

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADÖLESAN FUTBOLCULARA UYGULANAN MOTOR
İMGELEME VE HAREKETİN GÖZLEMLENMESİ
TEMELLİ PLİOMETRİK EĞİTİMİN
VASTUS LATERALİS VE BİSEPS FEMORİS
KAS MİMARİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Uzm. Fzt. Murat EMİRZEOĞLU

**Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı
DOKTORA TEZİ**

**ANKARA
2023**

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADÖLESAN FUTBOLCULARA UYGULANAN MOTOR
İMGELEME VE HAREKETİN GÖZLEMLENMESİ TEMELLİ
PLİOMETRİK EĞİTİMİN VASTUS LATERALİS VE BİSEPS
FEMORİS KAS MİMARİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Uzm. Fzt. Murat EMİRZEOĞLU

**Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı
DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Özlem ÜLGER**

**ANKARA
2023**

**ADÖLESAN FUTBOLCULARA UYGULANAN MOTOR İMGELEME VE
HAREKETİN GÖZLEMLENMESİ TEMELLİ PLİOMETRİK EĞİTİMİN
VASTUS LATERALİS VE BİSEPS FEMORİS KAS MİMARİSİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Uzm. Fzt. Murat Emirzeoğlu

Danışman: Prof. Dr. Özlem Ülger

Bu tez çalışması 08 / 06 / 2023 tarihinde jürimiz tarafından “Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı”nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri başkanı: Prof. Dr. İrem Düzgün

Üye: Prof. Dr. Tüzün Fırat

Üye: Prof. Dr. Baran Yosmaoğlu

Üye: Prof. Dr. Muhammed Kılınç

Üye: Prof. Dr. Metehan Çiçek

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Müge YEMİŞCİ ÖZKAN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

08 / 06 / 2023

Murat EMİRZEOĞLU

¹“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, Prof. Dr. Özlem ÜLGER danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

(İmza)

Uzm. Fzt. Murat EMİRZEOğLU

TEŞEKKÜR

Akademik yolculuğuna heybesi boş çıkan bir öğrenci olarak bu yolda sahip olduğum kıymetliler arasında bir inci; sadece akademik ve idari başarısıyla değil engin yüreğindeki sevgi, tevazu ve hoşgörü ile benim için bir danışmandan çok daha fazlası olan güzel gülümlü hocam Sayın Prof. Dr. Özlem Ülger’e,

Kas mimarisiyle tanışmamı sağlayan ve ufuk açan fikirleriyle araştırmamızın en başından beri yanımızda olan çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Tüzün Fırat’a

Tezimin izleme komitesinde yer alarak spor fizyoterapistliği alanındaki tecrübeleriyle araştırmamıza katkı sağlayan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Baran Yosmaoğlu’na,

Bu satırları yazma noktasına gelmemde emeği olan tüm hocalarıma, meslektaşlarıma, arkadaşlarıma, sporcularıma ve hastalarıma,

“Nüfusu küçük ilçenin nüfuzu büyük takımı” Ofspor’a,

Sağladıkları araştırma ortamı ve destekleri sebebiyle Ofspor kulübü başkanı Sayın Olcay Saral’a, alt yapıdan sorumlu yönetim kurulu üyesi Sayın Adem Çelik’e, antrenörler Sayın Yalçın Saral’a ve Sayın Okan İsmailoğlu’na,

Araştırmaya gönüllü olarak katılarak büyük destek veren sporcu kardeşlerime ve bu kapsamdaki izinleri sebebiyle değerli ailelerine,

Araştırmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Sayın Orkun Ulusoy’a,

Tezime dahil ettiğim şekillere yönelik izinleri sebebiyle tüm ilgili yazarlara,

2211-A programı kapsamındaki BİDEB bursiyerliğim ve 2224-A programı kapsamında bu araştırmanın 2023 Dünya Fizyoterapi Kongresi’nde sunulması yönündeki destekleri sebebiyle TÜBİTAK’a,

Annem, babam ve kardeşlerim başta olmak üzere gönül kapılarını hep açık bulduğum güzel ve büyük ailemdeki canlarıma,

Canımdan ileri eşim Beyza Gonca’ya ve yeni hayatımın ilk yaşı kızım Ahsen’e,

Yüreğimin derinliklerinden en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Emirzeoğlu, M., Adölesan Futbolculara Uygulanan Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Temelli Pliometrik Eğitimin Vastus Lateralis ve Biceps Femoris Kas Mimarisi Üzerindeki Etkileri, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı Doktora Tezi, Ankara, 2023. Alt ekstremitte kas-tendon yaralanmaları adölesan futbolcularda en sık görülen yaralanmalardır. Pliometrik eğitim (PE) ile kas fonksiyonunun geliştiği bilinse de nörobilim temelli PE'nin kasın makroskobik yapısı üzerindeki etkileri belirsizdir. Bu araştırmanın primer amacı, motor imgeleme ve hareketin gözlemlenmesi (Mİ+HG) temelli PE'nin vastus lateralis (VL) ve biceps femoris uzun başı (BFub) kaslarının penasyon açısı (PA), kas kalınlığı (KK) ve lif uzunluğu (LU) üzerindeki etkilerini incelemektir. İkincil amaç, eğitimin tek adım sıçrama performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Otuz altı sağlıklı adölesan futbolcu (yaş: 13,91±1,05 yıl; boy uzunluğu: 162,22±10,20 cm; vücut ağırlığı: 52,09±8,33 kg) rastgele PE (n=17) ya da kontrol (n=19) grubuna atandı. Her iki gruptaki sporcular rutin antrenman programlarına devam etti. PE grubundaki sporcular ayrıca 8 hafta süresince, haftada 3 seans eğitim aldı. Eğitim 10 farklı egzersizden ve toplamda 3480 sıçrama aktivitesinden oluştu. Sporcular hazırlanan videoları izledi ve sıçradıklarını düşündü. Kas görüntüleri Soundcam mobil ultrason probu kullanılarak alındı ve daha sonra MicroDicom (V 2022.2 Bulgaristan) yazılımıyla analiz edildi. Her iki taraf sıçrama performansını değerlendirmek için tek adım sıçrama testi kullanıldı. Çıktılar başlangıçta, 4, 8 ve 12. haftalarda değerlendirildi. Kontrol grubundaki sporcuların kas mimarisi parametrelerinde sekiz hafta boyunca anlamlı değişiklik yoktu ($p>0,05$). VL PA eğitim grubunda dominant (ortalama fark = $2,40\pm3,45^\circ$; $p=0,01$) ve nondominant tarafta (ortalama fark = $3,32\pm3,75^\circ$; $p=0,01$) dördüncü haftada daha yüksekti. Benzer olarak, dominant (ortalama fark = $0,15\pm0,19$ cm; $p=0,03$) ve nondominant taraf (ortalama fark = $0,24\pm0,23$; $p=0,01$) VL KK'de anlamlı artış vardı. Dominant taraf BFub KK dışında (ortalama fark = $0,21\pm0,31$ cm; $p=0,03$), VL LU ve diğer BFub kas mimari parametrelerinde her iki tarafta da değişiklik yoktu ($p>0,05$). Nondominant taraf VL KK ile dominant taraf BFub KK'deki artışlar 4. ve 8. haftanın sonunda kontrol grubuna kıyasla eğitim grubunda daha yüksekti ($p<0,05$). Her iki taraf sıçrama performansı PE grubunda başlangıça kıyasla 4. ve 8. haftalarda önemli ölçüde daha iyiydi (ortalama fark = $16,71\pm11,76$ - $22,88\pm12,19$ aralığında; $p<0,01$). Kontrol grubundaki sporcuların nondominant taraf sıçrama performansı 8. haftanın sonunda önemli miktarda artış gösterdi (ortalama fark = $10,12\pm12,82$; $p=0,03$). Eğitim grubundaki sporcuların kas mimarisi ve sıçrama performansı takip süresince anlamlı değişim göstermedi ($p>0,05$). Bu araştırma, Mİ+HG temelli PE'nin kas mimarisini geliştirdiğine yönelik ilk kanıtları sunar. Gelecek araştırmaların yaralanmaya sahip sporcularda ve nörogörüntüleme araçları kullanılarak yürütülmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Atletik performans, motor imgeleme, nörobilim, ultrasonografi

ABSTRACT

Emirzeoğlu, M., The Effects of Motor Imagery and Action Observation-Based Plyometric Training on Vastus Lateralis and Biceps Femoris Muscle Architecture of Adolescent Soccer Players, Hacettepe University Graduate School Health Sciences, Department of Physical Therapy and Rehabilitation Doctor of Philosophy Thesis, Ankara, 2023. Lower limb muscle-tendon injuries are the most common injuries in adolescent soccer players. Although it is known that plyometric training (PT) improves muscle function, the effects of neuroscience-based PT on the muscle macroscopic structure are unclear. The primary aim of this study was to examine the effects of motor imagery and action observation-based (MI+AO) PT on the pennation angle (PA), muscle thickness (MT), and fiber length (FL) of the vastus lateralis (VL) and biceps femoris long head (BFlh). The secondary aim was to evaluate the effects of training on jump performance. Thirty-six healthy adolescent soccer players (age: 13.91 ± 1.05 years, height: 162.22 ± 10.20 cm, weight: 52.09 ± 8.33 kg) were randomly assigned to PT (n=17) or control (n=19) groups. Athletes in both groups continued their routine training programs. PT group also participated in 3 sessions of training per week for 8 weeks. The PT consisted of 10 different exercises and a total of 3480 jumps. Athletes watched the prepared videos and imagined jumping. Muscle images were taken using the Soundcam mobile ultrasound probe, and then analyzed with MicroDicom (V 2022.2 Bulgarian) software. The single step jump test was used to evaluate both sides jump performance. Outcomes were assessed at baseline, 4, 8, and 12 weeks. There was no significant change in the muscle architecture parameters in the control group during 8 weeks ($p > 0.05$). The VL PA was higher on the dominant (mean difference = $2.40 \pm 3.45^\circ$, $p = 0.01$), and non-dominant side (mean difference = $3.32 \pm 3.75^\circ$, $p = 0.01$) in the PT group at week 4. Similarly, there was a significant increase in dominant (mean difference = 0.15 ± 0.19 cm, $p = 0.03$) and non-dominant side (mean difference = 0.24 ± 0.23 cm, $p = 0.01$) VL MT. Except for the dominant side BFlh MT (mean difference = 0.21 ± 0.31 cm, $p = 0.03$), there were no changes in VL FL, and other BFlh muscle architectural parameters on both sides ($p > 0.05$). The increases in non-dominant side VL MT and dominant side BFub MT were higher in the training group compared to the control group at the end of the 4th and 8th weeks ($p < 0.05$). Both sides jump performance was significantly better in the PT group at weeks 4 and 8 compared to baseline (mean difference = 16.71 ± 11.76 to 22.88 ± 12.19 cm, $p < 0.01$). The non-dominant side jump performance of the athletes in the control group increased significantly at the end of the 8th week (mean difference = 10.12 ± 12.82 cm, $p = 0.03$). Muscle architecture and jump performance of the athletes in the training group did not change significantly during the follow-up period ($p > 0.05$). This research provides the first evidence that MI+HG-based PE improves muscle architecture. It is recommended that future research be conducted in injured athletes and using neuroimaging tools.

Key Words: Athletic performance, motor imagery, neuroscience, ultrasonography

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN SAYFASI	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER	xiv
TABLolar	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Adölesan Birey ve Spor	5
2.2. Pliometrik Eğitim	9
2.2.1. Pliometrik Eğitimin Fazları	10
2.3. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları	12
2.3.1. Ortopedik Rehabilitasyonda Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları	14
2.3.2. Sporcu Sağlığı ve Rehabilitasyonunda Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları	15
2.4. İskelet Kası	17
2.4.1. İskelet Kasının Mikroskobik Organizasyonu	17
2.4.2. İskelet Kasının Makroskobik (Mimari) Organizasyonu	19
2.4.3. İskelet Kasının Kontraksiyonu	23

3. BİREYLER ve YÖNTEM	28
3.1. Sporcular	28
3.2. Genel Değerlendirmeler	30
3.2.1. Sosyodemografik Değerlendirme	30
3.2.2. İmgeleme Yeteneğinin Değerlendirilmesi	30
3.2.3. Özyeterlilik Yeteneğinin Değerlendirilmesi	31
3.3. Kas Mimarisi Değerlendirmeleri	31
3.3.1. Kas Mimarisi Görüntülerinin Alınması	31
3.3.2. Kas Mimarisi Görüntülerinin Analizi	32
3.4. Sıçrama Performansının Değerlendirilmesi	34
3.5. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Temelli Pliometrik Eğitim	34
3.5.1. Pliometrik Eğitim Programının Oluşturulması	35
3.5.2. Pliometrik Eğitimin Uygulanması	41
3.5.3. Pliometrik Eğitimin Değerlendirilmesi	43
3.6. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması	44
3.7. İstatistiksel Analiz	45
4. BULGULAR	46
4.1. Genel Değerlendirme Sonuçları	46
4.2. Eğitime Yönelik Değerlendirmeler	48
4.2.1. Eğitime Katılımın Değerlendirilmesi	48
4.2.2. Eğitim Verimliliğinin Değerlendirilmesi	49
4.2.3. Eğitim Motivasyonunun Değerlendirilmesi	49
4.2.4. Eğitime İlişkin Sporcuların Geri Bildirimleri	50
4.3. Kas Mimarisi Değerlendirmeleri	51
4.4. Sıçrama Performansının Değerlendirmeleri	69

4.5. Kas Mimarisi ve Sıçrama Performansı Arasındaki İlişkiler	74
5. TARTIŞMA	75
5.1. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yöntemleri	75
5.2. Pliometrik Eğitim ve Kas Mimarisi	77
5.3. Pliometrik Eğitim ve Kas Kontraksiyonu	79
5.4. Kas Mimarisi ve Kas Kontraksiyonu	81
5.5. Kas Mimarisi Ölçümlerinin Güvenirliği	86
5.6. Kas Mimarisi ve Yaralanmalar	88
5.7. Sıçrama Performansı	89
5.8. Kas Mimarisi ve Sıçrama Performansı	91
5.9. Limitasyonlar	91
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
7. KAYNAKLAR	95
8. EKLER	
Ek-1: Etik Kurul Karar Belgesi	
Ek-2: Tez Çalışması Orijinallik Raporu	
Ek-3: Ultrason Kursu Katılım Sertifikası	
Ek-4: Ultrason Kursu Akreditasyon Sertifikası	
Ek-5: 2023 Dünya Fizyoterapi Kongresi Davet Mektubu ve Poster Bildiri	
Ek-6: Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formları	
Ek-7: Hareket İmgeleme Anketi-3	
Ek-8: Genel Özyeterlilik Ölçeği	
Ek-9: Pediatrik Motivasyon Ölçeği	
Ek-10: Gönüllü Sporculara Verilen Teşekkür Belgesi	
9. ÖZ GEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

$\pm$	Artı Eksi
%	Yüzde
$^{\circ}$	Derece
<	Küçüktür
>	Büyüktür
θ	Teta
AA	Aponevroz Açısı
BF	Biceps Femoris
BFub	Biceps Femoris Uzun Başı
ÖÇB	Ön Çapraz Bağ
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
cos	Kosinüs
dk	Dakika
DT	Dominant Taraf
EMG	Elektromiyografi
FIFA	Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği
g	Gram
GA	Güven Aralığı
HG	Hareketin Gözlemlenmesi
Ig	İmmünoglobulin
kg	Kilogram
KK	Kas Kalınlığı
LU	Lif Uzunluğu
M	Kas Kütlesi
m ²	Metre Kare
mV	Mikro Volt
Mİ	Motor İmgeleme

mm	Milimetre
NHE	Nordik Hamstring Egzersizi
NT	Nondominant Taraf
PA	Penasyon Açısı
PE	Pliometrik Eğitim
sin	Sinüs
sn	Saniye
U-14	14 Yaş Altı
U-16	16 Yaş Altı
VL	Vastus Lateralis
Vİ	Vastus Intermedius

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
2.1. Genç erkekler için fiziksel gelişim modeli	6
2.2. Genç kızlar için fiziksel gelişim modeli	7
2.3. Pliometrik eğitimin fazlarına ilişkin görseller	11
2.4. Motor imgelemede PETTLEP modeli	13
2.5. Dinamik ve statik dengeye ilişkin Mİ ve HG yaklaşımları süresince fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleri	14
2.6. Sporda Motor İmgeleme Bütüncül Modeli	16
2.7. İskelet kasının mikroskobik yapısı	18
2.8. İzometrik kontraksiyonda sarkomer uzunluk-gerilim eğrisi	19
2.9. Kas mimari tiplerinin genelleştirilmiş görselleri	20
2.10. Penasyon açısının teorik etkisi	21
2.11. İnsan alt ekstremitesindeki kasların lif uzunluğunun ve fizyolojik enine kesit alanlarının dağılım grafiği	23
2.12. Kayan filamentler teorisine yönelik anoloji görseli	25
2.13. Sarkomer yapısı	26
2.14. Dönen filamentler hipotezi	27
3.1. Akış şeması	29
3.2. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde aponevroz açısının hesaplanması	32
3.3. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde penasyon açısının hesaplanması	33
3.4. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde kas kalınlığının hesaplanması	33
3.5. Vertikal bilateral sıçrama	36
3.6. Horizontal bilateral sıçrama	36
3.7. Derinlik sıçrama	36
3.8. Skuat sıçrama	37
3.9. Step hop (sağ)	37
3.10. Step hop (sol)	37
3.11. Transvers düzlemde 180 ⁰ dönerek sıçrama (sağ)	38
3.12. Transvers düzlemde 180 ⁰ dönerek sıçrama (sol)	38

