

ORIGINAL ARTICLE

Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrası verilen dirençli egzersiz eğitiminin sıçrama performansı üzerine etkisi

Ayşe UZUN¹, Nevin ERGUN², Damla ARSLAN¹, Gül BALTACI¹, Yavuz YAKUT³

Amaç: İzometrik kas kuvveti ve tek bacak sıçrama testi diz cerrahileri sonrasında spora veya günlük yaşama dönüşte bireyleri değerlendirmek için sıklıkla kullanılan ölçümlerdir. Bu çalışmanın amacı verilen izometrik eğitimin, hamstring ve quadriceps kas kuvveti üzerindeki etkinliğini tek bacak sıçrama testi kullanarak değerlendirmek idi.

Yöntem: Ön Çapraz Bağ Rekonstrüksiyonu geçiren 20 erkek hasta çalışmaya dahil edildi. 16. ve 24. haftalarda izometrik kas kuvveti ve tek bacak sıçrama testleri yapıldı ve bu haftalar arasında bireylere izometrik eğitim verildi. Zirve tork quadriceps/vücut ağırlığı, zirve tork hamstring/vücut ağırlığı, hamstring/quadriceps oranı değerleri çalışmaya dahil edildi. İkili karşılaştırmada Wilcoxon testi, korelasyon analizinde Pearson korelasyon katsayısı kullanıldı.

Bulgular: Opere dizde 16. haftasında, ekstansiyon zirve tork değeri ile tek bacak sıçrama testi arasında orta derecede ilişki görülürken ($r=0,622$, $p=0,023$), sağlam dizde, ekstansiyon zirve tork değeri ile tek bacak sıçrama testi arasında bir ilişki görülmedi ($r=0,147$, $p=0,631$). 24.haftada, opere ve sağlam dizdeki ekstansiyon zirve tork değeri ve tek bacak sıçrama testi arasındaki ilişki orta derece bulundu ($r=0,595$, $p=0,032$), ($r=0,591$, $p=0,033$). 16. haftada hamstring/quadriceps oranı ile tek bacak sıçrama testi arasındaki ilişki yüksek bulundu ($r=0,725$, $p=0,005$).

Sonuç: Çalışmanın sonucunda, ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrası verilen dirençli izometrik eğitimin, tek bacak sıçrama performansını orta derecede etkilediği bulundu.

Anahtar kelimeler: Ön çapraz bağ, Kas kuvveti dinamometre, Fiziksel uygunluk testi, Quadriceps kası.

Effect of resistive exercise training on jumping performance after anterior cruciate ligament reconstruction

Purpose: Isokinetic muscle strength and single leg jump test are frequently used measurements to evaluate individuals returning to sports or daily life after knee surgeries. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of isokinetic training on hamstring and quadriceps muscle strength using the single leg jump test.

Methods: Twenty male patients who underwent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction were included in the study. Isokinetic muscle strength and single leg jump tests were performed at 16 and 24 weeks, and isokinetic training was given to the individuals between these weeks. Peak torque quadriceps/body weight, peak torque hamstring/body weight, peak torque hamstring/quadriceps ratio values were evaluated. Intra-group comparisons were analyzed with the Wilcoxon test, the correlation analysis was used Pearson's correlation coefficient.

Results: While there was a moderate correlation between the peak extension torque value and the single leg jump test in the operated knee at week 16 ($r=0.62$, $p=0.023$), there was no correlation between the extension peak torque value and the single leg jump test in the non-operated knee ($r=0,14$, $p=0,63$). The relationship between the peak extension torque value in the operated and non-operated knee and the single leg jump test was found to be moderate at 24 weeks ($r=0,595$, $p=0,032$), ($r=0,591$, $p=0,033$). At 16 weeks, the relationship between hamstring/quadriceps ratio and single leg jump test was high ($r=0.72$, $p=0.05$).

Conclusion: As a result of the study, it was found that resistive isokinetic exercise training given after anterior cruciate ligament reconstruction, moderately affected single leg jump performance.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Muscle strength dynamometer, Physical fitness testing, Quadriceps muscle.

