratiğinde sadece biyomekanik özelliklere göre değil; hastanın yaşı, cinsiyeti, mesleği, spor branşı, aktivite düzeyi ve bireysel beklentileri göz önünde bulundurularak tamamen kişiselleştirilmiş bir yaklaşımla planlanmalıdır.^[7,8] Revizyon vakalarında greft seçenekleri, primer cerrahide kullanılan greft tipi nedeniyle kısıtlanmış olabilir.^[3,4] Bu durum cerrahi; diz dışı otogreftler, allogreftler veya sentetik materyaller gibi alternatif kaynakları değerlendirmeye zorlamaktadır.^[2,3]

Greft Seçimi

Revizyon ÖÇBR’de greft seçimi; tünel anatomisi, önceki cerrahide kullanılan greftler ve hastanın fonksiyonel beklentilerine göre şekillenen multifaktöriyel bir karardır.^[8,9] Klinik pratikte kemik-patellar tendon-kemik (BPTB), hamstring tendonu (HT), kuadriseps tendonu (QT) ve peroneus longus tendonu (PLT) otogreftleri ile allogreftler temel seçenekler olarak yerini korumaktadır. Kuzey Amerika kökenli *Multicenter ACL Revision Study* (MARS) gibi geniş ölçekli kayıt çalışmalarında donör saha morbiditesini azaltmak amacıyla allogreftlerin yaygın kullanıldığı bildirilse de son dönem literatüründe biyolojik entegrasyon (ligamentizasyon) ve uzun dönem mekanik sağkalım avantajları nedeniyle yeniden otogreft kullanımına yönelik güçlü bir eğilim gözlenmektedir.^[10,11]

Geleneksel donör dokuların tükendiği durumlarda geniş kesit alanı sağlayan QT ve diz dışı bir kaynak olması nedeniyle PLT, güncel alternatifler olarak öne çıkmaktadır.^[3] Bu konvansiyonel yaklaşımların yanı sıra literatürde tartışmalı bir yeri olan *Ligament Augmentation Reconstruction System* (LARS) gibi sentetik ligamentler, araştırma safhasındaki biyolojik iyileşmeyi indükleyen biyokompozit iskeleler (scaffold’lar) ve immünolojik olarak modifiye edilmiş ksenogreftler de kişiselleştirilmiş cerrahi planlamanın gelecekteki potansiyel bileşenleri olarak değerlendirilmektedir.^[5,12,13]

Kemik-patellar tendon-kemik otogrefti

Kemik-patellar tendon-kemik otogrefti, üstün biyomekanik özellikleri ve greft-tünel arayüzündeki iyileşme potansiyeli sayesinde uzun yıllardır tünel genişlemesi olan ve olmayan revizyon ÖÇBR cerrahisinde altın standart olarak kabul görmüştür.^[5,13,14] Literatürde ilk kez 1963 yılında Jones tarafından tanımlanan bu teknik, özellikle 1980 ve 1990’lı yıllarda yüksek performans bekleyen ve rotasyonel zorlanmanın fazla olduğu sporlarla uğraşan atletler için vazgeçilmez bir seçenek hâline gelmiştir.^[9,15] Genellikle patellar tendonun orta üçte birlik kısmından, her iki ucunda patella ve tibial tüberkülden alınan kemik blokları ile birlikte yaklaşık 10 milimetre (mm) genişliğinde greft alımı gerçekleştirilir.^[6,16]

Revizyon cerrahisinde BPTB otogreftinin tercih edilmesindeki en önemli faktör, sunduğu kemikten kemiğe iyileşme avantajıdır.^[9] Bu biyolojik süreç, yumuşak doku greftlerine göre sadece daha güçlü değil, aynı zamanda daha hızlıdır; bilgisayarlı tomografi çalışmaları, kemik bloklarının cerrahiden sekiz hafta sonra tünelle neredeyse tam entegrasyon sağladığını göstermiştir.^[8]

Kemik-patellar tendon-kemik, özellikle tünel genişlemesi izlenen kompleks revizyon vakalarında cerrahin elindeki en güçlü araçlardan biridir. Greftin distal ve proksimal uçlarında yer alan kemik blokları, önceki cerrahiden kalan genişlemiş tünellerde *press-fit* fiksasyona olanak tanıyarak yapısal bir destek sağlar ve bu sayede tek aşamalı revizyon cerrahisine imkân tanır.^[8] Ayrıca, statik gevşeklik testlerinde BPTB’nin, hamstring otogreftlerine göre biyomekanik olarak daha stabil bir yapı sunduğu kanıtlanmıştır.^[17]

Literatürdeki geniş ölçekli kayıt çalışmaları, BPTB otogreftinin revizyon cerrahisinde en düşük başarısızlık oranlarına sahip olduğunu doğrulamaktadır. İskandinavya genelindeki kayıt verileri, iki yıllık takip döneminde en düşük revizyon riskinin %1,2 ile BPTB greftlerinde olduğunu; HT (%2,5) ve QT (%3,6)’lerde ise bu riskin anlamlı düzeyde yükseldiğini ortaya koymaktadır.^[18]

Spora dönüş açısından BPTB kullanılan hastaların, primer rekonstrüksiyon öncesi aktivite seviyelerine dönme eğilimi hamstring grubundaki hastalara göre daha yüksektir.^[19] Yüksek düzeyde mekanik yük/stres gerektiren ve ani yön değiştirme içeren sporlarla uğraşan elit atletlerde, greftin sertliği ve rijit tünel fiksasyonu nedeniyle BPTB sıklıkla ilk tercih olmaya devam etmektedir.