3.13.	Frontal düzlem bilateral engel atlama (sağ)	38
3.14.	Frontal düzlem bilateral engel atlama (sol)	39
3.15.	Sagital düzlem bilateral engel atlama	39
3.16.	Vertikal unilateral sıçrama (sağ)	39
3.17.	Vertikal unilateral sıçrama (sol)	40
3.18.	Horizontal unilateral sıçrama (sağ)	40
3.19.	Horizontal unilateral sıçrama (sol)	40
4.1.	Sporcuların dominant ve nondominant bilgileri	46
4.2.	Sporcuların gruplara dağılımları	47
4.3.	Motivasyon ölçeğinin alt boyutlarına ait ortalama değerler	49
4.4.	Dominant taraf VL PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi	56
4.5.	Nondominant taraf VL PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi	56
4.6.	Dominant taraf VL KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi	57
4.7.	Nondominant taraf VL KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi	57
4.8.	Dominant taraf VL LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi	58
4.9.	Nondominant taraf VL LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi	58
4.10.	Dominant taraf BFub PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi	59
4.11.	Nondominant taraf BFub PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi	59
4.12.	Dominant taraf BFub KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi	60
4.13.	Nondominant taraf BFub KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi	60
4.14.	Dominant taraf BFub LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi	61
4.15.	Nondominant taraf BFub LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi	61
4.16.	Dominant taraf sıçrama performansının gruplardaki zaman içindeki değişimi	71
4.17.	Nondominant taraf sıçrama performansının gruplardaki zaman içindeki değişimi	71

TABLOLAR

Tablo	Sayfa
2.1. Futbolcular için pliometrik antrenman programı örneği	10
3.1. Pliometrik eğitim programı	35
4.1. Sporcuların demografik özellikleri	46
4.2. İnceleme ve özyeterlilik düzeylerinin gruplar arası karşılaştırması	48
4.3. Eğitim grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması	51
4.4. Eğitim grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması	52
4.5. Eğitim grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	52
4.6. Eğitim grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	53
4.7. Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması	54
4.8. Kontrol grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması	54
4.9. Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	55
4.10. Kontrol grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	55
4.11. Kas mimarisi parametrelerinin gruplar arası karşılaştırması	62
4.12. Kas mimarisi parametrelerindeki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması	64
4.13. Kas mimarisi parametrelerinin taraflar arası karşılaştırması	67
4.14. Eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırması	69
4.15. Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırması	69
4.16. Eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	70
4.17. Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri	70
4.18. Sıçrama performansının gruplar arası karşılaştırması	72

4.19.	Sıçrama performansındaki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması	73
4.20.	Sıçrama performansının taraflar arası karşılaştırması	73
4.21.	Kas mimarisi ve sıçrama performansı arasındaki ilişkilerin incelenmesi	74



1. GİRİŞ

Futbol 260 milyondan fazla genç ve amatör katılımcısıyla dünyadaki en yaygın spor branşlarından biridir (1). Yılda 3,9 milyon çocuk ve adölesanın futbola katıldığı tahmin edilmektedir (1). Birçok yararı olmasına rağmen, adölesan sporcuların sağlığı ve performansı açısından birtakım tehditlere de sahiptir (2). Adölesan erkeklerin büyüme atağı dönemindeki yıllık büyüme hızını olumlu yönde etkilemekte, fakat yaralanma riskini arttırmaktadır (3). Adölesan futbolculardaki en sık yaralanmalar alt ekstremitede görülür ve erkek sporculardaki en sık yaralanma türü 1,92 yaralanma/1000 saat maruz kalma ile kas/tendon yaralanmalarıdır (4). Sporcuların kronolojik yaşı ilerledikçe yaralanmaların insidansı artar ve profesyonel düzeyde incelendiğinde de kas/tendon yaralanmaları 4,6 yaralanma/1000 saat maruz kalma ile yine ilk sıradaki yer alır (4,5). Bu kas yaralanmaları içerisinde %37'lik oranla hamstring ve %19'luk oranla kuadriseps kas grubuna ilişkin yaralanmalar ön plana çıkmaktadır (6). Hamstring kasına ilişkin yaralanmaların oranı profesyonel erkek futbolcularda 2001-2002 sezonuna kıyasla 2021-2022 sezonunda iki katına yükselmiştir (7). Yapısal ve fonksiyonel türdeki spesifik yaralanmalarının dışında, hamstring ve kuadriseps kas grupları özellikle diz eklemine ilgilendiren diğer yaralanmalardaki etkileri ve etkilenimleriyle de önemli bir yere sahiptir. Elektromiyografi (EMG) çalışmalarına göre ön çapraz bağ (ÖÇB) yaralanmasının ardından incelenen 10 alt ekstremité kası içerisinde sağlıklı bireylere kıyasla en çok etkilenen, kuadriseps kas grubunda yer alan Vastus Lateralis (VL) kasıdır (8). ÖÇB ile sinerjistik görev üstlenen hamstring kas grubundaki Biseps Femoris (BF) kası bağ üzerindeki gerilimi azaltma konusunda medial hamstring kaslarına kıyasla daha çok etkilidir (9). Kas mimarisi açısından incelendiğinde ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrasında VL kasının lif uzunluğu (LU), penasyon açısı (PA), kas kalınlığı (KK), enine kesit alanı ve hacminde kayıplar oluşur (10,11). BF uzun başı (BFub) kası ise, yaralanma geçiren bireylerde etkilenmemiş tarafa kıyasla yaralanmış tarafta daha düşük LU'ya ve daha yüksek PA'ya sahiptir (12). Daha önce yaralanmış sporcuların BFub kasına ait LU ve KK yaralanmamışlara göre önemli ölçüde daha düşüktür (13). LU'nun kısa oluşu elit futbolcuların gelecekteki hamstring kası gerilme yaralanması riskini artırmaktadır (14).

Kas mimarisinin bu özellikleri sadece yaralanmalar açısından değil, sporcuların performansı açısından da önemli göstergelere sahiptir. BFub kasına ait enine kesit alanındaki artışla genç futbolcuların 30 m sprint süresinin azaldığı, VL kasına ait KK'deki artışların adölesan erkeklerin sprint ve sıçrama performansındaki gelişimler için itici güç olduğu belirtilmektedir (15,16). Genç futbolcuların VL kas aktivitesi VL LU uzunluğu ile artarken, dinamik denge yeteneği kısa VL LU'ya sahip sporcularda önemli oranda daha yüksektir (17,18). Kas mimarisi özelliklerinin adölesan sporcuların performansı ile gösterdiği bu ilişkiler, bu sporculara kas mimarisini konu alan bir bakış açısıyla da yaklaşımı beraberinde getirir. Türkiye'nin en üst futbol ligindeki takımlar kadrolarındaki yerli oyuncuların %30'unu kendi alt yapılarından yetiştiriyor olsalar da bu sporcuların %81'inin takımlarının en üst seviyedeki lig maçlarının hiçbirinde resmi olarak görev almadığı düşünüldüğünde, ülkemizde yetişen adölesan sporcuların kas gelişimine ve sportif performansını arttırmaya yönelik müdahalelere ihtiyaç vardır (19).

Yaralanmaların önlenmesi, yaralanma sonrası rehabilitasyonun yürütülmesi ve sporcu performansının artırılması sürecinde kullanılan birçok egzersiz türü vardır. Bunlar içinde pliometrik eğitim (PE) alt ekstremité kas kuvvetini, diz fonksiyonunu, sıçrama performansını, yön değiştirme yeteneğini, esnekliği, çevikliği, sprint hızını, dayanıklılığı, kemik dokuya ilişkin mineral içeriği, yoğunluğu ve yapısal özellikleri iyileştirir (20–27). PE'nin fiziksel uygunluk temelli bu parametreler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar literatürde sıklıkla yer alsa da kas mimarisi üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar tam aksine oldukça nadirdir. Tek başlarına uygulandıklarında eksantrik eğitimin VL ve BFub kaslarının LU'sunda artışa, konsantrik türdeki eğitimlerin ise azalışa neden olduğu bilinmektedir (28,29). PE eksantrik ve konsantrik kontraksiyonların her ikisini içerdiğinden, bu türdeki eğitimlerin VL ve BFub kaslarına ait mimari özellikler üzerindeki etkilerinin ne olacağı merak konusudur. VL kası üzerinde yapılan bir araştırmada PE'nin LU'da ve PA'da artış sağladığı gösterilmiş olsa da BFub kası açısından literatürde sonuç yer almamakta ve her iki kas için de yeni araştırmalar yapılmasına yönelik ihtiyaç devam etmektedir (30). Ayrıca, literatürdeki PE'ler egzersizlerin genel olarak aktif olarak uygulanmasını içerir. Oysaki belli bir görevi fiilen gerçekleştirmeksizin hayal etme eylemi olarak ifade edilen motor imgeleme (Mİ) ve bireyin belli bir hareketi başka bir

kişi tarafından gerçekleştirilirken veya video kayıttan oynatılırken izlemesi esasına dayanan hareketin gözlemlenmesi (HG) yöntemleriyle de çeşitli eğitimler vermek mümkündür (31). Literatürde Mİ yöntemiyle verilen eğitimin kuadriiceps kas aktivasyonunda artış sağladığına, diz valgusu ve fleksiyonu gibi atletik hareketi değiştirmek için antrenman stratejisi olarak kullanılabileceğine, eş zamanlı Mİ ve HG yöntemleriyle uygulanan nordik hamstring egzersizi (NHE) ile hamstring kas kuvvetinde artış sağlanabileceğine yönelik görüşler vardır (32,33). Fakat, bu tür araştırmalar oldukça nadirdir. Ayrıca kasa ait mimari özellikler kasın aktivasyonu veya kuvveti ile ilişkili olsa da PA, KK ve LU ölçümlerini içeren bu özellikler fonksiyonelliğin yanı sıra temelde kasın makroskobik yapısına yönelik sonuçlar vermektedir (17,34,35). Kognitif temelli eğitimlerin genç futbolcuların fiziksel uygunluk parametreleri üzerindeki olumlu etkileri akut olarak gösterilmiş olsa da uzun süreli eğitimlerin etkinliğini inceleyen yüksek kaliteli araştırmalara ihtiyaç vardır (36).

Sonuç olarak literatürde VL ve BFub kısımları başta olmak üzere kuadriiceps ve hamstring kas gruplarının adölesan futbolcular açısından oldukça önemli olduğuna, PE'lerin birçok fiziksel uygunluk parametresi açısından olumlu kazanımlar sağladığına, PE'lerin kas mimarisini değiştirebileceğine ve Mİ ile HG eğitimlerinin kasın fonksiyonu açısından iyileşmeler sağladığına yönelik kanıtlar mevcuttur (10-13, 20-27, 30, 32, 33). Fakat PE'ler kapsamında Mİ ve HG yöntemlerini kullanan araştırmalar oldukça nadirdir. Mİ ve HG yöntemleriyle uygulanan farklı eğitimlerde ise kas aktivasyonu ve kuvvetine yönelik sonuçlar belirtilmiş, kasların mimari özelliklerine ilişkin bildiğimiz kadarıyla hiçbir sonuç yer almamıştır. Bu araştırma, desteklenmeye de ihtiyaç duyulan mevcut kanıtları temel çıkış noktası olarak belirleyerek aşağıdaki amaçlar ve hipotezler doğrultusunda mevcut ihtiyaçlara yönelik yeni ve özgün sonuçlar ortaya koymak üzere gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın birincil amacı:

Adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklenen Mİ ve HG temelli PE'nin her iki taraf VL ve BFub kaslarına ait PA, KK ve LU üzerindeki etkilerini inceleyerek eğitim almayan kontrol grubuyla karşılaştırmaktır.

Araştırmanın ikincil amaçları:

Adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklenen Mİ ve HG temelli PE'nin her iki taraf tek adım sıçrama performansı üzerindeki etkilerini inceleyerek eğitim almayan kontrol grubuyla karşılaştırmaktır.

Adölesan futbolcularda VL ve BFub kaslarına ait PA, KK ve LU parametreleriyle tek adım sıçrama performansı arasındaki ilişkileri incelemektir.

Araştırmanın hipotezleri:

H₁: Adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklenen Mİ ve HG temelli PE'nin VL ve BFub kaslarına ait PA, KK ve LU üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi vardır.

H₂: Adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklenen Mİ ve HG temelli PE'nin her iki taraf tek adım sıçrama performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi vardır.

H₃: Adölesan futbolcularda VL ve BFub kaslarına ait PA, KK ve LU parametreleriyle tek adım sıçrama performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Adölesan Birey ve Spor

Adölesan dönem Dünya Sağlık Örgütü tarafından çocukluk ve yetişkinlik arasındaki 10 ile 19 yaşları arasını kapsayan dönem olarak tanımlamaktadır (37). İnsan gelişiminin önemli bir aşaması ve sağlığa yönelik temel adımların atıldığı önemli bir zaman dilimidir. Adölesan bireyler dünya nüfusunun %16'sından fazlasını oluşturmakta ve Birleşmiş Milletler'e üye olan ülkelerin 2030 yılına ait Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşması konusunda merkezi bir rol oynamaktadır (38). Türkiye'deki adölesan birey sayısı her 10 bin birey içerisinde 2023 yılı için 12.813,32'dir (39). Bu sayının 2030 yılında 13.342,46 olacağı ve bu tarihten itibaren azalışa geçerek 2040 ve 2050 yıllarında sırasıyla 11.505,20'ye ve 10.559,04'e ineceği tahmin edilmektedir (39). Oransal olarak ifade edilirse 2023'te toplam nüfustaki %14,93 olan adölesan birey oranının artarak 2028'te %15,17'ye ulaşacağı öngörülmektedir (39). Bu oranın 2028 yılından itibaren azalışa geçerek 2040 yılında %12,36'ya, 2050 yılında ise %11,02'ye ineceği tahmin edilmektedir (39).

Avrupa ülkelerindeki adölesan bireylerin çoğunun kas kuvvetlendirici aktiviteler gibi kasa özgü fiziksel aktiviteleri hiç yapmadığı bildirilmektedir (40). Türkiye'deki adölesan bireylere yönelik 2010 yılında yapılan prevelans çalışmasına göre, okula giden 11-17 yaş aralığındaki kızların %86'sı, erkeklerin %77'si ve genelin %82'si yetersiz fiziksel aktiviteye sahiptir. Bu oranlar 2016 yılında kızlar için %86, erkekler için %77 genel adölesan popülasyonu için ise %81 olarak 2010 yılına benzer seviyede seyretmiştir (41). Bu kapsamda çocuklar ve adölesan bireyler için acilen halk sağlığı ve gözetim eylemlerine ihtiyaç vardır (40). Adölesan bireylerin bu dönemdeki sağlıklarını iyileştirmek ve sürdürmek için uygun müdahalelere etkin bir şekilde katılmaları yönünde fırsatlar oluşturulmalıdır (37). Bu konudaki önemli fırsatlardan birisi spordur. Spora katılım çocuklar ve adölesanlar için genellikle olumlu deneyimler oluşturduğundan teşvik edilmelidir. Çocuk ve adölesanların gelişimi bireysel, toplumsal ve çevresel birçok faktörden etkileniyor olsa da Şekil 2.1 ve 2.2.'de cinsiyete göre verilen fiziksel gelişim modelleri yol gösterici olabilir (42,43).

ERKEKLER İÇİN GENÇ FİZİKSEL GELİŞİM MODELİ																							
KRONOLOJİK YAŞ (YILLAR)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
YAŞ PERİYOTLARI	ERKEN ÇOCUKLUK			ORTA ÇOCUKLUK							ADÖLESAN							YETİŞKİNLİK					
BÜYÜME ORANI	HIZLI BÜYÜME					SABİT BÜYÜME							ADÖLESAN HAMLE						BÜYÜME ORANINDA AZALMA				
MATURASYONEL DURUM	PBU ÖNCESİ YILLAR												PBU					PBU SONRASI YILLAR					
ANTRENMAN ADAPTASYONLARI	AĞIRLIKLI OLARAK NÖRAL (YAŞLA İLGİLİ)												NÖRAL VE HORMONAL KOMBİNASYON (MATURASYONLA İLGİLİ)										
FİZİKSEL NİTELİKLER	THB		THB				THB			THB													
	SÖB		SÖB				SÖB			SÖB													
	Mobilite		Mobilite								Mobilite												
	Çeviklik		Çeviklik								Çeviklik				Çeviklik								
	Hız		Hız								Hız				Hız								
	Güç		Güç								Güç				Güç								
	Kuvvet		Kuvvet								Kuvvet				Kuvvet								
	Hipertrofi										Hipertrofi		Hipertrofi							Hipertrofi			
	Dayanıklılık & MK		Dayanıklılık & MK									Dayanıklılık & MK				Dayanıklılık & MK							
ANTRENMAN YAPISI	YAPILANDIRILMAMIŞ			DÜŞÜK YAPILANDIRILMIŞ					ORTA YAPILANDIRILMIŞ				YÜKSEK YAPILANDIRILMIŞ				ÇOK YÜKSEK YAPILANDIRILMIŞ						

Şekil 2.1. Genç erkekler için fiziksel gelişim modeli¹ (THB = temel hareket becerileri; MK = metabolik kondisyon; PBU = pik boy uzunluğu; SÖB = spora özgü beceriler) (42).