1: Güven Çayyolu Health Campus, Ankara, Türkiye.

2: Sanko University Department of Physiotherapy and Rehabilitation Gaziantep, Türkiye.

3: Hasan Kalyoncu University Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Gaziantep, Türkiye.

Corresponding Author: Aysen Uzun: fztayse16@gmail.com

ORCID IDs (order of authors): 0000-0003-2518-3993;0000-0001-6575-7205;0000-0001-6458-6520;0000-0002-6513-2499; 0000-0001-9363-0869

Received: February 8, 2022. Accepted: May 23, 2022.



Ön Çapraz Bağ (ÖÇB) dizde kesme ve dönme manevraları esnasında en sık yaralanan bağlardan bir tanesidir.¹ ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrasında bireylerin tekrardan günlük yaşama veya spora dönüşte yeterli kas kuvvetine sahip olmaları beklenilmektedir.² Bununla birlikte kas kuvvetinin azalması, dizde asimetrik yüklenme ve diz stabilitesinin azalması, spor veya günlük yaşama dönüşü geciktirmekte ve ikincil bir yaralanmaya zemin hazırlamaktadır.³

ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrası, zamana bağlı iyileşme potansiyelini göstermek için periyodik kas gücü değerlendirmesi oldukça önemlidir. Kas gücünün bilinmesi rehabilitasyon programının oluşturulmasında ve spora dönüşteki kriterlerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.^{4,5} Kas gücünün azalması, kas atrofisi, artrojenik kas inhibisyonu ve fiziksel aktivitenin azalmasından dolayı cerrahi sonrası quadriceps kas gücünde kayıpların olması kaçınılmazdır.⁵ Rekonstrüksiyon sonrası kuvvet eğitimi rehabilitasyon programlarının yapı taşını oluşturmaktadır.⁶ Bu eğitimlerden bir tanesi de izokinetik kas gücü eğitim modelidir. İzokinetik dinamometreler; maksimal yoğunlukta egzersizin gerçekleşmesini ve tam eklem hareket sınırında sabit bir açısal hız sağlayarak⁷ ve her bir eklem açısında maksimal seviyede kas gücü oluşturarak egzersizin yapılmasına olanak sağlamaktadırlar.⁸

Ön Çapraz Bağ Rekonstrüksiyonu postoperatif rehabilitasyonunda; izometrik ve izokinetik ölçümler, tek bacak sıçrama testi ve çok yönlü sıçrama testleri bireylerin fonksiyonel düzeylerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.⁹⁻¹⁰ Bunların arasında tek bacak sıçrama testi, geçerliliği ve güvenilirliği oldukça yüksek olan ve tercih edilen bir testtir.¹⁰ Çalışmanın amacı, ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu sonrası verilen izokinetik egzersiz eğitiminin sıçrama performansı üzerindeki etkisini incelemek idi..

YÖNTEM

Çalışmaya ÖÇB rekonstrüksiyonu geçirmiş, hamstring grefti kullanılan, 20 erkek birey dahil edildi.

Hastaların onamları ve çalışmanın etik kurul onayı Gazi Üniversitesi Girişimsel

Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan (Karar No: 697) alındı. Çalışmaya gönüllü, 18-45 yaş aralığında izole ÖÇB yaralanması olan ve son 6 ay içerisinde sağlam ekstremitede yaralanma öyküsü olmayan erkek bireyler dahil edildi. Sistemik ve nörolojik hastalıklar, lateral ve medial kollateral bağlarda üçüncü derece yırtık, belirgin eklem kırıkta lezyonu ve revizyon cerrahisi olan bireyler çalışma dışı bırakıldı.