Üstün klinik sonuçlarına rağmen BPTB kullanımının en büyük kısıtlaması donör saha morbiditesidir. Özellikle diz önü ağrısı ve diz çökme sırasındaki hassasiyet en yaygın şikâyetlerdir; literatürde diz çökme ağrısı insidansı %4,0 ile %75,6 gibi geniş bir aralıkta bildirilmektedir.^[6]

Kemik-patellar tendon-kemik kullanımıyla ilişkili diğer potansiyel risk ve komplikasyonlar; ekstansör mekanizma zayıflığı ve patellar hareketlilikte azalma, greft alımı sonrası nadir görülebilen patella kırığı veya patellar tendon rüptürü, yumuşak doku greftlerine göre artmış diz osteoartriti riski ile greft-tünel uyumsuzluğu ve ameliyat sonrası siklop lezyonu gelişme olasılığını kapsamaktadır.^[8,20]

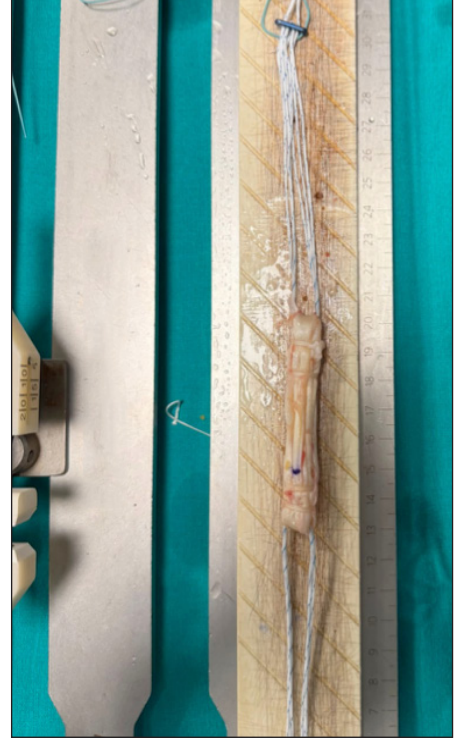
Hamstring tendon otogrefti

Hamstring kas grubu, fonksiyonel olarak anterior tibial translayonu kısıtlayarak ÖÇB'nin primer sinerjisti olarak görev yapmakta ve diz ekleminin dinamik stabilitesinde kritik bir rol oynamaktadır. Fleksiyon hâlindeki dizde posterior makaslama kuvvetleri oluşturarak dizin stabilitesine katkıda bulunan hamstringler, ÖÇB yaralanmalarının sıkça gerçekleştiği valgus ve eksternal rotasyon kuvvetlerine karşı da koruyucu bir görev üstlenir.^[21] Genellikle semitendinosus tendonuyla bazen de gracilis tendonuyla kombine edilerek dördü veya beşli katlanması esasına dayanan greft alımı süreci, primer cerrahide olduğu gibi revizyon cerrahisinde de dünya çapında popüler bir seçenektir.^[22]

Revizyon ÖÇBR cerrahisinde HT otogreftinin kullanımı, genellikle primer cerrahide hangi dokunun kullanıldığına bağlı olarak şekillenir. Primer operasyonda HT otogrefti kullanılmışsa; ipsilateral dokunun tükenmiş olması nedeniyle cerrahlar sıklıkla kontralateral HT'leri değerlendirmektedir.^[4,22] Kontralateral HT kullanımı, cerrahın aşına olduğu bir doku kaynağı sağlaması açısından avantajlı olsa da sağlam olan dizde donör saha morbiditesine yol açma riski taşımaktadır. Ayrıca; revizyon cerrahilerinde sıklıkla karşılaşılan tünel genişlemesi, revizyon greftinin çapının primer greftten daha büyük olmasını gerektirebilir.^[23]

Hamstring tendon otogreftleri ile ilgili en önemli klinik parametrelerden biri greft çapıdır. Literatürde 8 mm'nin altındaki greft çaplarının, özellikle Danimarka kayıt çalışmalarında, daha yüksek başarısızlık oranları ile ilişkili olduğu vurgulanmaktadır.^[24] Greft çapındaki her 0,5 mm'lik artışın revizyon riskini anlamlı düzeyde azalttığı saptanmıştır; bu nedenle revizyon cerrahisinde 8 mm ve üzeri (mümkünse 8,25 mm eşiği) bir çap elde edilmesi hedeflenir (Şekil 1). Eğer otogreft çapı yetersiz kalırsa allogreftlerle hibrit yapılar oluşturma seçenekleri önerilse de bu durumun greft entegrasyonunu olumsuz etkileyebileceği ve revizyon riskini artırabileceğine dair görüşler mevcuttur.^[2,22]

Kemik-patellar tendon-kemik greftlerinin aksine HT'ler tamamen yumuşak doku yapısında oldukları için tendon-kemik iyileşmesine dayanırlar.^[14] Bu süreç,



Şekil 1. Altı kat (double-loop, quadruple/6-strand) katlama tekniği ile hazırlanan, uygun fiksasyon materyali (button/endobutton) ile desteklenerek 10 mm çapına ulaştırılan HT grefti.

BPTB'nin sunduğu kemikten kemiğe iyileşmeye göre daha yavaş ilerler ve hiçbir zaman orijinal ÖÇB yapışma yerindeki morfolojik veya mekanik gücü tam olarak yakalayamaz. Histolojik çalışmalar, greft-tünel arayüzünün başlangıçta tip III kollajen içeren granülasyon dokusuyla dolduğunu, fibroblastik aktivite ve kollajen üretiminin ancak cerrahiden yaklaşık sekiz hafta sonra tünel entegrasyonu sağlamaya başladığını göstermektedir.^[14] Bu yavaş biyolojik entegrasyon süreci nedeniyle, revizyon HT cerrahisi sonrası rehabilitasyon protokolleri daha temkinli planlanmalıdır.

Klinik başarı açısından HT otogreftleri revizyon cerrahisinde yüz güldürücü sonuçlar verse de BPTB ve QT otogreftleri ile karşılaştırıldığında statik stabilite testlerinde daha fazla gevşeklik ve hafif düzeyde daha yüksek mekanik yetmezlik eğilimi gösterebilmektedir.^[8] Revizyon sonrası spora dönüş oranlarının PLT otogreftleri ile benzer şekilde seyrettiği raporlanırken; bu greft tipine özgü en belirgin kısıtlılıkların başında, diğer seçeneklere kıyasla bakteriyel kolonizasyona daha yatkın olması nedeniyle artmış derin enfeksiyon riski gelmektedir ve literatürde bu durumu önlemek adına greftin yerleştirilmeden önce vankomisin ile ön yıkamaya tabi tutulması kuvvetle önerilmektedir.^[4,22,25] Hamstring tendon greft alımı sonrasında