¹ Bu şekil Strength and Conditioning Journal isimli dergide yayınlanan The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development başlıklı makaleden alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Rhodri S. Lloyd'dan ve Wolters Kluwer Health yayınevinden izin alınmıştır.

KIZLAR İÇİN GENÇ FİZİKSEL GELİŞİM MODELİ																					
KRONOLOJİK YAŞ (YILLAR)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
YAŞ PERİYOTLARI	ERKEN ÇOCUKLUK			ORTA ÇOCUKLUK					ADÖLESAN											YETİŞKİNLİK	
BÜYÜME ORANI	HIZLI BÜYÜME			SABİT BÜYÜME					ADÖLESAN HAMLE					BÜYÜME ORANINDA AZALMA							
MATURASYONEL DURUM	PBU ÖNCESİ YILLAR										PBU			PBU SONRASI YILLAR							
ANTRENMAN ADAPTASYONLARI	AĞIRLIKLI OLARAK NÖRAL (YAŞLA İLGİLİ)										NÖRAL VE HORMONAL KOMBİNASYON (MATURASYONLA İLGİLİ)										
FİZİKSEL NİTELİKLER	THB		THB		THB		THB														
	SÖB		SÖB		SÖB		SÖB														
	Mobilite		Mobilite				Mobilite														
	Çeviklik		Çeviklik				Çeviklik						Çeviklik								
	Hız		Hız				Hız						Hız								
	Güç		Güç				Güç						Güç								
	Kuvvet		Kuvvet				Kuvvet						Kuvvet								
	Hipertrofi								Hipertrofi		Hipertrofi								Hipertrofi		
	Dayanıklılık & MK			Dayanıklılık & MK						Dayanıklılık & MK								Dayanıklılık & MK			
ANTRENMAN YAPISI	YAPILANDIRILMAMIŞ				DÜŞÜK YAPILANDIRILMIŞ					ORTA YAPILANDIRILMIŞ				YÜKSEK YAPILANDIRILMIŞ				ÇOK YÜKSEK YAPILANDIRILMIŞ			

Şekil 2.2. Genç kızlar için fiziksel gelişim modeli² (THB = temel hareket becerileri; MK = metabolik kondisyon; PBU = pik boy uzunluğu; SÖB = spora özgü beceriler) (42).

² Bu şekil Strength and Conditioning Journal isimli dergide yayınlanan The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development başlıklı makaleden alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Rhodri S. Lloyd'dan ve Wolters Kluwer Health yayınevinden izin alınmıştır.

Bu gelişim şekillerinde yazının boyutu ilgili parametreye ilişkin önemi ifade etmektedir. Bu kapsamda fiziksel nitelikler yaş periyotlarına göre farklı öneme sahiptir. Açık mavi ve pembe renkteki kısımlar ergenlik öncesindeki adaptasyon dönemleriyle, koyu mavi ve pembe renkteki kısımlar ergenlik uyum dönemleriyle ilgilidir. Antrenmanlar başlangıçta yapılandırılmamış düzeyde olup zamanla çok yüksek yapılandırılmış düzeye doğru ilerler. Aşağıda basitten gelişmişe doğru sıralanan antrenman yönetim stratejisi adölesan sporcuların gelişimlerinin matürasyon dönemi boyunca dikkate alınabilir (44):

- ⚽ Multidisipliner ekip ile sporcu arasındaki iletişim: Teknik antrenörlük, spor bilimi, fizyoterapi, psikoloji, beslenme, oyuncu sosyal bakımı ve eğitimi gibi kaynaklar sporcunun gelişiminde multidisipliner ekip perspektifi yönünde kullanılabilir.
- ⚽ Egzersiz aktivitesini izleme: Maruz kalma durumu takip edilebilir ve egzersiz süresi belirli aktivite türlerine (müsabaka, spora özgü, atletik gelişim ve kapsam dışı aktivite) göre kategorize edilebilir. Maruziyetteki göreceli artışları veya azalışları belirlemek için ayakta geçirilen süre gibi normatif değerler ve eşikler oluşturulabilir.
- ⚽ Büyüme ve maturasyon verilerinin toplanması: Sporcuların gelişim durumu ve büyüme eğrileri kapsamında antropometrik veriler 2-3 ay gibi periyotlar halinde düzenli olarak değerlendirilebilir.
- ⚽ Sporcu profilleri oluşturma, sporcu eğitimini planlama ve ilerletme: Anahtar atletik nitelikler değerlendirilerek yaş, maturasyon ve pozisyona özel ölçütler belirlenebilir. Atletik gelişim için spor salonu ve sahada gerçekleştirilen spesifik egzersizler izlenebilir. Literatürdeki rehberler ve önceki deneyimler yaşa uygun antrenman reçetesi için kullanılabilir. Bu kapsamda eğitimin ilerlemesini veya gerilemesini belirleyebilmek için temel bilimsel eğitim ilkeleri kullanılabilir.
- ⚽ Subjektif yük indekslerinin izlenmesi: Sporcuların değişiklikleri algılaması için günlük algılanan efor derecesi, uyku, yorgunluk, ağrı ve stres gibi sağlık durumuna yönelik bilgiler değerler ve eşikler oluşturmak üzere toplanabilir. Daha spesifik yük yanıt profilleri oluşturmak için puanlar fizyolojik ve biyomekanik özelliklere göre sınıflandırılabilir.

⚽ İzleme teknolojisi kullanılarak antrenman aktivitesinin izlenmesi: Yaşa, pozisyona ve maturasyona özel müsabaka etkinliği profilleri oluşturulabilir. Bu profiller uzun vadeli atletik gelişim aracılığıyla aşamalı bir eğitim çerçevesi oluşturmak üzere longitudinal olarak genişletilebilir. Anahtar performans göstergeleri, destekleyici fizyolojik ve biyomekanik yük adaptasyon yollarının büyüme ve maturasyon ile nasıl etkileşime girebileceğini anlayarak antrenman stres faktörlerine kronik olarak maruz kalma yönünde izlenebilir.

Adölesan sporcuların gelişim grafiğinde yer alan kuvvet, çeviklik, hız ve dayanıklılık gibi parametreleri geliştirmek için PE'ler kullanılabilir (23,26,27).

2.2. Pliometrik Eğitim

Pliometrik kelimesi Yunanca'da artırmak anlamına gelen “plyo” ile ölçmek anlamına gelen “metric” kelimelerinden türetilmiştir (45). PE, alt ekstremité kas yapısını ve fiziksel performansın farklı parametrelerini iyileştirmek için kullanılabilir (46). PE'nin yer aldığı Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği (FIFA) 11+ ısınma programı futbolcularda yaralanma riskini %30; FIFA 11+ Çocuk yaralanma önleme programı ise yaklaşık %57 oranında azaltmaktadır (47,48). PE'nin olumlu etkileri bireylerin yaş ve cinsiyet gibi özellikleriyle ilişkili olsa da eğitim programının tasarımı, eğitimin süresi ve eğitimin hacmi sağlanacak katkı bakımından kilit unsurlar olarak kabul edilir (46).

Egzersiz yoğunluğu, egzersiz reçetesindeki önemli bir değişkendir. Kuvvet antrenmanlarının yoğunluğunu ölçmenin bir maksimum tekrar gibi kesin yolları olsa da PE bu belirteçlerden yoksundur (49). Pliometrik yükleme açısından yapılan hareketlerin ekleme yönelik iç momentlerinin ve hacim yükünün dikkate alınması önemlidir (50). PE'nin hacmi ayak temasları gibi tekrarların sayılması yoluyla kolayca belirlenebilirken, yoğunluğunun belirlenmesine yönelik daha az tanımlama vardır (51). Bu kapsamda en yüksek yer reaksiyon kuvveti antrenman yoğunluğunu belirlemede kullanılabilir (51). Sıçrama sırasındaki en yüksek kuvvetler performans açısından önemlidir (50).

PE'ye yönelik en uygun antrenman programının detaylarını belirleme konusunda yeni çalışmalara ihtiyaç olsa da mevcut sınırlı araştırmalara dayanarak Tablo 1'de detayları verilen antrenman programı futbolcular için uygulanabilir (52).

Tablo 2.1. Futbolcular için pliometrik antrenman programı örneği.

Parametre	Detay
Eğitim süresi	7 hafta
Seans sayısı	1-2 seans/hafta
Tekrar sayısı	Seans başına ~80 sıçrama Hafta başına 140-240 sıçrama
Tekrarlar arası süre	< 15 sn
Setler arası süre	≥ 30 sn
Seanslar arası süre	≥ 24-48 saat
Yoğunluk	Maksimuma yakın veya maksimum
Progresyon	Sıçrama sayısında haftalık %10 artış Konik şekilde ilerleyen artış

2.2.1. Pliometrik Eğitimin Fazları

PE sırasında, "germe-kısalma döngüsü" adındaki fizyolojik bir süreç doğal olarak meydana gelir. Bu döngü aktive edilmiş kas-tendon kompleksinin eksantrik fazda uzatıldığı ve ardından konsantrik fazda kısaltıldığı doğal bir kas fonksiyonunu tanımlar (53). Bu kapsamda pliometrik bir hareketin fazları eksantrik faz, amortizasyon fazı ve konsantrik faz olmak üzere üç kısma ayrılır (45):

Eksantrik faz: Eksantrik faz aynı zamanda eksantrik ön germe aşaması, hazırlık, ön yükleme, ön ayar, güçlendirme, karşı kuvvet veya karşı hareket aşaması olarak da tanımlanır (45). Şekil 2.3'teki ilk pozisyondan orta pozisyona kadar geçen kısım eksantrik fazı oluşturur. Bir pliometrik hareketin eksantrik ön germe aşaması, kas reseptörlerini uyarır ve kası yüklenmeye hazırlar (54). Bu aşamada kas iğciği ve kastaki elastik bileşenler gerilir. Kas bileşenlerinin bu şekilde uyarılması genellikle nörofizyolojik-biyomekanik tepki olarak adlandırılır (45).

Eksantrik faz aşamasının etkinliği gerilmenin büyüklüğüne, hızına ve süresine bağlıdır. Bu değişkenlerden herhangi birine yönelik yapılacak müdahale eksantrik fazda depolanan enerji miktarı üzerinde önemli bir etki oluşturur (45).

Amortizasyon fazı: Amortisman terimi, eksantrik fazın sona ermesinden konsantrik fazın başlangıcına kadar geçen süreci tanımlamak için kullanılır. Amortizasyon fazı, eksantrik ön gerilmenin negatif çalışmasının üstesinden gelerek kuvvet üretimini oluşturmaya, kas kasılmasını hızlandırmaya ve pliometrik hareket modeli yönünde elastik geri tepmeye kadar geçen zaman gecikmesidir. Pliometrinin elektro-mekanik gecikme aşaması veya geri tepme zamanı olarak da adlandırılır (45). Bu faz pliometrik performans için anahtardır ve PE’lerde bu fazın mümkün olduğunca kısaltılması hedeflenir (54). Amortizasyon fazı kısaltıldığında depolanan enerji konsantrik faza geçişte daha verimli kullanılır ve bu sayede pliometrik hareket daha etkili ve güçlü gerçekleştirilir. Amortizasyon fazı uzadığında depolanan enerji ısı enerjisi olarak boşa harcanır. Buna bağlı olarak da germe refleksi etkinleştirilmez ve konsantrik faz etkili olmaz.



Şekil 2.3. Pliometrik eğitimin fazlarına ilişkin görseller.

Konsantrik faz: Pliometrik hareketin performans, güç veya geliştirme aşaması olarak tanımlanan konsantrik faz, pliometrik aktivitede aslında ne olduğunu ortaya koyar (54). Ortaya çıkan güç üretimi sebebiyle bu faz performans aşaması olarak da adlandırılabilir (45). Şekil 2.3'teki tam iniş pozisyonundan ayakların zeminden ayrıldığı ana kadar geçen zaman dilimi konsantrik fazı oluşturur.

Germe-kısalma döngüsüne ait etkililik, aktive edilmiş ve eksantrik olarak gerilmiş kas-tendon kompleksindeki enerjinin konsantrik itme fazına aktarılma yeteneğine bağlıdır (53). Germe-kısalma döngüsü hareketleri sırasındaki kas aktivasyonları hem göreve hem de fazlara özgü olarak düzenlenmelidir. Bu amaçla uygun kas aktivasyonunu sağlamak için merkezi sinir sisteminin çoklu hiyerarşik seviyeleri doğru bir şekilde etkileşime girmelidir (53). Germe-kısalma döngüsüne ait ortaya konan bu karmaşık nöral kontrole rağmen literatürdeki çalışmalarda aktif olarak uygulanan PE'lerin sporcular üzerindeki etkinlikleri yer almaktadır. Fakat, Mİ ve HG gibi bilişsel temelli yöntemlerle uygulanan PE'lerin etkinliği konusunda literatürde önemli bir boşluk vardır.

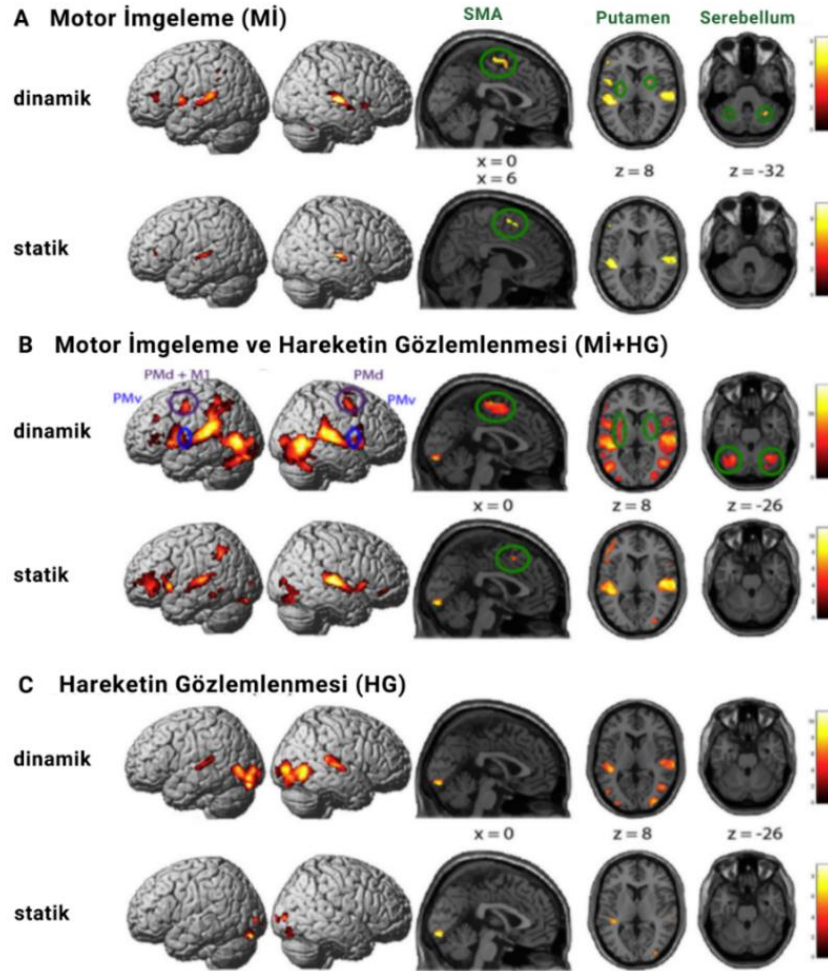
2.3. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları

Mİ ve HG yaklaşımları motor öğrenmeyi geliştirmek ve rehabilitasyonu desteklemek amacıyla sporda ve hareketle ilgili problemlerin rehabilitasyonunda yaygın olarak kullanılan iki ayrı yöntemdir (55,56). Farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından incelenen Mİ, belli bir aktiviteyi aktif olarak gerçekleştirmeksizin hayal etme eylemi olarak tanımlanır (57). Temelde içsel görsel, dışsal görsel ve kinestetik imgeleme olarak kategorize edilir. Kişinin hayal etmek için kullandığı bakış açısı birinci veya üçüncü şahıs bakış açısı olabilir. "Birinci şahıs" bakış açısı, bireyin hareketi kendisi yapıyormuşçasına ve onu kendi vücudunda düşünerek gerçekleştirdiği içsel görsel imgelemedir. "Üçüncü şahıs" bakış açısı ise bireyin kendisini dışarıdan izliyormuşçasına gerçekleştirdiği dışsal görsel imgelemedir (58). Tüm bu Mİ yöntemlerini sadece basit bir düşünme aktivitesi olarak değil Şekil 2.4'te detayları verilen "PETTLEP" modeli gibi standardize edilmiş belli kurallar dahilinde uygulamak gerekir (59,60).