Değerlendirme Protokolü

Tek bacak sıçrama testi: Bireylerden başlangıç noktasını temsil eden bir çizginin arkasında, tek ayak üzerinde durarak, mümkün olan en uzak mesafeye zıplamaları istendi. Test zıplanan bacak üstünde bitirildi. Birey yere inişi dengeli bir şekilde yaparsa test geçerli sayıldı. Test bireylere rekonstrüksiyon sonrası 16. ve 24. haftalarda uygulandı. Test 3 tekrarlı yapıldı. En iyi skor cm cinsinden kaydedildi. Yere iniş esnasında dengenin bozulması, karşı taraf ekstremitenin yere dokunması durumunda test tekrar edildi. Teste önce sağlam tarafla başlanıldı.¹¹

İzokinetik test: Kas kuvvet ölçümü izokinetik sistemde, hamstring ve quadriceps kaslarına yapıldı. Her iki kasın konsentrik kasılma esnasında ortaya çıkardığı kuvvet parametreleri ölçüldü. İzokinetik test uygulamasında, Zirve tork fleksiyon (Nm/kg), zirve tork ekstansiyon (Nm/kg), zirve tork hamstring/quadriceps (H/Q) oranı çalışmaya dahil edildi. İzokinetik test uygulaması ISOMED 2000 (Ferstl GmbH Germany) aleti ile ölçüldü.⁴ Hastaya ölçümden önce sıfır dirençli bisiklette, 5 dk. ısınma egzersizi uygulandı ve sonrasında izokinetik alete alındı. Yapılacak test hakkında bilgilendirme verildi. Ölçümler 60°/sn açısal hızda-konsentrik modda, 5 tekrarlı olarak yapıldı. Ölçümden önce familirizasyon için 3 tekrarlı test uygulaması yapıldı, sonrasında teste başlanıldı. Eğitim haftada 3 kez olmak üzere toplam 8 hafta uygulandı. Test sonrası verilecek eğitimde 60°/sn, 90°/sn, 120°/sn ve 180°/sn açısal hızlar kullanıldı. İlk 1-4. haftalarda 60°/sn ve 90°/sn açısal hızlarda 5 tekrar-3 set, 120°/sn ve 180°/sn açısal hızlarda 10 tekrar-3 set eğitim verildi. 4-8. hafta arasında tekrar sayısı bireylerin klinik statüsüne göre arttırıldı. Set aralarında 30 sn, egzersiz aralarında 1 dk. dinlenme periyodu verildi. Rekonstrüksiyon sonrası, 16. ve 24. haftalarda quadriceps ve hamstring kaslarına,

izokinetik kas kuvveti ölçümü yapıldı. Bireyler 16.hft da ölçüm için kliniğe davet edildi. 2 ay sonunda 24. haftalarda tekrar izokinetik test ölçümüne çağrıldı ve aynı ölçüm tekrarlandı.

İstatistiksel analiz

Verilerin analizinde SPSS 21 versiyonu kullanıldı. Etki büyüklüğü 0,475, alfa değeri 0,05 ve gücü 0,80 değerleri alınarak yapılan güç analizinde çalışmaya dahil edilecek birey sayısı 26 bulundu.¹² Çalışmaya 20 birey dahil edildi. Veriler normal dağılıma uygun olduğu için, tek bacak sıçrama ve izokinetik değerler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson Korelasyon testi uygulandı. Korelasyon katsayısında ($r < 0,30$ zayıf) ($\geq 0,30$ $r < 0,50$ orta) ($\geq 0,50$ kuvvetli) olarak kabul edildi.¹² İkili karşılaştırmada Wilcoxon testi kullanıldı. Anlamlılık düzeyi olarak $p < 0,05$ kabul edildi.