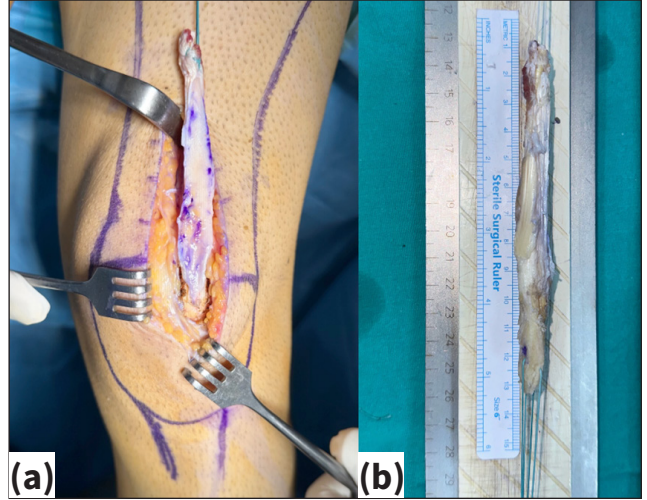
özellikle derin fleksiyon ve patlayıcı kasılmalarda belirginleşen hamstring kas gücü kayıpları ile uyuk hipotrofisi klinik tabloya eşlik edebilirken; cerrahi prosedür esnasında saphenous sinirin infrapatellar dalının iatrojenik hasar görme riski, diz çevresinde kalıcı duyuusal bozukluklara ve paresteziye zemin hazırlayabilmektedir.^[26]

Kuadriseps tendon otogrefti

Kuadriseps tendonu otogrefti, özellikle HT ve BPTB otogreftlerinin kısıtlılıkları nedeniyle revizyon ÖÇBR’de son yıllarda popüleritesi hızla artan bir seçenek hâline gelmiştir. Literatürde ilk kez 1979 yılında Marshall ve ark. tarafından tanımlanan ve 1995’te Fulkerson tarafından geliştirilen bu teknik, başlangıçta ekstansör mekanizma zayıflığı ve greft alımı sonrası yüksek morbidite gibi teknik zorluklar nedeniyle sınırlı kabul görmüştür. Ancak günümüzde minimal invaziv greft alımı tekniklerinin ve cerrahi enstrümantasyonun gelişmesiyle birlikte QT, revizyon cerrahisinin yükselen değeri olarak yeniden klinik pratiğin merkezine yerleşmiştir.^[7,26]

Kuadriseps tendonu, kuadriseps kas grubunun (*rectus femoris*, *vastus intermedius*, *lateralis* ve *medialis*) ortak tendonudur ve çok katmanlı (genellikle *tri-laminar*) kompleks bir yapı sergiler.^[27] Biyomekanik açıdan QT, BPTB ve HT greftlerine göre yaklaşık iki kat daha fazla kesit alanına sahiptir ve bu özelliğiyle doğal ÖÇB’nin boyutlarına en yakın greft seçeneğidir.^[23] Kadavra çalışmaları, QT otogreftinin maksimum çekme yükünün hem BPTB hem de HT’den daha yüksek olduğunu göstermiştir.^[23] Ayrıca QT, BPTB’ye göre %20 daha fazla kollajen yoğunluğuna ve daha yüksek fibroblast yoğunluğuna sahip olması sayesinde iyileşme potansiyeli ve çekme direnci açısından avantaj sağlar. Rijidite açısından BPTB’den daha sert ancak HT’den daha esnek bir yapı sunarak diz biyomekaniğine uyum sağlar.^[27]

Revizyon ÖÇBR’de QT’nin en büyük avantajlarından biri çok yönlü kullanımıdır; cerrahin ihtiyacına göre patellar kemik bloklu veya sadece yumuşak doku olarak elde edilebilir (Şekil 2).^[7] Özellikle tünel genişlemesinin belirgin olduğu kompleks revizyon vakalarında kemik bloklu QT kullanımı, tünel kemik defektlerini doldurmak ve rijit bir fiksasyon sağlamak için kritik öneme sahiptir.^[5] Ayrıca primer cerrahide BPTB veya HT kullanılmış olan hastalarda QT’nin hâlâ mevcut ve hasar görmemiş bir kaynak olması revizyon planlamasında cerrahin elini güçlendirir.^[7,26] Modern tekniklerde, kemik bloklu QT revizyonlarında tünel uyumsuzluğunu minimize etmek için kemik blokunun trapezoid şeklinde şekillendirilmesi önerilmektedir.



Şekil 2.a,b. Kuadriseps tendon greftin alınırken proksimalden uygun uzunlukta serbestleşmiş hâli (a) kemik blokun 2 adet birbirine dik delikle ve tendon ucunun da krackow dikişlerle hazırlanması sonrası greftin son hâli (b).

Güncel meta-analizler, revizyon ÖÇBR’de QT otogreftinin klinik sonuçlarının [International Knee Documentation Committee (IKDC), Lysholm, Tegner skorları] BPTB ve HT ile benzer düzeyde başarılı olduğunu kanıtlamaktadır ve revizyon vakalarında QT kullanımı sonrası bildirilen mekanik yetmezlik oranları %7,6 ile %9,8 arasında değişmekte olup; bu oran HT (%17,4) ile karşılaştırıldığında daha düşük bir başarısızlık eğilimi göstermektedir.^[23]

Spora dönüş açısından bakıldığında, yüksek aktivite düzeyine sahip erkek sporcularda QT otogrefti ile primer cerrahide %90’ın üzerinde başarı sağlanırken; revizyon vakalarında bu oran %57-59 bandında seyretmekte ve literatürdeki diğer başarılı greft seçenekleriyle benzerlik göstermektedir.^[26] Hastaların büyük çoğunluğunun subjektif olarak yaralanma öncesi performans seviyelerine ulaştıklarını hissetmeleri, QT’nin revizyon cerrahisindeki güvenilirliğini desteklemektedir.

Kuadriseps tendonunun en belirgin klinik avantajı, BPTB’ye kıyasla anlamlı derecede düşük donör saha morbiditesidir. Hastalarda diz önu ağrısı ve diz çökme ağrısı insidansı QT grubunda çok daha düşüktür.^[28] Kas gücü açısından ise QT, HT greft alımı sonrası görülen fleksör güç kaybının aksine diz fleksiyon gücünü korumaktadır. Ekstansör mekanizma üzerinde yapılan izometrik testler, QT alımı sonrası erken dönemde (ilk altı ay) kuadriseps zayıflığı görülse de uygun rehabilitasyonla sekizinci aydan itibaren diğer greftlerle benzer güç seviyelerine ulaşıldığını ve ikinci yılda tam simetrisinin sağlandığını göstermektedir.^[7] Bu durum QT’nin, özellikle diz çevresi kas dengesini (hamstring/kuadriseps oranı)

korumak isteyen aktif hastalar için mükemmel bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır.