P HYSICAL	"Fiziksel" anlamındadır. Duruş, kıyafet ve kullanılan aletlerle ilgili olup futbolcunun yaptığı sporla ilgili olarak şort, tişört, konç ve krampon giyinmesi buna örnektir.
E NVIROMENT	"Çevre" anlamındadır. Motor performansı taklit eden ortamlarla ilgilidir. Örneğin bir futbolcu sahadaymış gibi imgeleme yapabilir.
T ASK	"Görev" anlamındadır. Beceri düzeyi ve bireysel tercihlere bağlı olarak imgelenen görev ile gerçek görevin uyumlu olması gerekir.
T IMING	"Zamanlama" anlamındadır. İmgelemenin gerçek performans süresiyle uyumlu olmasını ifade eder. Örneğin pliometrik aktiviteler hızlı bir şekilde imgelenir.
L EARNING	"Öğrenme" anlamındadır. Çift adım sıçramadan tek adım sıçramaya geçişlerde olduğu gibi imgelenecek görev öğrenmeyle kademeli olarak ilerletilir.
E MOTION	"Duygu" anlamındadır. Futbolcuların müsabaka süresince taraftar kaynaklı hissettiği baskı veya başarıya ilişkin mutluluğu bu kapsamda değerlendirilebilir.
P ERSPECTIVE	"Bakış açısı" anlamındadır. Futbolcular birinci veya üçüncü şahıs bakış açısıyla penaltı kullandıklarını imgeleyebilir.

Şekil 2.4. Motor imgelemede PETTLEP modeli (59,60).

HG ise, kişinin belli bir hareketi başka bir kişi tarafından gerçekleştirilirken veya video kayıttan oynatılırken izlemesi esasına dayanan bir yöntemdir. Başkaları tarafından gerçekleştirilen eylemleri gözlemlemenin, beyinde aynı eylemlerin aktif olarak gerçekleştirilmesinde kullanılan aynı sinir yapılarını harekete geçirdiği kabul edilir. Mİ ve HG yöntemlerinin oluşturduğu sinirsel aktivasyonlara yönelik literatürde gittikçe artan yeni sonuçlar yer almaktadır. Dinamik ve statik dengeye ilişkin Mİ ve HG yaklaşımları süresince beyin bölgelerinde görülen aktivasyonlar Şekil 2.5'te gösterilmektedir (61). Bu görüntülemelere ilişkin görsellere bakılarak temelde iki önemli sonuca ulaşılabilir. Bunlardan ilki, Mİ ve HG yöntemlerine ilişkin uygulamaların ayrı ayrı gerçekleştirildiğinde değil birlikte uygulandıklarında beyinde daha çok aktivasyon oluşturduğudur. Bir diğer önemli nokta, Mİ ve HG'nin ayrı ayrı veya birlikte uygulandığı tüm durumlarda statik görevlerdekine kıyasla dinamik görevler açısından beyinde daha çok aktivasyon sağladığıdır.



Şekil 2.5. Dinamik ve statik dengeye ilişkin Mİ ve HG yaklaşımları süresince fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleri³ (PMv: Premotor ventral alan, PMd: Premotor dorsal alan, M1: Primer motor alan, SMA: Suplemer motor alan) (61).

2.3.1. Ortopedik Rehabilitasyonda Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları

Ortopedik rehabilitasyon açısından Mİ ve HG yaklaşımlarının önemli odak noktalarından biri kas kuvvetidir. Bu tür eğitimlerin omuz fleksiyon ve kavrama kuvvetinde önemli artışlar sağladığı gösterilmiştir (62). Kas kuvveti üzerinde imgelemenin türü önemli bir etkiye sahiptir. Kinestetik imgeleme kas kuvveti üzerinde %3 ile %136 oranında artış sağlarken, görsel imgelemede bu oran %5 ile %23 arasında değişir (63).

³ Bu şekil Cortex isimli dergide yayınlanan Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study başlıklı makaleden alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Prof. Dr. Wolfgang Taube'den izin alınmıştır.

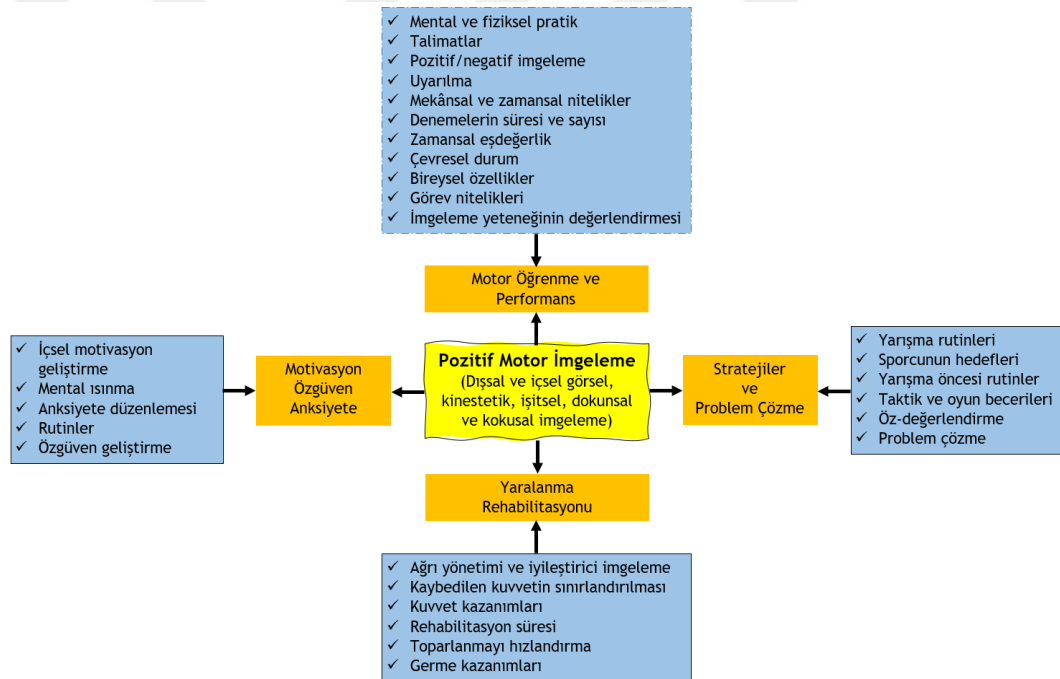
Farklı hasta gruplarına uygulanan Mİ eğitimi kapsamında bakıldığında nörolojik rahatsızlığı olmayan yaşlı yetişkinlerde denge ve hareketlilik açısından, evre 2 omuz sıkışma sendromlu bireylerde ağrının azaltılması ve mobilite yönünden, total diz artroplastili hastaların ise yürüyüş performansı, fonksiyonel iyileşmesi ve düşme riskinin azaltılması açısından iyileşmeler sağlar (64–67). Özellikle egzersizin kapsamı ve aralığı sınırlı olduğunda akut ve akut sonrası rehabilitasyon aşamalarında Mİ yaklaşımının kullanılması tavsiye edilir (68). Total kalça artroplastisi sonrasında uygulanan Mİ+HG yaklaşımları, motor-bilişsel performans ve lokomotor parametrelerin gelişiminde etkilidir (69). Lumbopelvik bölgeye yönelik motor kontrol egzersizleri ile uygulanan HG yöntemi, eğitim almayan bireylere kıyasla daha hızlı değişim sağlar (70). Kronik boyun ağrılı hastaların ağrılarının azaltılması açısından Mİ ve HG yöntemlerinin her ikisi de kullanılabilir (71). Mİ ve HG yöntemlerinin kas iskelet sistemi ağrılarına ilişkin etkilerine yönelik kanıtlar oldukça düşük düzeyde olduğundan klinik uygulamaları hakkında gelecek araştırmalara ihtiyaç vardır (72).

2.3.2. Sporcu Sağlığı ve Rehabilitasyonunda Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yaklaşımları

Yaralanma veya immobilizasyon durumunda fiziksel aktivite uygulaması sınırlı olabileceğinden, bu hipoaktivite durumu motor becerileri ve fonksiyonel motor rehabilitasyonu olumsuz yönde etkiler. Nöromusküler fonksiyon üzerindeki bu zararlı etkiyi azaltmak için spor rehabilitasyonu kapsamında Mİ ve HG yöntemleri birlikte uygulanabilir (73). Sporcuların antrenmana dahil edilemediği durumlarda aktif fiziksel aktiviteden daha az olsa da kas fonksiyonunu korumak için Mİ yaklaşımı yedek veya ek antrenman aracı olarak tercih edilebilir (74,75). İmgeleme müdahalesinin bu uygulamalar süresince başarılı olması için motor temsil anlamında eylemi önceden fiziksel olarak makul bir düzeyde gerçekleştirmiş olmak büyük önem taşır (76).

Adölesan ve profesyonel futbolcular açısından en yaygın yaralanma çeşidi alt ekstremiteye ilişkin kas ve tendon yaralanmalarıdır (4,5). Bunlar arasında oldukça ön plana çıkan hamstring kas yaralanmalarının %51'e kadar önlenmesinde NHE sıklıkla kullanılır (77). NHE'ye yönelik Mİ eğitimi hamstring kas kuvvetini geliştirir (78). Spor yaralanmaları açısından oldukça yaygın olan ÖÇB yaralanmaları sonrasındaki rehabilitasyon programında yer alan kuadriseps kas kontraksiyonu temelli imgeleme eğitimi de kuadriseps kas aktivasyonunda artış sağlar (63,79).

ÖÇB rekonstrüksiyonu geçiren sporculara uygulanan imgeleme eğitimi yeniden yaralanma korkusu ve ağrı algısının azaltılması üzerinde etkilidir (80). Bu yaralanmalara yönelik güncel bir sistematik derlemenin ortaya koyduğu sonuçlara göre Mİ'nin hareket açıklığı, antropometrik ölçümler ve yaşam kalitesi açısından etkinliği kesin değildir. Ayrıca kas aktivasyonu, güç, diz laksitesi ve nörobiyolojik faktörlerle ilişkili bazı olumlu sonuçlar; ağrı, kaygı, yeniden yaralanma korkusu, fonksiyon ve günlük yaşam aktiviteleri ile ilgili ise farklı sonuçlar yer almaktadır (81). Sporcularda uygulanacak imgeleme eğitimlerinde Guillot ve Collet (82) tarafından geliştirilen Sporda Motor İmgeleme Bütüncül Modeli'ndeki parametrelerin dikkate alınması yarar sağlayabilir. Bu modelde motor imgeleme dört ana başlık ve bunlarla ilişkili birçok alt başlık etrafında incelenmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Sporda Motor İmgeleme Bütüncül Modeli⁴ (82)

⁴ Bu şekil International Review of Sport and Exercise Psychology isimli dergide yayınlanan Construction of the Motor Imagery Integrative Model in Sport: A review and theoretical investigation of motor imagery use başlıklı makaleden alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Prof. Dr. Aymeric Guillot'tan izin alınmıştır.

2.4. İskelet Kası

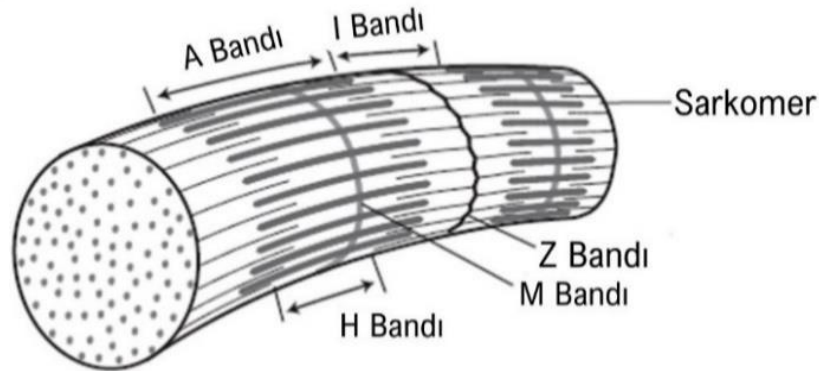
İskelet kası insan vücudundaki en dinamik dokularından biridir (83). İçerdiği 600'den fazla kas ile vücudun en büyük doku kütesidir (84). Organizma tarafından istemli olarak kontrol edilebilmeleri bakımından kalp kasından ve düz kaslardan fonksiyonel açıdan farklılık gösterir (84). Mekanik bir bakış açısıyla temel görevi kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek kuvvet ve güç üretmek, postürü sürdürmek ve fonksiyonel bağımsızlığa katkıda bulunmaktır (83). Hareket üretimindeki birincil işlevine ek olarak termojenez, metabolizma ve diğer dokularla iletişim için peptitlerin salgılanması gibi fizyolojik sürece ait birçok görev üstlenir (85,86). Bu kapsamda metabolik bakış açısıyla görevi bazal enerji metabolizmasına katkı, amino asitler ve karbonhidratlar gibi önemli substratlar için depolama görevi görme, kor sıcaklığın korunması için ısı üretimi, fiziksel aktivite ve egzersiz sırasında kullanılan oksijen ve yakıtın çoğunluğunun tüketimini içerir (83). İskelet kasının bu fonksiyonel ve fizyolojik görevlerinin daha net anlaşılabilmesi için kasın mikroskobik ve makroskobik yapısına yönelik özelliklerin incelenmesi faydalı olabilir. Yapı-fonksiyon ilişkisinin biyolojik örneğini temsil eden iskelet kası, kuvvet üretimi ve hareket için mikroskobik ve makroskobik olarak mükemmel bir organizasyona sahiptir (87).

2.4.1. İskelet Kasının Mikroskobik Organizasyonu

İskelet kası, kas lifleri olarak adlandırılan hücrelerden oluşur. Gelişmiş bir iskelet kasına ait hücrenin mikroskop altında incelenmesiyle çizgili bir desene sahip olduğu görülür. Bu desen kasın kasılabilen en küçük yapısı olarak tanımlanan sarkomer isimli temel birimden oluşur. Birkaç mikrometre uzunluğundaki sarkomerler, miyofilamentler adı verilen ve aynı isimli moleküllerden meydana gelen birçok paralel kalın ve ince filament içerir. (87,88). Kalın filamentin ana birimi büyük protein miyozindir. Miyozinin iki ağır zinciri miyozinin sarmal kuyruğunu oluşturmak için birbirinin etrafında dönerken, hafif zincirler diğer uçta miyozinin iki başını oluşturmak için ağır zincirlerle etkileşime girer (89). Başlarının üzerinde, ince filamente ait bir protein olan aktin ile etkileşimini kolaylaştıran önemli bir bağlanma bölgesi bulunur (90). İnce filamentin diğer proteinleri tropomiyosin ve troponindir. Aktinin miyozin bağlanma bölgeleri tropomiyozin tarafından gizlenir.

Tropomiyozinin işlevi, kas dinlenme halindeyken aktin ve miyozin etkileşimini engellemek ve sonuç olarak kas kasılmasını önlemektir. Troponin ise tropomiyozin filamentleri boyunca yer alan üç proteinli bir komplekstir. İlk protein olan Troponin T, troponinin tropomiyosine bağlanmasını kolaylaştırır. Troponin I, miyosin bağlama bölgelerini bloke ederek aktin-miyosin etkileşimini durdurmada tropomiyosin ile aynı amaca hizmet eder. Son olarak, troponin C, kas kasılmasını başlatmak için kalsiyumu bağlar.

Miyozin filamentlerini içeren sarkomer bölgesi üzerine düşen ışığı geçirmemesi sebebiyle “anizotropik” anlamına gelmesi bakımından A bandı olarak adlandırılır. Aktin filamentini içeren bölge ışığı geçirdiğinden "izotropik" anlamına gelmesi bakımından I-bandı olarak adlandırılır. A-bandının aktin-miyozin çakışmasının olmadığı bölgesine, Almanca’da ışık anlamına gelen “helle” kelime sebebiyle H-bölgesi denir. I-bandını ortadan ikiye bölen koyu dar çizgi ise Almanca’da "arada" anlamına gelen “zwitter” kelimesi sebebiyle Z-bandı olarak isimlendirilir. Son olarak, A bandının merkezindeki nispeten yoğun bölge M bandı olarak bilinir. Sarkomer uzunluğu iki Z bandı arasındaki mesafe olarak ifade edilir (Şekil 2.7) (87).

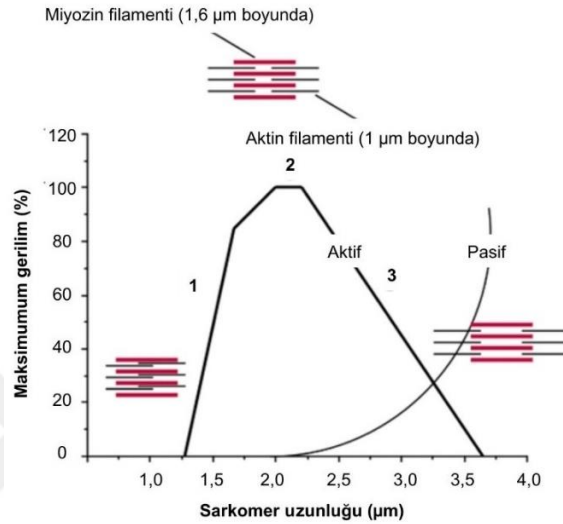


Şekil 2.7. İskelet kasının mikroskopik yapısı⁵ (87).