BULGULAR

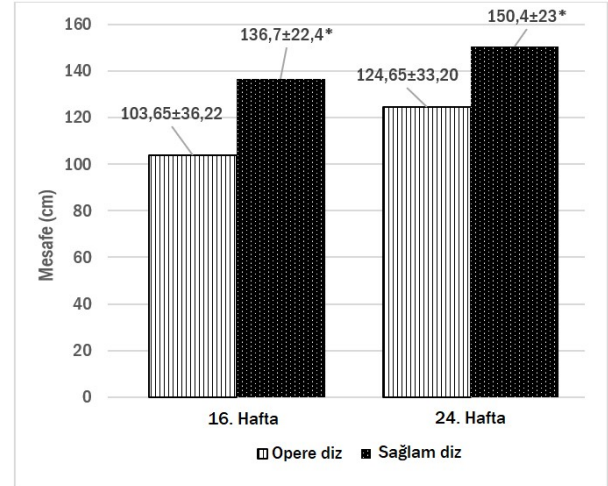
Bireylerin demografik bilgileri ve fiziksel özellikleri (yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut kütle indeksi) Tablo 1.'de verildi.

16. haftada, opere dizde ekstansiyon zirve tork değeri ile tek bacak sıçrama arasındaki korelasyonun orta derecede olduğu görüldü ($r=0,622$, $p=0,023$). 16 haftada sağlam dizdeki ekstansiyon zirve tork değeri ile tek bacak sıçrama testi arasında ilişki görülmedi ($r=0,147$ $p=0,631$). 16. haftada Hamstring/Quadriceps oranının tek bacak sıçrama testi ile korelasyonunun yüksek derecede olduğu bulundu ($r=0,725$, $p=0,005$). 24. haftada opere ve sağlam dizde ekstansiyon zirve tork değerinin tek bacak sıçrama testi ile sırasıyla ($r=0,595$, $p=0,032$) ve ($r=0,591$, $p=0,033$) orta derecede korelasyon bulundu. Sonuçlar Tablo 2'de verildi.

Tablo 1. Ön çapraz bağ (ÖÇB) rekonstrüksiyonlu bireylerin fiziksel özellikleri (n=20).

	X±SS
Yaş (yıl)	30,85±9,10
Boy Uzunluğu (cm)	178,90±9,38
Vücut ağırlığı (kg)	82,45±13,81
Beden kütle indeksi (kg/m ²)	25,67±2,93

X: Ortalama; SS: Standart Sapma



Şekil 1. Ön Çapraz Bağ grubunda eğitim öncesi ve sonrası tek bacak sıçrama farkı (* $p < 0,05$).

TARTIŞMA

Çalışmanın sonucunda ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu (ÖÇBR) sonrası 16. ve 24. hafta arasında verilen izokinetik eğitimin, tek bacak sıçrama performansını orta dereceden kuvvetliye doğru etkilediği bulundu. Çalışmanın amacı, izokinetik egzersiz eğitimiyle oluşan kas kuvvet artışını fonksiyonel testle gösterebilmek idi.

Rekonstrüksiyon sonrası kas kuvvet kayıpları uzun dönem devam edebilmektedir. Bu kayıplar uzun dönemde dizin fonksiyonel kapasitesinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır.⁵ Verilen egzersiz eğitimleri, bu kuvvet kayıplarının en kısa zamanda azaltılıp, bireylerin aktif yaşama dönüşünün hızlanmasını amaçlamaktadır.⁶

Verilen eğitimlerin etkinliğinin belirlenmesi de önemlidir. Eğitim sonrası uygulanacak testler, bireylerin aktif yaşama dönüşte verilecek egzersiz programlarının belirlenmesinde rol oynamaktadır. Bu test ölçütlerinden ikisi, izokinetik test ve tek bacak sıçrama testleridir. Klinikte bu iki testin etkinliği ve arasındaki ilişkiyi içeren birçok çalışma mevcuttur.¹³

Baltacı ve vd. fonksiyonel testler ve sıçrama performansı arasındaki ilişkinin diz çevresindeki kasların ko-kontraksiyonu sonucu ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Diz eklemindeki ekstansör kaslar ve onun