Peroneus longus tendon otogrefti

Peroneus longus tendon otogrefti, özellikle diz çevresindeki geleneksel donör sahaların (BPTB ve HT) primer cerrahide kullanıldığı veya tünel genişlemesi nedeniyle yetersiz kaldığı revizyon ÖÇBR vakalarında son yıllarda popüleritesi hızla artan rasyonel bir seçenek hâline gelmiştir.^[8] Literatürde ilk kez 2008 yılında Kerimoğlu ve ark. tarafından tanımlanan bu yöntem; biyomekanik direnci, kolay greft alımı ve düşük donör saha morbiditesi ile dikkat çekmektedir.^[2,30]

Peroneus longus tendon, bacağın lateral kompartmanında yer alan yaklaşık 30 santimetre (cm) uzunluğunda bir yapıdır.^[29] Revizyon cerrahisinde PLT'yi avantajlı kılan en önemli özelliklerden biri, sağladığı greft çapıdır; yapılan çalışmalar PLT'nin dördü (quadruple) katlanmasıyla sıklıkla 8-9 mm arasında tutarlı bir çap elde edilebileceğini göstermektedir.^[23,30] Biyomekanik olarak PLT'nin çekme direnci, quadruple hamstring greftleri ile benzerlik gösterirken, patellar ve QT'lerden daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir.^[9] Özellikle revizyon cerrahisinde başarının anahtarı olarak kabul edilen 8,25 mm ve üzeri greft çapı eşliğine PLT ile ulaşmak, HT'lere kıyasla çok daha öngörülebilir bir süreçtir.^[22]

Peroneus longus tendonun revizyon cerrahisindeki en özgün avantajı, greftin diz ekleminden uzak bir bölgeden elde edilmesidir. Bu durum, revizyon vakalarında zaten hassas olan diz çevresi kas dengesini bozmaz ve fleksör/ekstansör mekanizma üzerinde ek bir zayıflığa yol açmaz.^[3,30] Ayrıca, operasyon süresi açısından PLT greft alımı, HT alımına göre anlamlı derecede daha kısa sürebilmektedir.^[2,23] Kompleks vakalarda HT grefti augmentasyonu amacıyla da PLT'nin bir kısmının kullanılması literatürde önerilen bir diğer yöntemdir.

Klinik başarı yönünden PLT otogrefti, revizyon cerrahisinde BPTB ve HT ile karşılaştırılabilir fonksiyonel sonuçlar (Lysholm, IKDC skorları) sunmaktadır.^[4,30] Güncel meta-analizler, PLT ile yapılan ÖÇBR sonrası diz stabilitesinin oldukça tatmin edici olduğunu ve rerüptür oranlarının diğer otogreft seçenekleriyle benzer düzeylerde seyrettiğini doğrulamaktadır.^[3] Spora dönüş oranları, revizyon vakalarında yaklaşık %57-78 aralığında raporlanmış olup bu veriler PLT'nin yüksek aktivite beklentisi olan hastalarda güvenilir bir alternatif olduğunu kanıtlamaktadır.^[3,4]

Peroneus longus tendon kullanımına dair cerrahlar arasındaki temel endişe, ayak bileği stabilitesi ve eversiyon gücü üzerindeki potansiyel etkilerdir. Ancak greft

alımı sırasında PLT'nin distal güdüğünün peroneus brevis tendonuna tenodes edilmesi, ayak bileğinin lateral stabilitesinin ve fonksiyonel kapasitesinin korunmasını sağlamaktadır.^[4,22,29] Klinik değerlendirmelerde *American Orthopedic Foot and Ankle Society* (AOFAS) skorlarında hafif bir düşüş gözlenirse de bu durumun günlük yaşamda veya sportif performansta klinik olarak anlamlı bir yetersizliğe yol açmadığı saptanmıştır.^[2,31]

Cerrahi güvenlik açısından, greft alımının fibula başının en az 5 cm distalinde sonlandırılması, derin ve yüzeysel peroneal sinir hasarı riskini minimize etmek için kritik bir teknik detaydır ve bu protokole uyulduğunda kalıcı nörovasküler komplikasyon riski oldukça düşüktür.^[2,4]

Allogreftler

Revizyon ÖÇBR'de allogreftler; özellikle ipsilateral otogreft seçeneklerinin yetersiz kaldığı, çoklu bağ yaralanmalarının eşlik ettiği veya donör saha morbiditesinin en aza indirilmesinin amaçlandığı durumlarda başvurulacak bir alternatiftir.^[32] Kuzey Amerika kökenli geniş ölçekli, çok merkezli veri tabanları incelendiğinde; allogreftlerin, revizyon olgularında belirgin bir oranda tercih edildiği bildirilse de bu durum ülkemizdeki klinik pratikle tam olarak örtüşmemektedir.^[3,23,25] Türkiye'deki yaygın cerrahi yaklaşım, allogreftlerin temin maliyetleri ve biyolojik entegrasyon önceliği nedeniyle, revizyon cerrahilerinde hâlen ilk olarak otogreft seçeneklerini tercih etmektir.

Allogreft kullanımı, batı literatüründe; daha çok donör saha ağrısı ile fonksiyonel kas gücü kayıplarının ortadan kaldırılması, ameliyat süresinin kısaltılması ve genişlemiş revizyon tünellerinin yapısal gereksinimlerine uygun boyutlarda hazır greft temin edilebilmesi gibi belirli cerrahi avantajlar temelinde gerekçelendirilmektedir.^[25,33] Ancak allogreftlerin taşıdığı yavaş ligamentizasyon süreci ve özellikle genç/aktif popülasyondaki yüksek mekanik başarısızlık riskleri, bu seçeneğin daha sınırlı ve spesifik endikasyonlarla (ileri yaş olgular, çoklu bağ cerrahileri) saklı tutulması eğilimini güçlendirmektedir.^[8,33]

Klinik pratikte tercih edilen allogreftler, morfolojik yapılarına göre; yumuşak doku greftleri ve kemik-tendon kombinasyonları olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır. Yumuşak doku allogreft seçenekleri arasında HT'ler, tibialis anterior, tibialis posterior ve peroneus longus tendonları ile fasyalata yer almaktadır.^[25] Kemik-patellar tendon-kemik, aşil tendonu ve QT ise kemik blokları alternatifleri oluşturur. Revizyon cerrahisinde, özellikle tünel osteolizinin eşlik ettiği olgularda, her iki ucunda da yapısal kemik bloku barındıran BPTB allogrefti, kemikten ke-

miğe biyolojik iyileşme potansiyeli ve rijit erken fiksasyon avantajı yönüyle kritik bir klinik öneme sahiptir.^[14]