İskelet kasının en temel özelliklerinden biri, ürettiği kuvvet miktarının uzunluğuna bağlı olmasıdır. Bu ilişkide iskelet kası liflerinin kuvvet üretimi sarkomer uzunluğu açısından tanımlanır (Şekil 2.8). Aktin-miyozin etkileşimleri en yüksek 2,6 μm ile sarkomer optimal uzunluğundayken olup bu süreçte kas maksimum kuvvet

⁵ Bu şekil Skeletal Muscle Structure, Function and Plasticity Physiological Basis of Rehabilitation isimli kitaptan alınarak Türkçe’ye çevrilmiştir. Bu kapsamda kitabın editörü ve yazarı Prof. Dr. Richard Lieber’dan izin alınmıştır.

üretir (Şekil 2.8-2. Bölge). Sarkomer uzunluğu arttıkça aktin ve miyozin miyofilamentleri arasındaki azalan etkileşim sayısı nedeniyle kuvvet azalır (Şekil 2.8-3. Bölge). Optimumdan daha kısa uzunluklarda (Şekil 2.8-1. Bölge) aktin filamentlerinin sarkomerin hem miyozin hem de aktin filamentleri ile iç içe geçmesi nedeniyle kuvvet azalır (91).



Şekil 2.8. İzometrik kontraksiyonda sarkomer uzunluk-gerilim eğrisi⁶ (87).

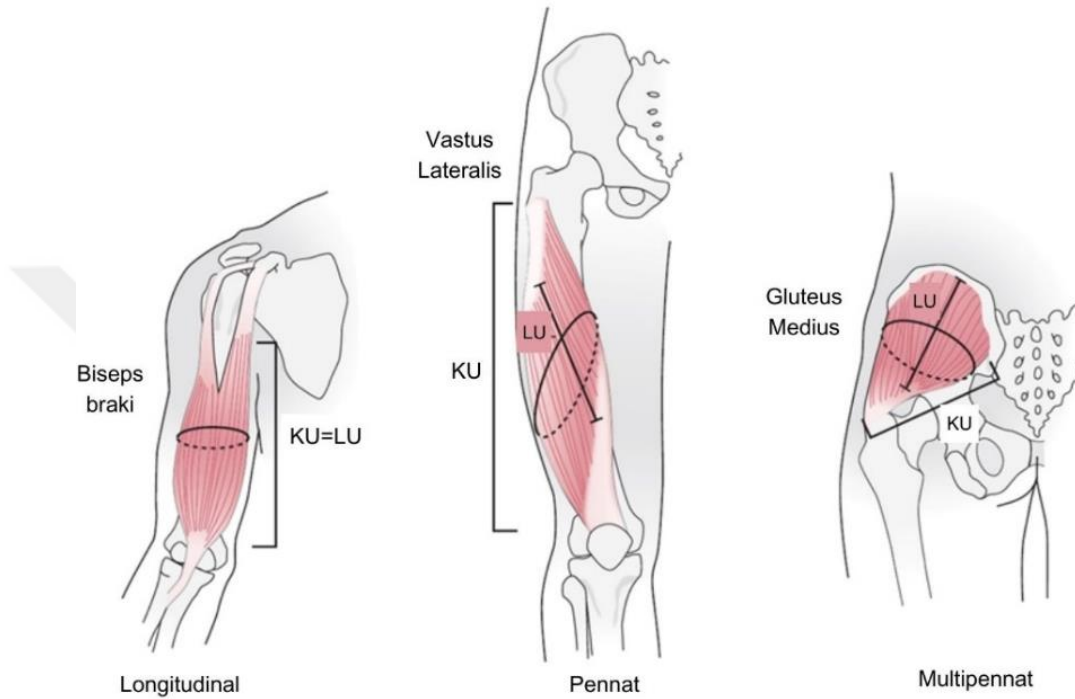
2.4.2. İskelet Kasının Makroskobik (Mimari) Organizasyonu

İskelet kası mimarisi, "kas liflerinin kuvvet eksenine göre dizilimi" olarak tanımlanır (87). Kas fonksiyonunun birincil belirleyicisi olduğundan, bu yapı-fonksiyon ilişkisini anlamak klinik uygulamalar açısından büyük bir öneme sahiptir. Bununla sadece kuvvet üretimi ve hareketin fizyolojik temeli açıklanmaz, aynı zamanda tendon transfer prosedürlerini içeren cerrahiler için bilimsel bir gerekçe, kas aktivitesinin EMG ölçümleri sırasında elektrot yerleşimi için kılavuz ve kas yaralanmaları için mekanik bir temel ortaya konulur (92).

Gerçekte kas liflerin dizilimleri kasların kendisi kadar çok olsa da bu dizilimler temelde üçe ayrılmaktadır. Biseps braki gibi, lifleri kuvvet oluşturan eksene paralel uzanım gösteren kaslar paralel veya longitudinal olarak düzenlenmiş kaslar olarak adlandırılır. VL gibi kuvvet oluşturan eksene göre tek bir açıda yönlendirilmiş liflere

⁶ Bu şekil Skeletal Muscle Structure, Function and Plasticity Physiological Basis of Rehabilitation isimli kitaptan alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda kitabın editörü ve yazarı Prof. Dr. Richard Lieber'dan izin alınmıştır.

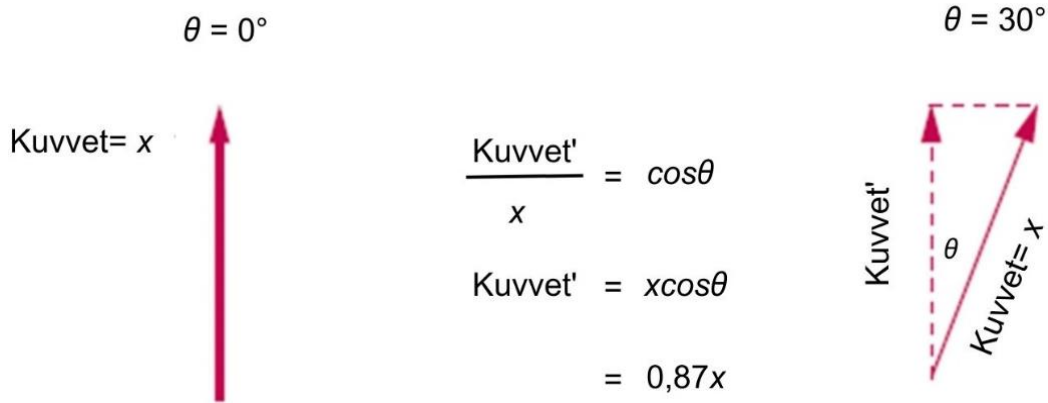
sahip kaslar, unipennat kaslar olarak adlandırılır. Kuvvet oluşturma eksenine göre çeşitli açılarda yönlendirilmiş liflerden oluşan gluteus medius gibi kaslar, multipennat olarak adlandırılır (87) (Şekil 2.9). Lifler ve kuvvet oluşturan eksen arasındaki bu açılar PA olarak isimlendirilir ve bu açı genellikle 0° ile 30° arasında değişiklik gösterir (87).



Şekil 2.9. Kas mimari tiplerinin genelleştirilmiş görselleri⁷ (KU: Kas uzunluğu, LU: Lif uzunluğu) (87).

PA'nın teorik etkisini açıklamak için bir kas lifinin kuvvet oluşturma eksenine göre belli bir açıda x birim kuvvetle çıktığını varsayalım. Gerçekte liflerin kuvvetinin bir kısmı eksen boyunca iletilmeyecek ve kaybolacaktır. Kas lifi kuvvetinin yalnızca bir bileşeni kas eksenini boyunca iletilecektir. Kuvvet oluşturma eksenine paralel hizalanmış lifler kuvvetinin tamamını tendonla aynı yönde iletirken, kuvvet oluşturma eksenine göre 30° açıyla hizalanmış kas lifleri, kuvvetinin yalnızca bir kısmını (kosinüs) iletir. Böylelikle kas kuvveti 30° 'de 0,87 veya %87 olacaktır (Şekil 2.10) (86).

⁷ Bu şekil Skeletal Muscle Structure, Function and Plasticity Physiological Basis of Rehabilitation isimli kitaptan alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda kitabın editörü ve yazarı Prof. Dr. Richard Lieber'dan izin alınmıştır.



Şekil 2.10. Penasyon açısının teorik etkisi⁸ (87).

LU ve fizyolojik enine kesit alanı (FEKA) kas mimarisinin en önemli iki parametresidir (91,93). LU kasın daha fazla ekskürsiyonuna, yani hızlı kontraksiyonuna izin verir (91). FEKA ise tepe kas kuvvetini belirler (93). Kasın kasılma özellikleri ile ilişkili bu parametrenin yanı sıra kas kütlesi, LU, sarkomer uzunluğu, kas uzunluğu ve PA ölçüldükten sonra kas mimarisini özetleyen bir dizi parametre hesaplanır (87):

FEKA: VL kası kapsamında açıklamak gerekirse, bu kas femurun etrafını tam anlamıyla sarar. Transvers, sagittal ve frontal düzlemlerdeki kesitler bu karmaşık geometriyi yansıtmada konusunda yeterli değildir. VL gibi tüm diğer kasların da geometrisi karmaşıktır. FEKA, bu karmaşıklığa bakılmaksızın kastaki tüm liflerin enine kesit alanlarının toplamını temsil eder.

Aşağıda verilen formül normal kas yapısını anlamak ve fizyolojik bağlamda değerlendirmelerin yapıldığı insan çalışmalarında FEKA tahminleri yapmak için kullanılabilir.

$$FEKA (mm^2) = \frac{M (g) \cdot \cos \theta}{p \left(\frac{g}{mm^3} \right) \cdot LU (mm)}$$

⁸ Bu şekil Skeletal Muscle Structure, Function and Plasticity Physiological Basis of Rehabilitation isimli kitaptan alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda kitabın editörü ve yazarı Prof. Dr. Richard Lieber'dan izin alınmıştır.

Denklem bileşenlerine ayrıldığında FEKA'nın mantığı daha net şekilde anlaşılabilir. Öncelikle kas yoğunluğuna (p) bölünen kas kütlesi kas hacmine eşittir. Memelilerdeki (p) değeri 1.056 g/cm^3 'tür (94).

$$\text{Hacim (cm}^3\text{)} = \text{Kas kütlesi (g)} / p \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

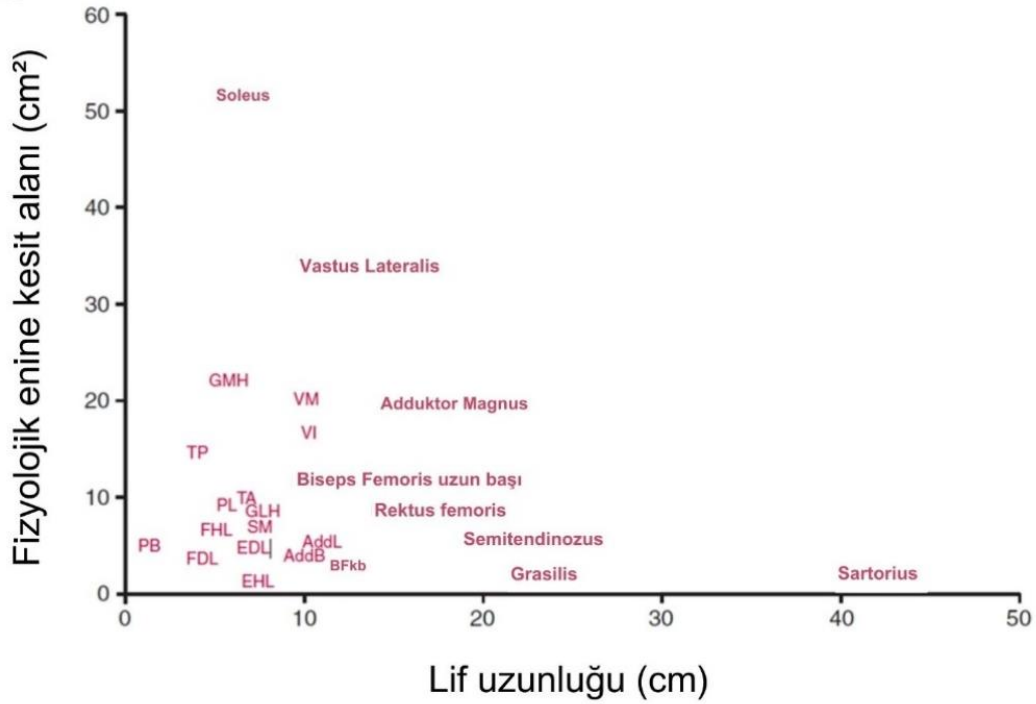
Kasın kabaca silindir şeklinde olduğu düşünülürse, hacmin LU'ya bölünmesi silindirin yani kasın enine kesit alanını gösterir

$$\text{Enine kesit alanı (cm}^2\text{)} = \text{Hacim (cm}^3\text{)} / \text{LU (cm)}$$

Örnekte LU silindir uzunluğuna eşit olmadığından alan gerçek bir alanı temsil etmez. Lifler kuvvet eksenine belirli bir açıda dizilim gösterdiğinden denkleme genellikle kosinüs ($\cos$) terimi dahil edilir.

$$\text{FEKA (cm}^2\text{)} = \text{Enine kesit alanı (cm}^2\text{)} \cos \theta$$

Bir kasın kuvvet oluşturma ve hareket etme kapasitesini en iyi tahmin eden yapısal özellik onun mimarisidir. FEKA maksimum kas kuvveti ile orantılı iken, LU kas ekskürsiyonu ile orantılıdır. Alt ekstremité kasları arasında LU en yüksek olan kas Sartorius, FEKA'sı en yüksek olan kas ise Soleus'tur. Bu araştırma kapsamında incelenen VL ve BFub kasları benzer LU'ya sahip olsalar da VL kasının FEKA'sı BFub'ye kıyasla daha fazladır. Şekil 2.11 kasların bağıl kuvvetlerini ve hareketlerini karşılaştırmak için kullanılabilir (87). Kuadriseps ve hamstring kaslarını ekskürsiyon ve kuvvet açısından incelediğimizde, kuadriseps kaslarının daha yüksek FEKA'ya sahip olması sebebiyle kuvvet, hamstring kaslarının ise daha uzun LU'ya sahip olması sebebiyle ekskürsiyon bakımından ön plana çıktığı görülür.



Şekil 2.11. İnsan alt ekstremitesindeki kasların lif uzunluğunun ve fizyolojik enine kesit alanlarının dağılım grafiği⁹ (AddB: Adduktor brevis, AddL: Adduktor longus, BFkb: Biceps femoris kısa başı, EDL: Ekstensör dijitorum longus, EHL: Ekstansör hallusis longus, FDL: Fleksör dijitorum longus, FHL: Fleksör hallusis longus, GLH: Gastrokinemius lateral başı, GMH: Gastrokinemius medial başı, PB: Peroneus brevis, PL: Peroneus longus, SM: semimembranosus, TA: Tibialis anterior, TP: Tibialis posterior, VM: Vastus medialis, VI: Vastus intermedius) (87).

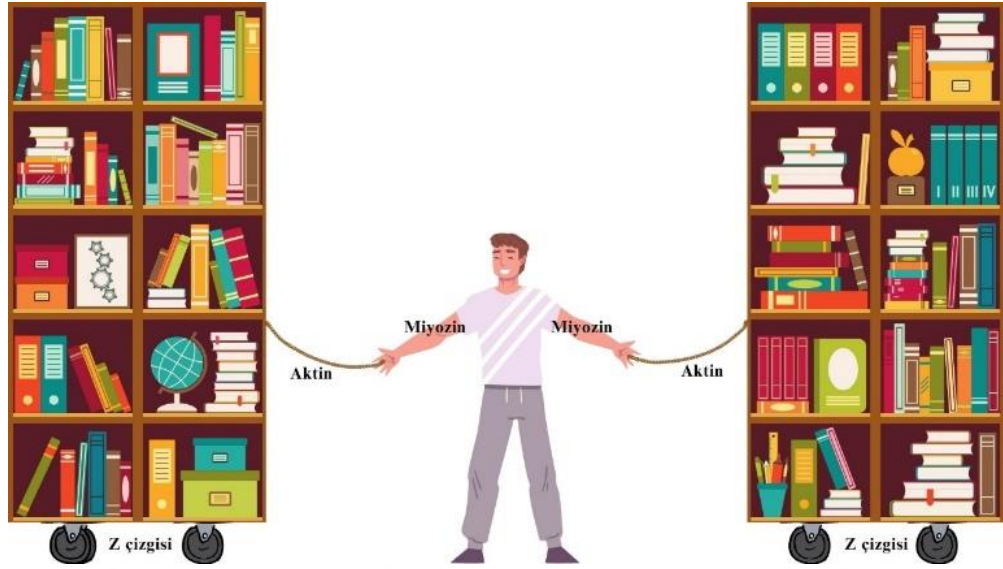
2.4.3. İskelet Kasının Kontraksiyonu

Kas kontraksiyonu statik ve dinamik olmak üzere temelde ikiye ayrılır. İzometrik kasılma olarak da adlandırılan statik kasılma, duvarı itme aktivitesinde olduğu gibi eklem veya ekstremitede hareket olmadan kuvvet oluşumu ile karakterizedir. Daha önceden izotonik olarak ifade edilen ve kuvvet üretiminin yanı sıra hareket de içeren dinamik aktivasyonlar ise konsantrik ve eksantrik kasılmalar olarak ikiye ayrılır. İki kasılma türü kuvvet oluşturma mekanizmaları, maksimum kuvvet üretimi ve enerji maliyeti açısından birbirinden önemli ölçüde farklıdır.