Tablo 2. Zirve tork (Nm/Kg), Hamstring/Quadriceps oranları ve tek bacak sıçrama (cm) verileri arasındaki korelasyon.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A	r	-	,727	,880	,840	-,282	-,231	,864	,713	-,466	,004	,424	-,037	,316	,237
	p	-	,005*	,000*	,000*	,351	,448	,000*	,006*	,109	,990	,149	,904	,292	,436
B	r		-	,535	,668	-,014	,300	,620	,650	-,419	,259	,366	,247	,357	,460
	p			-,060	,013*	,965	,319	,024*	,016*	,154	,392	,219	,417	,231	,113
C	r			-	,698	-,687	-,279	,936	,583	-,648	-,217	,622	-,010	,559	,249
	p				-,008*	,009*	,357	,000*	,037*	,017*	,475	,023*	,975	,047*	,411
D	r				-	-,187	-,504	,746	,843	-,608	-,237	,426	,147	,264	,413
	p					-,542	,079	,003*	,000*	,027*	,435	,147	,631	,383	,161
E	r					-	,227	-,610	-,090	,677	,469	-,725	-,069	-,728	-,203
	p						-,457	,027*	,770	,011*	,106	,005*	,823	,005*	,507
F	r						-	-,234	-,335	,309	,613	-,101	,147	,098	,042
	p							-,442	,263	,304	,026*	,744	,632	,750	,893
G	r							-	,609	-,750	-,164	,698	,062	,595	,331
	p								-,027*	,003*	,592	,008*	,840	,032*	,269
H	r								-	-,438	-,405	,278	,300	,318	,591
	p									-,135	,170	,358	,320	,290	,033*
I	r									-	,450	-,665	-,171	-,503	-,470
	p										-,123	,013*	,577	,080	,105
J	r										-	-,234	-,175	-,241	-,417
	p											-,441	,567	,428	,157
K	r											-	,119	,817	,220
	p												-,700	,001*	,471
L	r												-	,374	,815
	p													-,208	,001*
M	r													-	,473
	p														-,102
N	r														-
	p														

A: 16. hafta opere diz fleksiyonu, B: 16. hafta sağlam diz fleksiyonu, C: 16. hafta opere diz ekstansiyonu, D: 16. hafta sağlam diz ekstansiyonu, E: 16. hafta opere diz Hamstring/Quadriceps, F: 16. hafta sağlam diz Hamstring/Quadriceps, G: 24. hafta opere diz ekstansiyonu, H: 24. hafta sağlam diz ekstansiyonu, I: 24. hafta opere diz Hamstring/Quadriceps, J: 24. hafta sağlam diz Hamstring/Quadriceps, K: 16. hafta opere diz tek bacak sıçrama, L: 16. hafta sağlam diz tek bacak sıçrama, M: 24. hafta opere diz tek bacak sıçrama, N: 24. hafta sağlam diz tek bacak sıçrama. r: korelasyon katsayısı. * p<0,05.

antagonisti olan hamstring kas grubu diz eklemine stabilitesini sağlamaktadır. Bu iki kas grubunun koordineli aktivasyonu, izometrik testler ve sıçrama performansını içeren fonksiyonel testler arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.¹⁴

Tek bacak sıçrama testi ise, kas kuvveti, nöromusküler kontrol, spora özgü aktivitelerle ilişkili yüklenmeyi tolere edebilme kapasitesinin değerlendirmek için kullanılmaktadır.¹⁵ Bu test ÖÇB yaralanması

veya rekonstrüksiyonu sonrasında, bireylerin önceki aktivite seviyesine dönüşünün belirlenmesinde kullanılan testlerden bir tanesidir.¹⁶

Rekonstrüksiyon sonrası, ameliyatlı ve sağlam ekstremiteler arasında, tek bacak sıçrama mesafesinde farklılık uzun bir süre devam etmektedir. Bu farklılık, ameliyatlı tarafın kuvvet gelişiminin yeterli olmadığını bir göstergesidir. Bundan dolayı, verilen rezistif egzersiz eğitimleri ile ekstremiteler arasındaki

kuvvet farkının azaltılması amaçlanmaktadır. Kuvvet farklarının saptanmasında sıklıkla tek bacak sıçrama testi kullanılmaktadır.¹⁷