Biyomekanik literatür verileri, kullanılan allogreftlerin büyük bölümünün doğal ÖÇB'nin sahip olduğu maksimum yetmezlik yükünü karşılayabildiğini göstermektedir. Aynı veriler, katlanarak hazırlanmamış (tek şeritli/ *single-strand*) tibialis greftlerin en düşük maksimum yetmezlik yüküne sahip olduğunu, QT allogreftlerinin ise biyomekanik olarak en yüksek yetmezlik sınırını sergilediğini bildirmektedir.^[25]

Allogreftlerin klinik performansı, dokunun saklanma, işlenme ve sterilizasyon yöntemlerinden doğrudan etkilenmektedir. Literatürde, greft materyallerinin genellikle taze dondurma (*fresh-frozen*), dondurarak kurutma (*lyophilization / freeze-dried*) veya kriyoprezervasyon (*cryopreservation*) teknikleriyle muhafaza edildiği söylenmektedir.^[8,25] Bu yöntemlerden kriyoprezervasyon; anjiyogenezi teşvik etmesi ve konakçının immün yanıtını minimize etmesi yönüyle biyolojik bir avantaj sunabilmektedir.^[34] Ancak allogreft kullanımındaki en kritik ve tartışmalı aşama sterilizasyon sürecidir.

Gama radyasyonu uygulaması, viral ve bakteriyel bulaş riskini belirgin şekilde azaltsa da uygulanan doza bağlı olarak greftin yapısal biyomekanik özelliklerini zayıflatmakta, ligamentizasyon sürecini geciktirmekte ve greft yetmezliği riskini artırmaktadır.^[3] Güncel literatür, dokunun biyomekanik bütünlüğünü korumak adına radyasyon dozunun 20 kGy (veya 2.5 Mrad) sınırının altında tutulmasını veya mümkünse ışınlanmamış greftlerin tercih edilmesini önermektedir.^[33]

Allogreftlerde biyolojik entegrasyon süreci, otogreftlerle benzer histopatolojik evreleri (nekroz, revaskülarizasyon ve remodeling) izlemekle birlikte; kronolojik olarak anlamlı derecede daha yavaş ilerlemektedir.^[14] Hayvan modellerinde allogreftlerin revaskülarizasyon ve hücre kolonizasyon süreçlerinin otogreftlere kıyasla belirgin şekilde geciktiği; bu hücre ve vasküler gecikmenin ise greft dokusunu erken rehabilitasyon dönemindeki mekanik streslere karşı mikro-mekanik yetersizliklere ve yapısal deformasyonlara yatkın hâle getirdiği saptanmıştır.^[25]

Allogreftlerin revizyon cerrahisindeki klinik başarıları ve yapısal uzun dönem sağkalımı, hastanın kronolojik yaşı ve ameliyat sonrası aktivite düzeyi ile doğrudan ilişkilidir. Geniş ölçekli kayıt çalışmaları ve meta-analiz verileri, kadavra kaynaklı greftlerin, özellikle 25 yaş altı genç ve yüksek fiziksel aktivite beklentisi olan popülasyonda, otogreft alternatiflerine kıyasla anlamlı derecede yüksek bir mekanik yetmezlik ve rerüptür riski taşıdığını ortaya koymaktadır.^[33] Buna karşın, düşük doz radyas-

yonla steril edilmiş veya ışınlanmamış dokuların tercih edildiği ileri yaş grubundaki (genellikle 40 yaş ve üzeri) olgularda allogreft sonuçları, otogreft serileriyle benzer fonksiyonel skorlar ve greft sağkalım oranları sergilenmektedir.^[35]

Biyolojik güvenlik ve hastalık bulaşı açısından modern tarama modaliteleri (nükleik asit amplifikasyon testleri gibi) sayesinde insan immün yetmezlik virüsü ve hepatit gibi viral geçişler teorik sınırlara gerilemiş olsa da özellikle yapısal kemik bloku içeren allogreftlerde *clostridium* gibi anaerobik bakteriyel kontaminasyonu ve greft enfeksiyonu riskleri klinik bir endişe kaynağı olmaya devam etmektedir.^[25] Tüm bu biyomekanik ve patolojik kısıtlılıkların yanı sıra allogreftlerin lojistik tedarik gereksinimleri de ülkemizdeki yaygın cerrahi eğilimin otogreft seçeneklerine yönelmesinde temel rol oynamaktadır.

Allogreft tercih edilen revizyon cerrahileri sonrası rehabilitasyon yaklaşımları, dokunun yavaş ilerleyen biyolojik entegrasyon kinetiği nedeniyle daha koruyucu ve kronolojik olarak modifiye edilmiş bir takvimde planlanmış olmalıdır. Erken dönemde greft bütünlüğünü riske atmamak adına, spora ve yüksek aktiviteye dönüş süreçleri greftin fonksiyonel ligamentizasyon fazını tamamlamasına olanak tanıyacak şekilde, otogreft serilerine kıyasla daha uzun bir döneme yayılmalı ve kademeli olarak ilerletilmelidir.^[14,33]

Sonuç olarak allogreftler; revizyon ÖÇBR cerrahisinde donör saha morbiditesini elimine etmesi ve genişlemiş tüneller ile çoklu bağ yaralanmalarında yapısal esneklik sunması yönüyle değerli bir alternatif olmaya devam etmektedir. Ancak; greft sterilizasyon tekniklerinin doku biyomekaniği üzerindeki olumsuz etkileri, histolojik iyileşme gecikmesi ve özellikle genç/aktif popülasyondaki yüksek mekanik yetmezlik oranları göz önünde bulundurularak, bu seçeneğin yaygın cerrahi alışkanlıklarla da uyumlu olacak şekilde, hastaya özgü ve seçici endikasyonlarla klinik pratiğe dâhil edilmesi gerekmektedir.