⁹ Bu şekil Skeletal Muscle Structure, Function and Plasticity Physiological Basis of Rehabilitation isimli kitaptan alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda kitabın editörü ve yazarı Prof. Dr. Richard Lieber'dan izin alınmıştır.

Konsantrik kasılmada kasın origo ve insersiyonunun birbirine yaklaşması sebebiyle kas kısalır (83,87). Konsantrik kasılmalarda kas tarafından üretilen kuvvet kasın maksimumundan her zaman daha azdır. Kasın kaldırması gereken yük azaldıkça kasılma hızı artar. Bu durum kas maksimum kasılma hızı olan V_{max} 'a ulaşana kadar devam eder (87). Eksantrik kasılma açısından bakıldığında ise, kasın üzerindeki yük arttıkça bu dış kuvvet kasın üretebileceği kuvvetten daha büyük olduğu bir noktaya ulaşır. Böylece kas tam olarak aktive olsa bile yüksek dış yük kaynaklı olarak origo ve insersiyonunun birbirinden uzaklaşması sebebiyle uzamaya zorlanır (83,87). Eksantrik kasılmalarla ilgili dikkat edilmesi gereken iki ana özellik, elde edilen mutlak gerilimlerin kasın maksimum tetanik gerilim oluşturma kapasitesine göre yüksek olması ve mutlak gerilimin nispeten uzama hızından bağımsız olmasıdır (87). Genel olarak eksantrik kasılmalar daha düşük enerji ve oksijen tüketimi sebebiyle düşük metabolik maliyete sahip olsalar da izometrik ve konsantrik kasılmalardan daha fazla kuvvet üretir (83,95). Bir kasın normal aktivitesini çoğu zaman aktif olarak uzarken gerçekleştirmesi, eksantrik kasılmaları içeren egzersizlerin kas kuvvetlendirmedeki önemi ve kas yaralanmalarına ilişkin mekanizmaların eksantrik kasılma ile ilişkisi bakımından bu yöndeki eğitimler popüler bir çalışma alanıdır (87). Konsantrik ve eksantrik kasılma türlerinden farklı olarak laboratuvarında özel bir cihaz kullanılarak üretilen başka bir dinamik hareket, hareketin hızının sabit olduğu izokinetik kasılma türüdür. Bu tür kas hareketi yapaydır ve normal insan hareketinde günlük aktivitelerin performansı sırasında hızlanma ve yavaşlamanın bir kombinasyonu olduğundan meydana gelmez (83).

Kas kasılmalarının temel mekaniğiyle ilgili 1954'te yayınlanan iki çığır açan makale kas liflerindeki kasılmanın çeşitli aşamalarında miyozin ve aktin filamentlerinin konumunu tanımlamış ve bu etkileşimin nasıl kasılma kuvveti ürettiğini öneren kayan filamentler teorisini ortaya koymuştur (96,97). Sarkomer organizasyonunda miyozinleri içeren A bandının kasılma sırasında nispeten sabit uzunlukta kaldığı; aktinden oluşan ve daha ince filamentler açısından zengin olan I bandının ise sarkomerle birlikte uzunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. Aktin sarkomerin yanal uçlarında bulunan Z disklerine bağlı olduğundan, aktindeki herhangi bir kısalma sarkomerin ve dolayısıyla kasın kısalmasıyla sonuçlanır (98). Bu teori Şekil 2.12'de görseli verilen bir analogi kullanılarak da açıklanabilir.

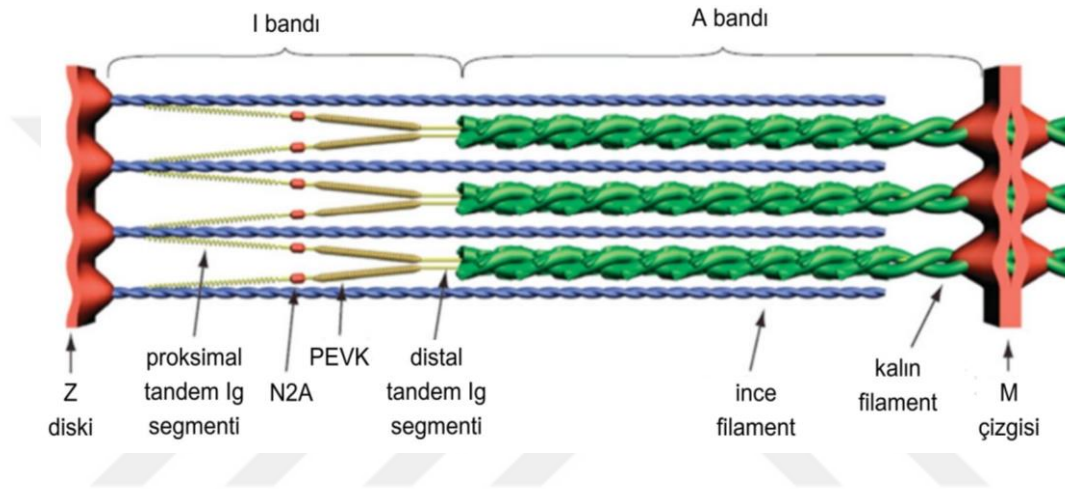


Şekil 2.12. Kayan filamentler teorisine yönelik anoloji görseli.

Kitaplarla dolu olan iki büyük kitaplığın arasında durduğumuzu hayal edelim. Bu büyük kitaplıklar birbirinden birkaç metre uzaklıkta ve kolayca taşınabilmeleri için tekerlekler üzerine yerleştirilmiş olsun. İki kitaplığı bir araya getirmek için sadece kollarımızı ve iki ipi kullanabiliriz. Bu durumda kitaplıkların ortasında durarak her bir kitaplığa güvenli bir şekilde bağlı olan iki ipi çekeriz. Tekrarlayan bir tarzda her ipi mümkün olduğunca kendimize doğru çeker, sonra ipi yeniden tekrar kavrar ve aynı şekilde yeniden çekeriz. Sonunda kitaplıklar ip boyunca ilerleyip birlikte hareket ederek bize doğru yaklaşır. Bu örnekte kollarımız miyozine, ipler aktine ve kitaplıklar bir sarkomerin yan uçlarını oluşturan aktinin sabitlendiği Z disklerine benzer. Kitaplıklar arasında merkezi olarak kalma şeklimize benzer şekilde, normal kas kasılması sırasında miyozin filamentleri merkezde kalır (98).

Kayan filamentler teorisi ortaya çıkışından bu yana konsantrik kasılmalara yönelik moleküler mekanizmaları önemli ölçüde geliştirmiş olsa da eksantrik kasılmalara yönelik mekanizmaları tam olarak açıklamamaktadır (87). Buna yönelik olarak son yıllarda sarkomer yapısında yer alan diğer bazı proteinler araştırılmış, sarkomerdeki en yoğun proteinlerden olmasına rağmen oldukça yakın zamanda tanımlanan dev titin proteininin eksantrik kasılma mekanizmalarını açıklamakla ilgili olabileceği ifade edilmiştir (99,100).

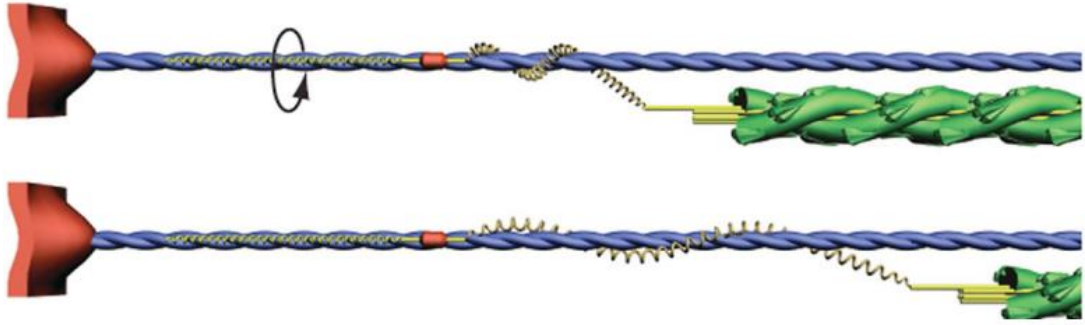
Her titin molekülü, Şekil 2.13'teki gibi I bandındaki ince filamentlere (mavi) ve A bandındaki kalın filamentlere (yeşil) bağlıdır (101). Titin molekülünün uzayabilirliği ve dolayısıyla miyofibrillerin içsel pasif gerilimi, I-bandını kapsayan bölgeye atfedilir. İskelet kasında bu bölge proksimal immünoglobulin (Ig) alanı, N2A segmenti, bir PEVK alanı ve miyozinin kenarına ulaşmadan önce Ig alanlarının distal serisi olmak üzere dört temel kısımdan oluşur (88). Titinin Prolin, Glutamat, Valin ve Lizin açısından zengin PEVK bölgesi, çizgili kasa pasif gerilim sağlayan entropik bir yay oluşturur (102).



Şekil 2.13. Sarkomer yapısı¹⁰ (101).

Titinin keşfiyle birlikte, konsantrik kasılmada öne çıkan kayan filamentler teorisi gibi eksantrik kas kasılma mekanizmasını açıklamada da dönen filamentler hipotezinin kilit bir role sahip olduğu öne sürülmüştür (101). Nishikawa ve ark. (101)'ın ortaya koyduğu dönen filamentler hipotezine göre Ca^{2+} akışıyla birlikte titinin Şekil 2.14'te gösterildiği gibi N2A bölgesi aktine bağlanır. Titin Z diskinde aktinlere A bandında miyozinlere bağlı olduğundan bu hipoteze göre aktinin miyozinler üzerinde çapraz köprüler aracılığıyla sadece kayma hareketi değil aynı zamanda dönme hareketi yaptığı öne sürülür. Çapraz köprüler PEVK titinini aktif kastaki ince lifler üzerine sarar. Şekil 2.14'teki gibi aynı yarım sarkomerdeki tüm titinler, aktin filamentleri etrafında aynı yönde sarılır (101,103).

¹⁰ Bu şekil Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences isimli dergide yayınlanan Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction başlıklı makaleden alınarak Türkçe'ye çevrilmiştir. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Prof. Dr. Kiisa Nishikawa ve The Royal Society yayınevinden izin alınmıştır.



Şekil 2.14. Dönen filamentler hipotezi¹¹ (101).

Bu genel bilgiler dahilinde çalışmamız, adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklenen Mİ ve HG temelli PE'nin kas mimarisi üzerine nasıl etki ettiğini, bu etkilerin tek adım sıçrama özelinde performansa nasıl yansıdığını incelemek üzere kurgulanmıştır.

¹¹ Bu şekil Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences isimli dergide yayınlanan Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction başlıklı makaleden alınmıştır. Bu kapsamda makalenin sorumlu yazarı Prof. Dr. Kiisa Nishikawa ve The Royal Society yayınevinden izin alınmıştır.

3. BİREYLER ve YÖNTEM

T.C. Trabzon Valiliği İl Sağlık Müdürlüğü Sağlık Bilimleri Üniversitesi Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından değerlendirilen bu çalışma, 21.11.2022 tarih ve 2022/59 karar numarası ile tıbbi, bilimsel ve etik açıdan uygun bulundu. Araştırmanın klinik çalışma kaydı clinicaltrials.gov adresi üzerinden prospektif olarak yapıldı (NCT05558033).

3.1. Sporcular

Bu araştırmaya 2022-2023 Türkiye futbol sezonunda Ofspor Kulübü'nün U-14 ve U-16 erkek takımlarında yer alıp aşağıdaki kriterlere uygun sporcular dahil edildi. Eğitim ve kontrol grubundaki tüm bireyler için aynı kriterler geçerliydi.

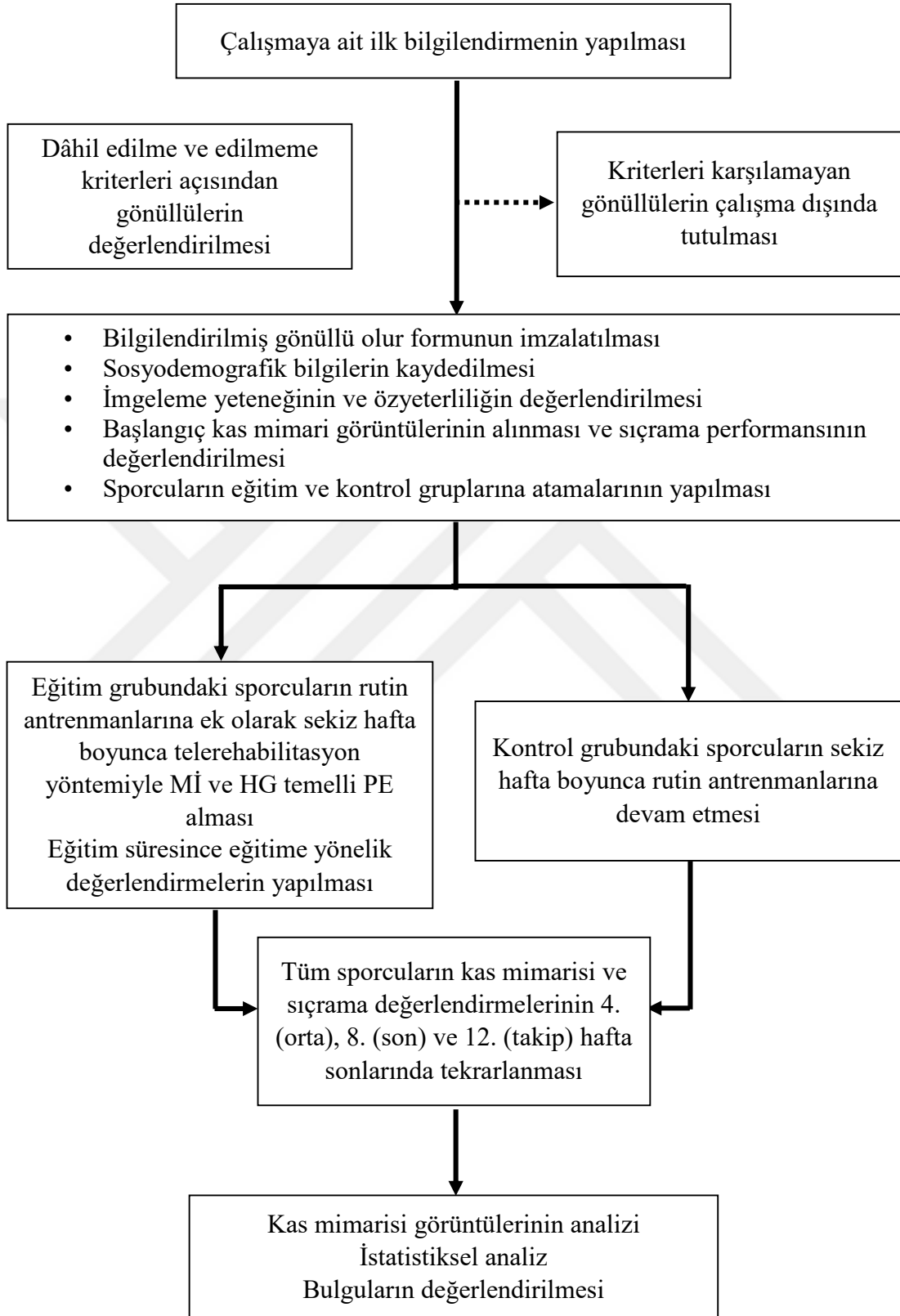
⚽ Dahil edilme kriterleri:

- ✓ 12-19 yaş aralığında olmak ve
- ✓ Lisanslı olarak aktif futbol oynuyor olmaktır.

⚽ Dahil edilmeme kriterleri:

- ✗ Alt ekstremitte cerrahisi geçirenler,
- ✗ Hamstring ve kuadriseps kas gruplarında ikinci ve üçüncü derece gerilme tipi yaralanma hikayesi olanlar,
- ✗ Alt ekstremitesinde son iki yıl içinde yaralanma hikayesi olanlar,
- ✗ Konjenital, nörolojik, ortopedik, romatolojik ve kardiyopulmoner patoloji veya anomali öyküsü olanlar,
- ✗ Sistemik hastalık (diyabet, tansiyon, tiroid hastalıkları vb.) tanısına sahip olanlar,
- ✗ Ağrısı olanlar,
- ✗ Eklem instabilitesi tanısı olanlar,
- ✗ Beden kütle indeksi 30 ve üzeri olanlar,
- ✗ Çalışma süresince veya çalışmadan önceki 6 aylık süre boyunca enerji takviyesi veya ergojenik yardım alanlar,
- ✗ Araştırma protokolünü takip etmeyenlerdir.

Araştırma Şekil 3.1’de gösterilen akış şemasına göre yürütüldü.



Şekil 3.1. Akış şeması.