Önceki çalışmalarda, ön çapraz rekonstrüksiyonundan 6,6 ay sonra, 180°/sn. açısal hızda ameliyatsız dizde diz ekstansiyon/fleksiyon izokinetik ölçümü ile anterior tek bacak sıçrama ile korelasyonuna bakılmış. Ekstansiyon/fleksiyon kuvveti ile sıçrama performansı arasında korelasyon katsayıları sırasıyla 0,42 ve 0,58 bulunmuştur.¹⁸ Bu sonuç anterior tek bacak sıçrama mesafesinin diz fleksör kuvvetinin ekstansör kuvvetine oranla daha fazla korele olduğunu göstermiştir. Aizawa vd. rekonstrüksiyon sonrası hamstring grefti kullanılan hastalarda 6. ayda 3 yönlü tek bacak sıçrama ve diz fleksör ve ekstansör kas kuvveti arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.¹³ Kas kuvvetinin değerlendirilmesinde 60 ve 180°/ sn. açısal hızlar kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda 3 yönlü tek bacak sıçrama mesafesi ile diz kas kuvveti arasında korelasyon katsayısı 0,48-0,65 arasında değişen bir anlamlılık bulunmuştur. Bizim çalışmamız yukarıdaki çalışmaya paralellik göstermektedir. Çalışmamızda bireyler 8 haftalık dirençli egzersiz eğitimine alındı. Egzersiz eğitimi ile diz kas kuvvetinin izokinetik sistemde daha güvenilir ve kontrollü bir şekilde kuvvetlenmesine olanak sağlamaktı. Çalışmamızda hamstring grefti kullanılan bireylere izokinetik eğitim öncesi ve sonrası 60°/ sn. açısal hızda test yapıldı ve tek bacak sıçrama performanslarına bakıldı. Rekonstrüksiyon sonrası ameliyatsız dizde 4. ayda ekstansiyon kuvveti ile tek bacak sıçrama performansı arasında 0,62 değeriyle orta derecede, fleksiyon/ekstansiyon kuvveti ile tek bacak sıçrama performansı arasında 0,72 yüksek derecede bir korelasyon bulundu. Rekonstrüksiyon sonrası 6. ayda ise opere ve sağlam dizde ekstansiyon kuvvetinin tek bacak sıçrama ile korelasyonunun 0,59 değerinde korele olduğu görüldü.

Daha önceki yapılan çalışmalarda farklı greft tiplerinin sıçrama performansı ile izokinetik kas kuvveti arasındaki ilişkiye bakılmış ve greft tipinin iki ölçüm arasındaki ilişkiyi etkilemediği bulunmuştur.¹⁹ Çalışmamızda, sadece hamstring grefti kullanılan bireyler dahil edildi. Bu yönüyle, diğer greftlerle bir karşılaştırma yapılamadı.

Limitasyonlar

Çalışmaya alınan ÖÇB bireylerinin hepsi hamstring grefti kullanılan bireylerden oluşmaktaydı. Farklı greftle yapılan ÖÇBR'li bireyler çalışmaya dahil edilerek greftler arasında fonksiyonel yönden farklılık olup olmadığı değerlendirilebilirdi. Çalışmaya alınan bireyler erkek adaylardan oluşmaktaydı. Kadın bireyler dahil edilerek sıçrama performansı ve kas kuvveti arasındaki ilişki bakılabildi. Çalışmaya alınan bireylerin eğitim öncesi kinezyofobi değerlendirmeleri alınarak, eğitim sonrası karşılaştırma yapılabilirdi. Farklı açısal hızlarda da ölçüm yapılarak karşılaştırma yapılabilirdi.