Ksenogreftler, Sentetik Greftler ve İskeleler

Ön çapraz bağ yaralanmalarının yüksek insidansı ve rejeneratif tıptaki bilimsel gelişmeler, ortopedik spor cerrahisi literatürünü geleneksel otogreft ve allogreftlerin ötesine geçerek; ksenogreftler, sentetik materyaller ve biyomühendislik ürünü biyolojik iskeleler (scaffold'lar) gibi alternatif arayışlara odaklamıştır.^[12,16,36] Bu yenilikçi yaklaşımlar, konvansiyonel greftlerin kısıtlılıklarını aşma konusunda teorik olarak önemli avantajlar vadetse de günümüz klinik rutin uygulamalarına tam anlamıyla entegre olabilmeleri için henüz erken evrededir.

Sentetik greftler

Sentetik greftler, biyolojik greftlerin (otogreft ve allogreft) potansiyel dezavantajlarını ve donör saha morbiditesini ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Fiksasyon anında maksimum çekme direnci sağlamaları, erken rehabilitasyona ve spora hızlı dönmeye olanak tanımları en büyük avantajlarıdır. Ancak 1970 ve 1980'li yıllarda kullanılan dacron, kevlar ve karbon lifli ilk nesil sentetik materyaller; materyal yorgunluğu, yetersiz biyomekanik özellikler ve kronik inflamatuvar süreçlere (sinovit vb.) yol açtıkları için başarısızlıkla sonuçlanmıştır.^[37]

Günümüzde LARS gibi yeni nesil sentetik greftler; geliştirilmiş lif tasarımları ve remnant koruyucu cerrahi tekniklerin ön plana çıkmasıyla literatürde yeniden gündeme gelmişlerdir.^[12,36] Emilmeyen polietilen tereftalat liflerinden üretilen bu sistemler, özellikle akut çoklu bağ yaralanmalarında veya otogreft kaynaklarının tükendiği spesifik revizyon olgularında bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Ancak, uzun dönem takipleri içeren güncel çalışmalar, modern sentetik sistemlerde dahi yüksek rerüptür oranları ve beklentinin altında kalan fonksiyonel sonuçlar bildirmeye devam etmektedir.^[1,36,37]

Sentetik greftlerin biyolojik dokulara kıyasla daha yüksek rijitliğe sahip olmaları ve doğal bağların esneklik özelliklerinden yoksun bulunmaları, cerrahi hata payını oldukça düşürmektedir. Ancak bu mekanik esneklik kısıtlılığı nedeniyle sentetik materyaller, hatalı tünel yerleşiminden kaynaklanan stresleri tolere edememekte ve biyolojik greftlere göre tünel pozisyon hatalarına karşı çok daha hassas kalarak erken dönemde mekanik yetmezliğe uğramaktadır.^[37]

Ksenogreftler

Farklı türlerden (genellikle domuz veya sığır patellar tendonlarından) elde edilen ksenogreftler, ÖÇB cerrahisinde teorik olarak sınırsız bir greft kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir.^[16,38] İnsan bağ anatomisini taklit edebilen bu dokuların klinik kullanımındaki en büyük engel ise konakçıda gelişen şiddetli immünolojik ret reaksiyonları ve buna bağlı erken doku yıkımıdır. Bu antijenik sorunları aşabilmek amacıyla ksenogreftler; deselülerizasyon, hücre yüzey antijenlerinin uzaklaştırılması, doku çapraz bağlama (*cross-linking*) ve gama sterilizasyonu gibi karmaşık endüstriyel süreçlerden geçirilmektedir.^[8,38]

Klinik çalışmalar, bu işlemlerden geçmiş ksenogreftlerin biyolojik olarak güvenle kullanılabileceğini ve başarılı ligamentizasyon sağladığını gösterse de bazı erken

dönem serilerde üretim aşamasındaki kontaminasyonlara bağlı yüksek sinovit ve enfeksiyon oranları rapor edilmiştir.^[38] Biyomekanik hayvan modellerinde ksenogreftlerin, otogreftlerle benzer maksimum yük çekme kabiliyetine ulaştığı saptansa da bu dokuların rutin klinik pratiğe dâhil edilebilmesi için işlenmesi ve antijen arındırma teknolojilerinin daha güvenli ve standart bir seviyeye ulaştırılması gerekmektedir.^[16]

Biyo-mühendislik ürünü iskeleler (scaffold'lar)

Doku mühendisliği ürünü iskeleler, biyolojik ve sentetik bileşenleri bir araya getirerek doku rejenerasyonunu optimize eden ileri teknoloji yaklaşımlardır. Klinik kullanımda temel olarak yetersiz greft materyalini desteklemek amacıyla greft augmentasyonu olarak ya da doğrudan ligamentöz onarımı indüklemek için tercih edilirler.^[8,13] Bu yapıların tasarımı, iyileşme sürecinde yük paylaşımı sağlayarak grefti mekanik olarak güçlendirirken, biyolojik entegrasyonu da hızlandırır.

Güncel ortopedi pratiğinde kullanılan biyokompozit iskeleler, rezorbe olabilen polilaktit mikrofilamentler ile gözenekli tip I kollajen mimarisinden oluşur.^[13,36] Bu yapılar, biyolojik adjuvanları bünyesinde tutan bir matris görevi görerek ligamentizasyon sürecini destekler ve greftin biyolojik olgunlaşma süresini kısaltır. Ayrıca, büyüme faktörleri ile modifiye edilmiş çok fazlı iskeleler, revizyon cerrahisinde kritik olan tünel-greft entegrasyonu ve osteointegrasyon yetersizliklerini aşmada yüksek klinik potansiyel sergilemektedir.^[36] Gelecekte bu yöntemlerin, donör saha morbiditesini ortadan kaldıran ve doğal bağ dokusunu taklit eden ideal seçeneklere dönüşmesi öngörülmektedir.