Gerekli kriterleri karşılayıp çalışma davetini kabul eden gönüllü sporcular ve aileleri, araştırma hakkında Helsinki Bildirgesi ile İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu gereği ve kapsamında sözlü/yazılı olarak bilgilendirildi. Sporculardan ve ailelerinden yazılı olarak bilgilendirilmiş gönüllü olur formu alındı. İlk değerlendirmelerin ardından yazı-tura yöntemi kullanılarak sporcular eğitim ve kontrol grubu olmak üzere basit randomizasyonla iki gruba ayrıldı. Eğitim grubundaki sporcular rutin antrenman programlarına ek olarak Mİ ve HG temelli PE'e katıldı. Kontrol grubundaki sporcular rutin antrenman programına devam etti.

3.2. Genel Değerlendirmeler

Sporcuların gruplara atanmasının ardından aşağıda belirtildiği şekilde genel değerlendirmeler yapıldı. Bu değerlendirmeler, sporcuların ve imgelemede etkili olabilecek parametrelerin gruplar arasındaki benzerliğini ortaya koymak maksadıyla gerçekleştirildi.

3.2.1. Sosyodemografik Değerlendirme

Sporcuların yaşı, vücut ağırlığı ve boy uzunluğu kaydedildi. Antrenman ve müsabakalarda en sık kullandıkları ayak tarafı dominant ayak olarak kabul edildi. Kas mimarisi görüntülerinin alındığı yerin tutarlı olması amacıyla VL kası için trokantör majör ile femurun lateral kondili, BFub için ise iskiyal tuberositas ile fibula başının üst sınırı arasındaki mesafe kaydedildi.

3.2.2. İmgeleme Yeteneğinin Değerlendirilmesi

Eğitim ve kontrol gruplarına dahil edilen tüm bireylerin imgeleme yeteneğinin belirlenmesi amacıyla Williams ve ark. (104) tarafından geliştirilip Dilek ve ark. (105) tarafından Türkçe geçerlilik ve güvenirliği yapılan "Hareket İmgeleme Anketi-3" kullanıldı (iç tutarlılık katsayısı: 0,87). Bu anketteki 12 maddeyle içsel görsel imgeleme, dışsal görsel imgeleme ve kinestetik imgeleme yetenekleri dörder eylem aracılığıyla değerlendirildi. Eylemler başlangıçta bireyler tarafından aktif olarak yapıldı. Daha sonra bu eylemleri zihinsel görev olarak yerine getirmeleri istendi. Bu zihinsel görevler yedili likert aracılığıyla (1: görmek, hissetmek çok zor; 7: görmek,

hissetmek çok kolay) puanlandı. Puan hesaplamasında üç alt boyutun her biri için ilgili dört eylemin puan ortalaması alındı.

3.2.3. Özyeterlilik Yeteneğinin Değerlendirilmesi

Sporcuların özyeterliliğinin değerlendirilmesinde Sherer ve ark. (106) tarafından geliştirilip Yıldırım ve İlhan (107) tarafından Türkçe geçerlik ve güvenilirliği yapılan “Genel Özyeterlilik Ölçeği” kullanıldı (İç tutarlılık katsayısı: 0,80). On yedi maddeden oluşan ve beşli likert aracılığıyla (1: hiç, 5: çok iyi) cevaplanan bu ölçekteki 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16 ve 17. maddeler ters puanlandı. Ölçek toplam puanı 17-85 arasında değişmekte; puanın artması özyeterlilik inancının arttığını göstermektedir.

3.3. Kas Mimarisi Değerlendirmeleri

Genel değerlendirmelerin ardından kas mimarisi değerlendirmelerine geçildi. Bu değerlendirmeler eğitim grubunda yer alan sporcular için eğitim öncesinde, eğitim ortasında (dördüncü haftanın sonunda), eğitim sonunda (sekizinci haftanın sonunda) ve eğitim sonrasında (eğitimden dört hafta sonra) olmak üzere dört kez gerçekleştirildi. Kontrol grubunda yer alan sporcular herhangi bir eğitime katılmayıp eğitim grubundaki sporcular gibi rutin antrenman programlarına devam etse de bu grupta yer alan sporcular için de ölçüm zamanı olarak aynı durum geçerliydi. Herhangi bir kronobiyolojik etkiyi önlemek için aynı sporcuya ait dört ölçümdeki değerlendirmeler gün içinde benzer saatlerde yapıldı. Kas mimarisi görüntülerinin alınması ve sonrasında bu görüntülerin analizi yazar tarafından gerçekleştirildi.

3.3.1. Kas Mimarisi Görüntülerinin Alınması

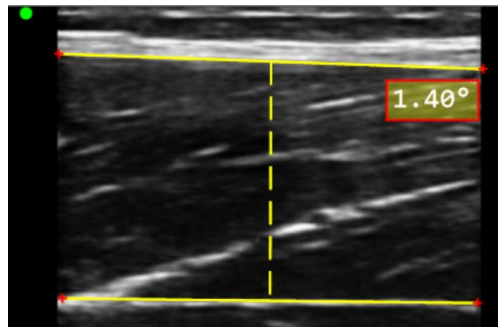
Kas mimarisi görüntülerin alınmasında taşınabilir Soundcam mobil ultrason cihazı (3,5-10 MHz lineer prob) kullanıldı. Görüntülerinin alınacağı vaktin 48 saat öncesinden itibaren sporcuların rutin antrenmanlarına devam etmelerine izin verildi fakat müsabaka gibi güçlü fiziksel aktiviteye katılmamaları istendi. Katılımcılar değerlendirmeden iki saat önceye kadar yemek yemeyi sonlandırdı. Görüntüler alınmadan önce en az 10 dakika dinlenmiş olmaları sağlandı. Sporcuların her iki VL ve BFub kaslarından ilk, orta, son ve takip değerlendirmelerinde birer görüntü alındı.

Tüm sporcular için tüm değerlendirmelerde sağ VL, sol VL, sağ BFub ve sol BFub sıralaması takip edildi. Bu görüntüler araştırmanın yürütüldüğü spor kulübünün sağlık odasında ve sporcular tedavi yatağında pozisyonlanarak alındı. VL kas mimarisi değerlendirmesi için bireyler alt ekstremiteleri uzatılmış ve kasları gevşek olacak şekilde sırtüstü pozisyonlandı. Ölçümler trokantör majör ile femurun lateral kondili arasındaki mesafenin orta noktasından alındı. Ultrasonografi probu kas liflerine paralel olarak VL üzerinden cilde dik olarak yerleştirildi (108,109). BFub için ise bireyler pelvisleri nötral, dizleri pasif tam ekstansiyonda ve kasları gevşemiş durumda olacak şekilde yüzüstü pozisyonlandı. Değerlendirme için ultrason probu iskiyal tuberositas ile fibula başının üst sınırı arasındaki mesafenin orta noktasına yerleştirildi (110,111). Bu yerleştirme kasın longitudinal eksenine doğru ve cilde dik olacak şekilde yapıldı. Her iki kasa ait mimari değerlendirmede akustik bağlantıya yardımcı olmak ve cilde temas ihtiyacını ortadan kaldırmak için ultrason probu ve cilt arasına suda çözünür iletken jel kullanıldı. Ayrıca cilt üzerinde minimum basınç sağlanmasına özen gösterildi. Aponevroz ve liflerin en uygun şekilde görülebilmesi için prob yönünde hafif ayarlamalar yapıldı. Görüntülemelerde birkaç lif kolayca tanımlanabildiğinde prob yerleşiminin uygun olduğu düşünüldü (110).

3.3.2. Kas Mimarisi Görüntülerinin Analizi

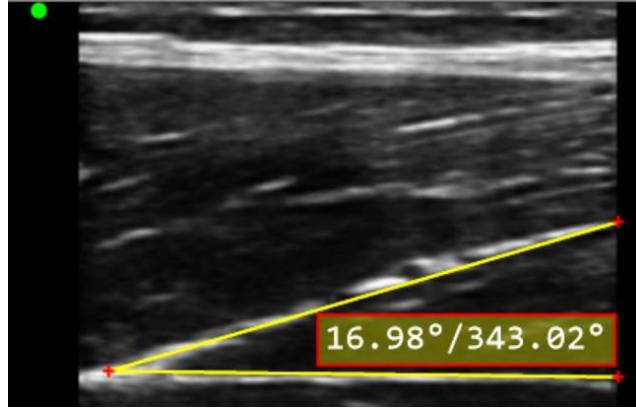
Kas mimarisi açısından ultrason ile elde edilen görüntüler MicroDicom yazılımı (V.0.7.8, Bulgaristan) kullanılarak analiz edildi. Aponevroz açısı (AA), PA, KK ve LU değerlendirmesinde aşağıda belirtilen standart yöntemler kullanıldı (12):

AA: Yüzeyel ve orta aponevrezlara çizilen horizontal çizgiler arasındaki açı olarak hesaplandı (Şekil 3.2).



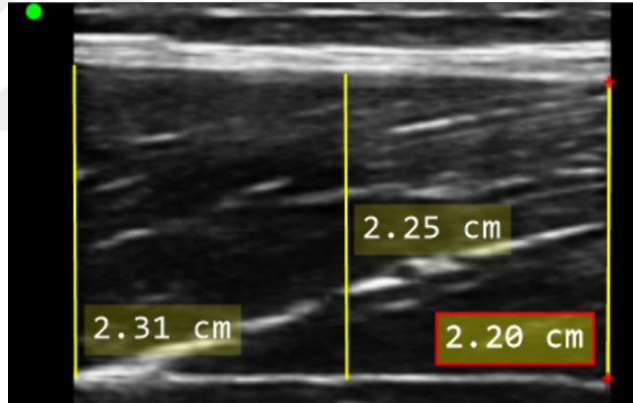
Şekil 3.2. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde aponevroz açısının hesaplanması.

PA: Kas lifleri ile orta aponevroz arasındaki açıya yönelik alınan üç ölçümün ortalaması olarak hesaplandı (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde penasyon açısının hesaplanması.

KK: Yüzeysel ve orta aponevroza dik olarak karşılıklı olarak çizilen paralel üç çizginin ortalama uzunluğu olarak kabul edildi (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Vastus lateralis kasına ait ultrason görüntüsü üzerinde kas kalınlığının hesaplanması.

LU: Bu uzunluk prob yüzeyinden daha büyük olduğu için aşağıdaki trigonometrik fonksiyonla tahmin edildi.

$$LU = \sin (AA+90^0) \times KK / \sin [180^0-(AA+180^0-PA)]$$

Bu araştırma kapsamında değerlendirilen PA, KK ve LU mimari parametrelerinin test-tekrar test güvenilirliğine ilişkin sınıf içi korelasyon katsayıları VL ve BFub kasları açısından 0,79 ile 0,96 arasında değişiklik gösterir ve her iki kasa ait kas mimarisi değerlendirmesinde ultrason kullanımı güvenilirdir (112,113).

3.4. Sıçrama Performansının Değerlendirilmesi

Kas mimarisi görüntülerinin alınmasının ardından sporcuların sıçrama performansı değerlendirildi. Bu değerlendirmede Dingenen ve ark. (114) tarafından test-tekrar test güvenilirliğine ilişkin sınıf içi korelasyon katsayısı dominant taraf için 0,94 nondominant taraf için 0,96 olarak mükemmel derecede iyi bulunan tek adım sıçrama testi kullanıldı. Test öncesinde katılımcılardan ısınma amaçlı olarak beş kez bilateral vertikal sıçrama yapmaları istendi. Sıçramaya ilişkin dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanarak sağ ve sol taraflarından birer kez olmak üzere deneme sıçrayışı yapmaları sağlandı. Sporculara ölçümler süresince ellerini iliak kristaları üzerinde sabit olarak konumlandırmaları talimatı verildi. Bu pozisyondayken test edilen ayak üzerinde belirlenen çizginin gerisinde durmaları ve ileriye doğru maksimum düzeyde sıçramaları istendi. Sıçrama başlangıcında diğer taraf ekstremiteden hız kazanmalarına izin verilmedi. Ölçümler her sıçrama arasında iki dakika süre olacak şekilde üç tur olarak sağ-sol sıralaması takip edilerek sürdürüldü. Bitiş noktasındaki ayağın başparmağı ile başlangıç arasındaki mesafe ölçülerek santimetre cinsinden kaydedildi ve her iki tarafa ait üç doğru ölçümün ortalaması alınarak nihai sonuç belirlendi. İniş noktasında tek ayak üzerinde duruş pozisyonu en az iki saniye korunamadığında sıçrama başarısız olarak kabul edildi ve tekrarlandı (114,115).

Genel, kas mimarisi ve sıçrama performansına yönelik ilk değerlendirmelerin ardından eğitim grubundaki sporcular sekiz hafta süreyle Mİ ve HG temelli PE'ye katıldı. Kontrol grubundaki sporcular herhangi bir eğitime katılmayıp PE grubundaki sporcular gibi rutin antrenman programlarına devam etti. Bu antrenmanlar genel olarak haftanın yedi günü sırasıyla 5'e 2 ısınma tarzı aktiviteler, kor stabilizasyon, şut ve orta, taktik-teknik, müsabaka, dinlenme ve rejenerasyon olacak şekilde gerçekleştirildi.

3.5. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Temelli Pliometrik Eğitim

Eğitime ilişkin süreç PE programının oluşturulması, oluşturulan programın aktif hareket olmaksızın Mİ ile HG yöntemleri kullanılarak uygulanması ve uygulanan eğitim süresince yapılan değerlendirmelerle eğitimin dinamik olarak iyileştirilmesi şeklinde yürütüldü.

3.5.1. Pliometrik Eğitim Programının Oluşturulması

PE kapsamındaki egzersizlere literatürdeki EMG çalışmaları incelenerek karar verildi. Bu kapsamda vertikal unilateral ve bilateral sıçrama, horizontal unilateral ve bilateral sıçrama, derinlik sıçrama (30 cm), skuat sıçrama, step-hop (20 cm), transvers düzlemde 180⁰ dönerek sıçrama, frontal düzlem engel atlama (10 cm) ve sagittal düzlem engel atlama (10 cm) olmak üzere 10 farklı egzersiz kullanıldı (49,51,116–119). Haftada 3 seans olmak üzere 8 hafta süresince uygulanan eğitim toplamda 3480 sıçrama aktivitesinden oluştu. Eğitim seanslarına ilişkin detaylar Tablo 3.1’de gösterildi.

Tablo 3.1. Pliometrik eğitim programı.

Hafta	Egzersiz	Set sayısı	Tekrar sayısı	Toplam sıçrama aktivitesi
1 3 5 7	Vertikal bilateral sıçrama	2	15	150
	Horizontal bilateral sıçrama			
	Derinlik sıçrama (30 cm)			
	Skuat sıçrama			
	Step hop* (20 cm)			
2 4 6 8	Transvers düzlemde 180 ⁰ dönerek sıçrama*	2	10	140
	Frontal düzlem bilateral engel atlama* (10 cm)			
	Sagittal düzlem bilateral engel atlama (10 cm)			
	Vertikal unilateral sıçrama**			
	Horizontal unilateral sıçrama**			

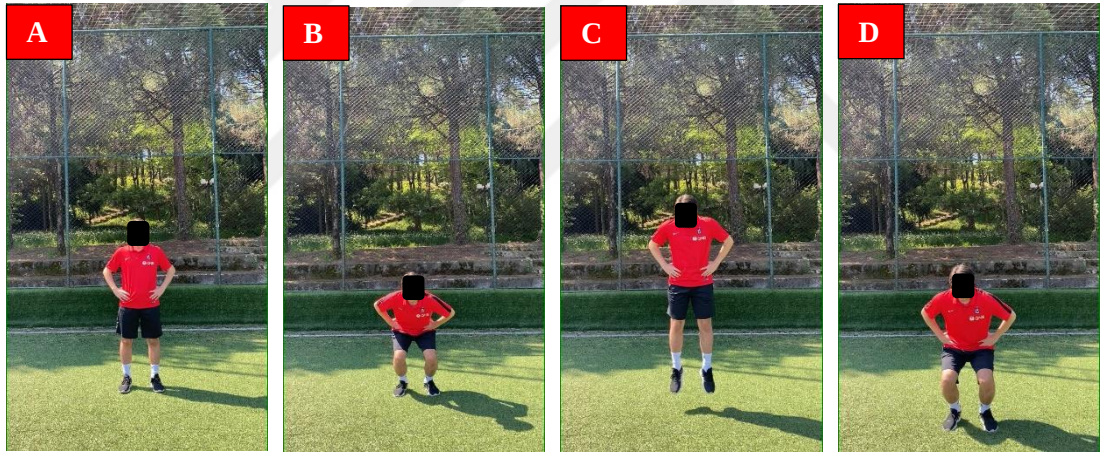
*Setlerden biri sağ diğeri sol taraf için uygulandı.