Sonuç

ÖÇBR'de rehabilitasyon sonrasında, uzun dönemde kuvvet defisitleri görülebilmektedir. Verilen egzersiz eğitimleri ile bu kuvvet dengesizlikleri ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Bireyin rehabilitasyon sonrası günlük yaşamına ve spora dönüşünde, kuvvet defisitlerinin saptanmasında performans testleri önem taşımaktadır. Yapılan testlerle, uygulanan egzersiz eğitimlerin etkinliği belirlenebilir. Böylece ileri dönem egzersiz programlarının oluşturulmasında, bu testler aydınlatıcı olabilir. Çalışmamızda verilen dirençli izokinetik egzersiz eğitimi, kişinin spora veya aktif yaşamına dönmeden önce hareket etme ve tekrardan fonksiyonellik kazanma aşamasını geçirmesinde etkili olmuştur. İleri ki dönem araştırmalar da farklı egzersiz programlarının, izokinetik parametreler üzerine ve sıçrama performansları üzerine olan etkisi incelenebilir. Sonuç olarak, rekonstrüksiyon sonrası uygulanan egzersiz programları, fonksiyonel testler ile birleştirildiğinde verilen egzersiz programının etkinliğinin belirlenmesi, fizyoterapistin egzersiz reçetesini oluşturmasında faydalı olacağını düşünmekteyiz.

Teşekkür: Yok

Yazarların Katkı Beyanı: **AU:** Literatür taraması, Fikir/kavram, çalışma tasarımı, veri toplama ve işleme, makale yazımı; **NE:** Fikir/kavram, çalışma tasarımı; **DA:** Veri toplama; **GB:** Kritik gözden geçirme; **YY:** Analiz ve yorum.

Finansal Destek: Yok

Çıkar Çatışması: Yok

Etik Onay: Bu araştırma protokolü Gazi Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu (sayı: 697, tarih: 02.10.2020) tarafından onaylandı.

KAYNAKLAR

- Ageberg E, Roos HP, Silbernagel K., et al., Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009;17:162-169.
- Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, et al, Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med*, 2005;33:1579-1602.
- Ithurburn MP, Paterno MV, Ford KR, et al, Young athletes with quadriceps femoris strength asymmetry at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction demonstrate asymmetric single-leg drop-landing mechanics. *Am J Sports Med*, 2015;43:2727-2737.
- Harput G, Kılınc HE, Özer H, et al. Quadriceps and hamstring strength recovery during early neuromuscular rehabilitation after ACL hamstring-tendon autograft reconstruction. *J Sport Rehabil*, 2015;24:398-404.
- Žargi TG, Drobnic M, Vauhnik R, et al. Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12 weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*, 2017;24:319-328.
- Wilk, KE, Arrigo CA. Rehabilitation principles of the anterior cruciate ligament reconstructed knee: twelve steps for successful progression and return to play. *Clin Sports Med*, 2017;36: 189-232.
- Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med*, 2007;37:225-264.
- Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med*, 1994;15 Suppl 1:S11-18.
- Caffrey E, Docherty CL, Schrader J, et al., The ability of 4 single-limb hopping tests to detect functional performance deficits in individuals with functional ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2009;39:799-806.
- Van Melick E, Van Cingel REH, et al., Assessment of functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of measurement procedures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013;21:869-879.
- Dingenen, B, Truijen J, Bellemons J, et al., Test-retest reliability and discriminative ability of forward, medial and rotational single-leg hop tests. *Knee*. 2019;26:978-987.
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum; 1988.
- Aizawa, J, Hirohata K, Ohji, S. et al. Correlations between isokinetic knee torques and single-leg hop distances in three directions in patients after ACL reconstruction. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2021;13:38.
- Baltaci G, Yilmaz G, Atay AO. The outcomes of anterior cruciate ligament reconstructed and rehabilitated knees versus healthy knees: a functional comparison. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2012;46:186-195.
- Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, et al, Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*. 2007; 87:337-349.
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, et al. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med*. 2011; 45:596-606.
- Ageberg E, Thomeé R, Neeter C, et al., Muscle strength and functional performance in patients with anterior cruciate ligament injury treated with training and surgical reconstruction or training only: a two to five-year followup. *Arthritis Rheum*. 2008 Dec 15;59:1773-1779.
- Sueyoshi T, Nakahata A, Emota G, et al. Single-leg hop test performance and isokinetic knee strength after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(11): doi:10.1177/2325967117739811.
- Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, et al., Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16:1009-1016.