Güncel Yaklaşımlar

Son yıllarda konvansiyonel BPTB greftlerinin klinik dominansı, donör saha morbiditesini azaltma amacıyla popülerite kazanan HT ve QT alternatifleri ile güçlü bir şekilde sınanmaktadır.^[8,23] Histolojik ve mikroyapısal açıdan greft seçenekleri, kendi aralarında belirgin morfolojik varyasyonlar (fibroblast yoğunluğu, vaskülarizasyon ve fibril oranları) gösterse de; klinik pratikte tercih edilen otogreftlerin büyük bölümü, başlangıç fazında doğal ÖÇB'den daha yüksek biyomekanik özellikler sergilemektedir.^[14] Biyomekanik literatür verileri; QT'nin yapısal özelliklerinin oldukça avantajlı olduğunu, ayrıca erken rehabilitasyon dönemi ve ligamentizasyon fazı için kritik bir parametre olan greft rijitliğinin BPTB ve QT gruplarında HT greftlerine kıyasla doğal ÖÇB anatomisine çok daha yakın ve elverişli olduğunu ortaya koymaktadır.^[5,7,23]

Revizyon ÖÇBR cerrahilerinde ise otogreftlerin klinik sağkalımı, allogreft serilerine kıyasla belirgin şekilde üstündür.^[3-9,23,39] Güncel meta-analizler, revizyon cerrahisinde HT otogreftlerinin, BPTB veya QT alternatiflerine oranla benzer ya da daha suboptimal fonksiyonel sonuçlar ürettiğini ve mekanik yetmezlik eğiliminin HT grubunda daha yüksek olduğunu bildirmektedir.^[7,8,23] Derin enfeksiyon oranları açısından incelendiğinde HT otogreftlerinin BPTB'ye kıyasla; allogreftlerin ise genel olarak otogreft seçeneklerine kıyasla daha yüksek ameliyat sonrası enfeksiyon riski taşıdığı görülmektedir.^[25,40]

Geleceğe yönelik yaklaşımlarda ise donör saha morbiditesini tamamen elimine edebilecek ve ideal biyomekanik matrisler sunabilecek alternatif arayışları ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda; hücresele arındırma süreçleri geliştirilmiş ksenogreftler, mekanik dayanımı optimize edilmiş yeni nesil sentetik greftler ve doku mühendisliği ürünü üç boyutlu scaffold'lar gelecek vadeden en güçlü adaylardır.^[1,13,16,36-38] Bu biyomühendislik ürünlerinin, konakçı hücrelerin kolonizasyonuna ve dinamik ligamentizasyon sürecine izin veren biyouyumlu matris yapılarına ulaştırılması, ÖÇB cerrahisinin gelecekteki standartlarını belirleyecektir.^[1,8,13,16,36,38]

Sonuç

Revizyon ÖÇBR'de greft seçimi, cerrahi başarının temel belirleyicilerinden biri olup; biyomekanik direnci, klinik sonuçları ve komplikasyon risklerini doğrudan etkileyen kritik ve modifiye edilebilir bir karardır. Güncel literatür, tek bir altın standart arayışı yerine; hastanın aktivite düzeyi, tünel anatomisi, önceki cerrahide kullanılan dokular ve bireysel beklentileri temel alan bireyselleştirilmiş bir strateji izlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, kapsamlı bir ameliyat öncesi planlama ile hastaya özel gereksinimlerle uyumlu doğru greft tercihinin yapılması; diz stabilitesini geri kazandırmak, greft sağkalımını optimize etmek ve hastanın yara lanma öncesi fonksiyonel kapasitesine güvenle dönmesini sağlamak için vazgeçilmez bir unsurdur.

KAYNAKLAR

- Barnaś M, Kentel M, Morasiewicz P, Witkowski J, Reichert P. Clinical assessment and comparison of ACL reconstruction using synthetic graft (Neoligaments versus FiberTape). *Adv Clin Exp Med* 2021;30(5):491-8. <https://doi.org/10.17219/acem/132036>
- He J, Tang Q, Ernst S, Linde MA, Smolinski P, Wu S, et al. Peroneus longus tendon autograft has functional outcomes comparable to hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021;29(9):2869-79. [Crossref](#)
- Selcuk H, Baz AB, Egerci OF, Kose O. Peroneus longus tendon autograft versus allograft in revision ACLR: A retrospective comparison. *Orthop Traumatol Surg Res* 2024;110(4):103775. [Crossref](#)
- Demirtaş İ, Kılınç Ö. Clinical outcomes of peroneus longus tendon and contralateral hamstring tendon autografts in revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Cukurova Med J* 2026;51(2):629-38. [Crossref](#)
- Matassi F, Corti J, Chirico M, Franco P, Taha ZA, Civinini R. Anterior Cruciate Ligament Revision Using Quadriceps Tendon Autograft and Lateral Extra-Articular Tenodesis. *Arthrosc Tech* 2025;14(1):103163. [Crossref](#)
- Ricchi T, Di Muro A, Taha ZA, Franco P, Matassi F. Anterior Cruciate Ligament Revision Using Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft and Lateral Extra-articular Tenodesis. *Arthrosc Tech* 2024;13(12):103149. [Crossref](#)
- Lee DW, Moon SG, Kang JH, Cho SI, Kim WJ. Clinical and Radiological Outcomes of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Quadriceps Tendon Autograft with a Bone Block: A Single-Center Case Series. *Medicina (Kaunas)* 2025;61(9):1634. [Crossref](#)
- Ostojic M, Indelli PF, Lovrekovic B, Volcarengi J, Juric D, Hakam HT, et al. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Comprehensive Review of Current Trends. *Medicina (Kaunas)* 2024;60(12):2090. [Crossref](#)
- Gupta VK, Mahesan H, Murali V, Jeganathan P, Perumal S, Sivaraman A. Ipsilateral Autologous Peroneus Longus and Bone Patellar Tendon Graft for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Leads to Similar Functional Outcome. *J Orthop Case Rep* 2025;15(4):221-8. [Crossref](#)
- Wright RW, Huston LJ, Haas AK, Pennings JS, Allen CR, Cooper DE, et al. Association Between Graft Choice and 6-Year Outcomes of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the MARS Cohort. *The American Journal of Sports Medicine* 2021;49(10):2589-98. [Crossref](#)
- Wright RW, Huston LJ, Haas AK, Pennings JS, Allen CR, Cooper DE, et al. Effect of Graft Choice on the Outcome of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Multicenter ACL Revision Study (MARS) Cohort. *The American Journal of Sports Medicine* 2014;42(10):2301-10. [Crossref](#)
- Tiefenboeck TM, Thurmaier E, Tiefenboeck MM, Ostermann RC, Joestl J, Winnisch M, et al. Clinical and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction using the LARS™ system at a minimum follow-up of 10 years. *Knee* 2015;22(6):565-8. [Crossref](#)
- Marks Benson E, Pyrz K, Wood A, Momaya A, Brabston E, Evelyn T, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction using Bone-Tendon-Bone Allograft: Surgical Technique Using Augmentation with Bio-Composite Scaffold. *Arthrosc Tech* 2024;13(3):102877. [Crossref](#)
- Gulotta LV, Rodeo SA. Biology of autograft and allograft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med* 2007;26(4):509-24. [Crossref](#)

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;45:925-32. [Crossref](#)
16. Lombardi JA, Hoonjan A, Rodriguez N, Delossantos A, Monteiro G, Sandor M, et al. Porcine bone-patellar tendon-bone xenograft in a caprine model of anterior cruciate ligament repair. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2020;28(2):2309499020939737. [Crossref](#)
17. Musahl V, Engler ID, Nazzal EM, Dalton JF, Lucidi GA, Hughes JD, et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part II: Evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30(1):34-51. [Crossref](#)
18. Gifstad T, Foss OA, Engebretsen L, Lind M, Forssblad M, Albrektzen G, et al. Lower Risk of Revision With Patellar Tendon Autografts Compared With Hamstring Autografts: A Registry Study Based on 45,998 Primary ACL Reconstructions in Scandinavia. *The American Journal of Sports Medicine* 2014;42(10):2319-28. [Crossref](#)
19. Mascarenhas R, Tranovich MJ, Kropf EJ, Fu FH, Harner CD. Bone-patellar tendon-bone autograft versus hamstring autograft anterior cruciate ligament reconstruction in the young athlete: A retrospective matched analysis with 2-10 year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20(8):1520-7. [Crossref](#)
20. Tomihara T, Hashimoto Y, Nishino K, Taniuchi M, Takigami J, Tsumoto S, et al. Bone-patellar tendon-bone autograft and female sex are associated with the presence of cyclops lesions and syndrome after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2023;31: 2762-71. [Crossref](#)
21. Sengoku T, Nakase J, Mizuno Y, Kanayama T, Ishida Y, Yanatori Y, et al. Limited preoperative knee extension in anterior cruciate ligament reconstruction using a hamstring tendon affects improvement of postoperative knee extensor strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2023;31(12):5621-8. [Crossref](#)
22. Altun O, Ergişi Y, Karabacak M, Özdemir E, Daşar U. Graft diameter, not graft type, predicts outcomes in single-stage revision ACL reconstruction: A comparison of peroneus longus and contralateral hamstring autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2026. [Crossref](#)
23. Meena A, Di Paolo S, Grassi A, Raj A, Farinelli L, Hoser C, et al. No difference in patient reported outcomes, laxity, and failure rate after revision ACL reconstruction with quadriceps tendon compared to hamstring tendon graft: A systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2023;31(8):3316-29. [Crossref](#)
24. Rahardja R, Zhu M, Love H, Clatworthy MG, Monk AP, Young SW. Factors associated with revision following anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review of registry data. *Knee* 2020;27(2):287-99. [Crossref](#)
25. Hulet C, Sonnerly-Cottet B, Stevenson C, Samuelsson K, Laver L, Zdanowicz U, et al. The use of allograft tendons in primary ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27(6):1754-70. [Crossref](#)
26. Connors JP, Cusano A, Saleet J, Hao KA, Efremov K, Parisien RL, et al. Return to Sport and Graft Failure Rates After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With a Bone-Patellar Tendon-Bone Versus Hamstring Tendon Autograft: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med* 2025;53(8):1996-2006. [Crossref](#)
27. Banovetz MT, Kennedy NI, LaPrade RF, Engebretsen L, Moatshe G. Biomechanical considerations for graft choice in anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann Jt* 2023;8:17. [Crossref](#)
28. Kunze KN, Moran J, Polce EM, Pareek A, Strickland SM, Williams RJ 3rd. Lower donor site morbidity with hamstring and quadriceps tendon autograft compared with bone-patellar tendon-bone autograft after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2023;31(8):3339-52. [Crossref](#)
29. Butt UM, Khan ZA, Amin A, Shah IA, Iqbal J, Khan Z. Peroneus Longus Tendon Harvesting for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JBJS Essent Surg Tech* 2022;12:e20.00053. [Crossref](#)
30. Kerimoğlu S, Aynaci O, Saraçoğlu M, Aydın H, Turhan AU. Peroneus longus tendon ile ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu [Anterior cruciate ligament reconstruction with the peroneus longus tendon]. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2008;42(1):38-43. [Crossref](#)
31. Gök B, Kanar M, Tutak Y. Peroneus Longus vs Hamstring Tendon Autografts in ACL Reconstruction: A Comparative Study of 106 Patients' Outcomes. *Med Sci Monit* 2024;30:e945626. [Crossref](#)
32. Strickland SM, MacGillivray JD, Warren RF. Anterior cruciate ligament reconstruction with allograft tendons. *Orthop Clin N Am* 2003;34:41-7. [Crossref](#)
33. Lansdown DA, Riff AJ, Meadows M, Yanke AB, Bach BR Jr. What Factors Influence the Biomechanical Properties of Allograft Tissue for ACL Reconstruction? A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res* 2017;475(10):2412-26. [Crossref](#)
34. Indelli PF, Dillingham MF, Fanton GS, Schurman DJ. Anterior cruciate ligament reconstruction using cryopreserved allografts. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(420):268-75. [Crossref](#)
35. Mariscalco MW, Magnussen RA, Kaeding CC, Hewett TE, Flanigan DC. Use of Irradiated and Non-Irradiated Allograft Tissue in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev* 2014;2(2):e4. [Crossref](#)
36. Xie X, Cai J, Li D, Chen Y, Wang C, Hou G, et al. Multiphasic bone-ligament-bone integrated scaffold enhances ligamentization and graft-bone integration after anterior cruciate ligament reconstruction. *Bioact Mater* 2023;31:178-91. [Crossref](#)

37. Chen T, Zhang P, Chen J, Hua Y, Chen S. Long-Term Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Either Synthetics With Remnant Preservation or Hamstring Autografts: A 10-Year Longitudinal Study. *Am J Sports Med* 2017;45(12):2739-50. [Crossref](#)
38. Van Der Merwe W, Lind M, Faunø P, Van Egmond K, Zaffagnini S, Marcacci M, et al. Xenograft for anterior cruciate ligament reconstruction was associated with high graft processing infection. *J Exp Orthop* 2020;7(1):79. [Crossref](#)
39. Lin CH, Chih WH, Chiang CH. Effect of graft types for outcomes in revision anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Orthop Traumatol Surg Res* 2024;110(1):103696. [Crossref](#)
40. Maletis GB, Inacio MC, Funahashi TT. Analysis of 16,192 anterior cruciate ligament reconstructions from a community-based registry. *Am J Sports Med* 2013;41(9):2090-8. [Crossref](#)