**Sağ ve sol taraflar için ikiye set olarak uygulandı.

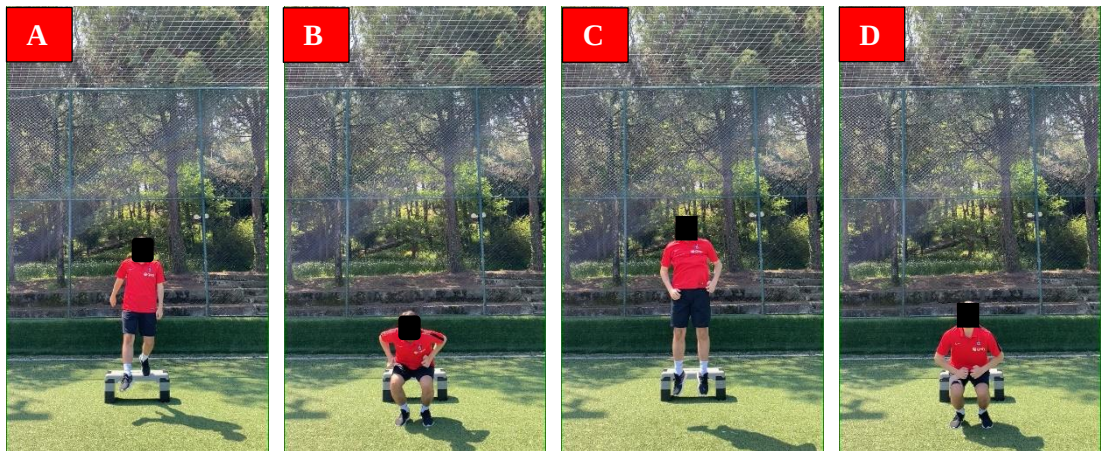
Eğitim programında yer alan egzersizlere yönelik videolar hazırlandı. Her bir egzersizin video akışında yer alan görseller A (ilk duruş), B (orta duruş), C (hareket) ve D (son) sırasıyla Şekil 3.5'ten Şekil 3.19'a kadar gösterildi.



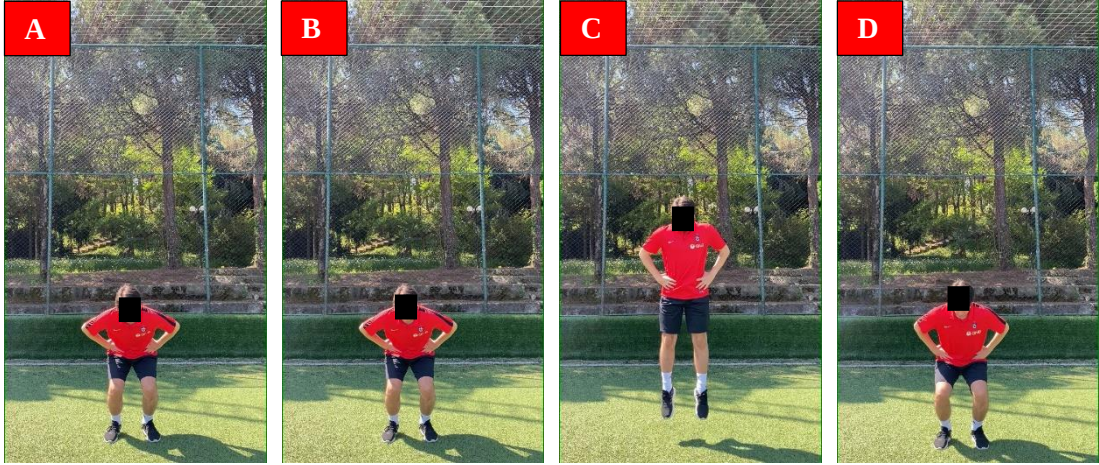
Şekil 3.5. Vertikal bilateral sıçrama.



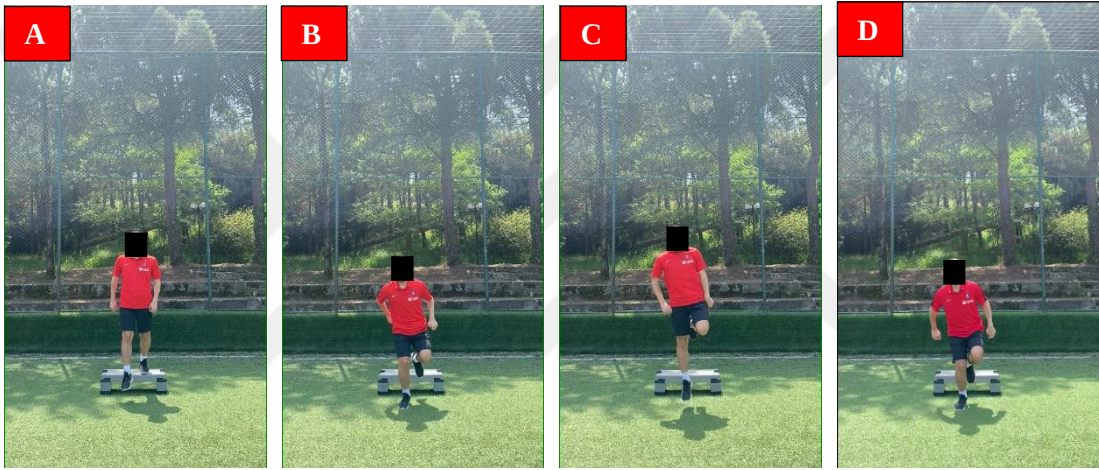
Şekil 3.6. Horizontal bilateral sıçrama.



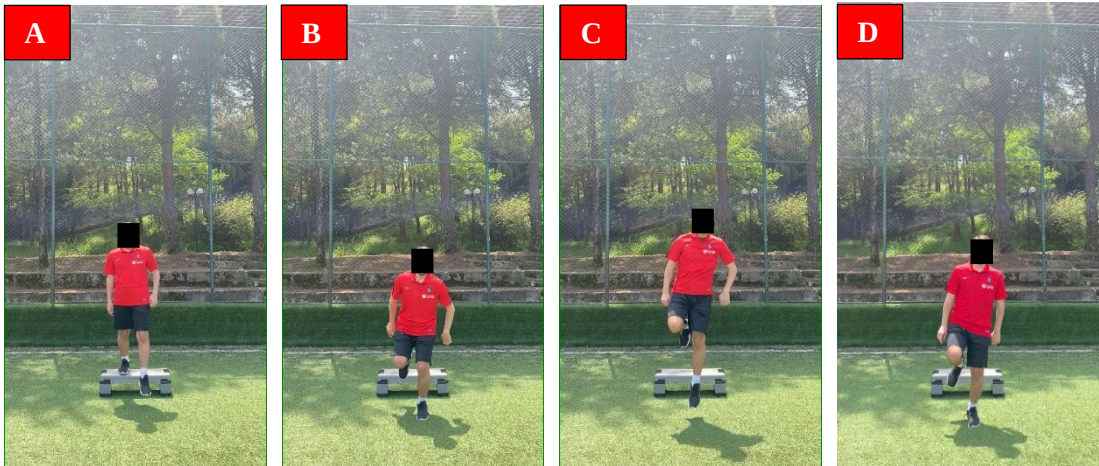
Şekil 3.7. Derinlik sıçrama.



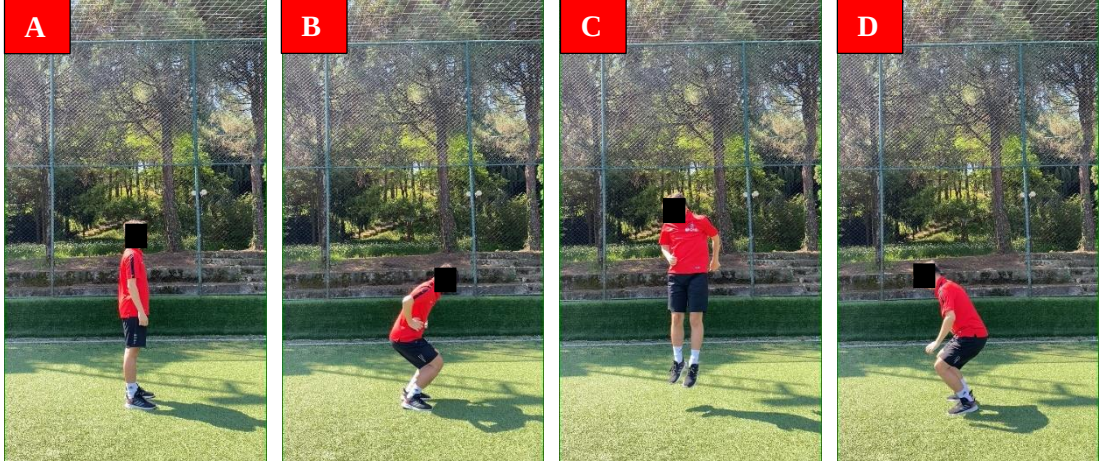
Şekil 3.8. Skuat sıçrama.



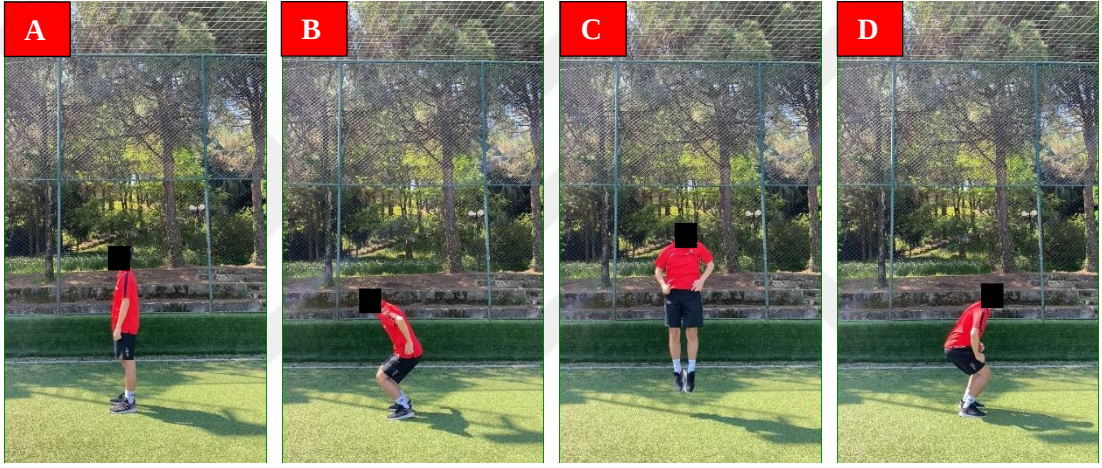
Şekil 3.9. Step hop (sağ).



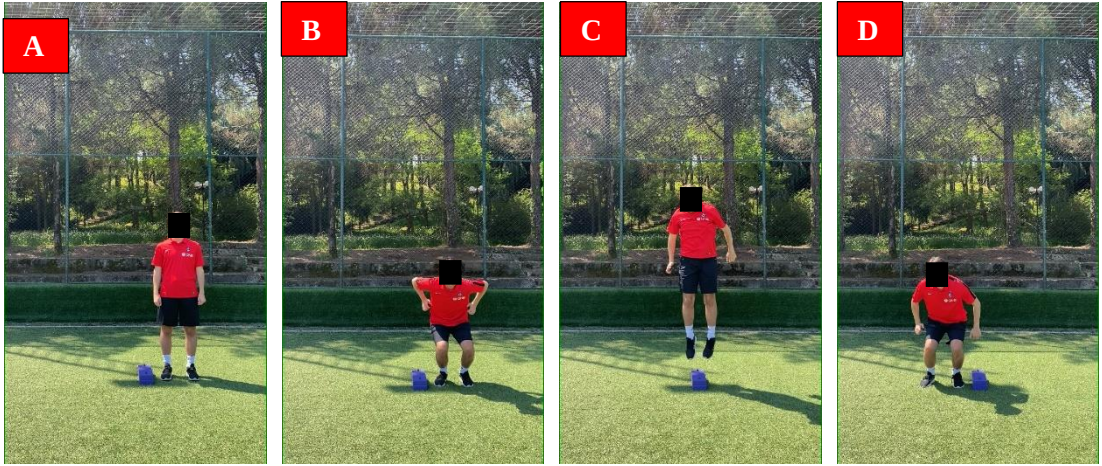
Şekil 3.10. Step hop (sol).



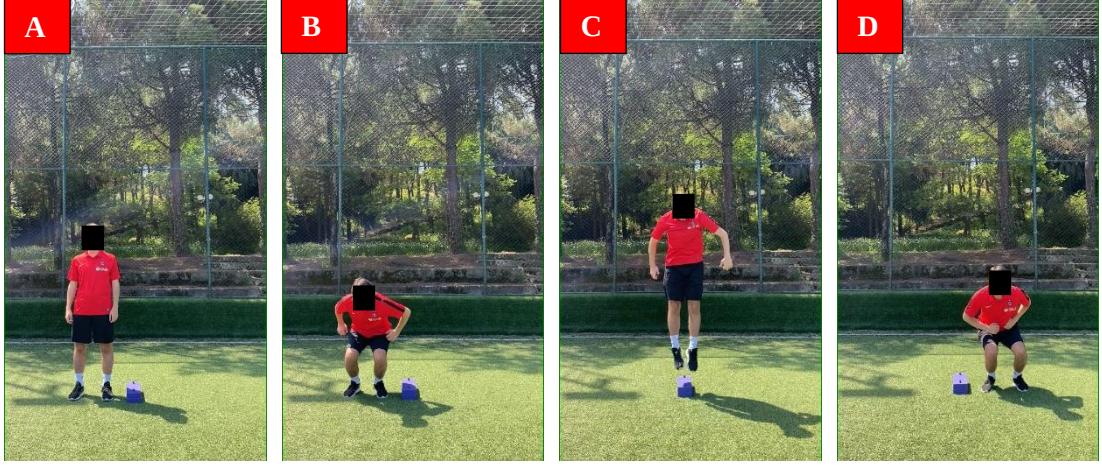
Şekil 3.11. Transvers düzlemde 180^0 dönerek sıçrama (sağ).



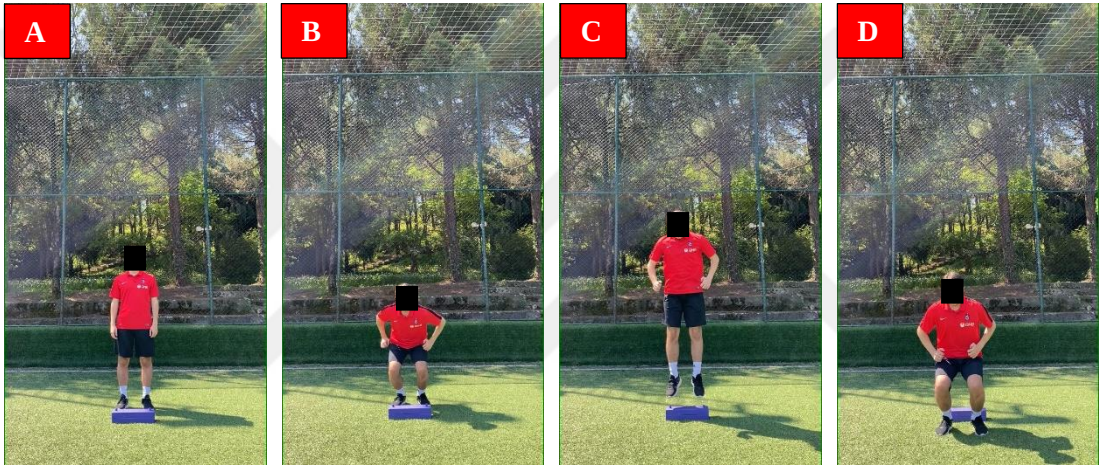
Şekil 3.12. Transvers düzlemde 180^0 dönerek sıçrama (sol).



Şekil 3.13. Frontal düzlem bilateral engel atlama (sağ).



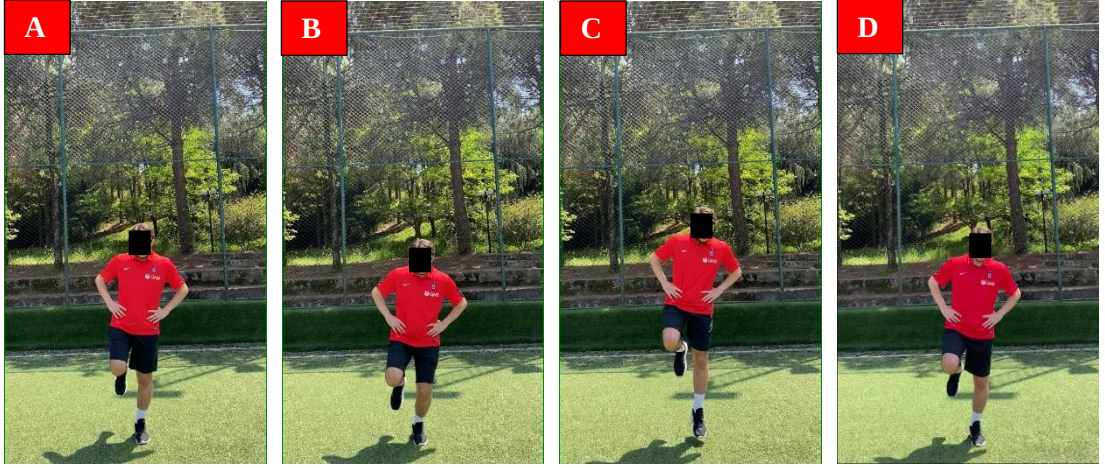
Şekil 3.14. Frontal düzlem bilateral engel atlama (sol).



Şekil 3.15. Sagittal düzlem bilateral engel atlama.



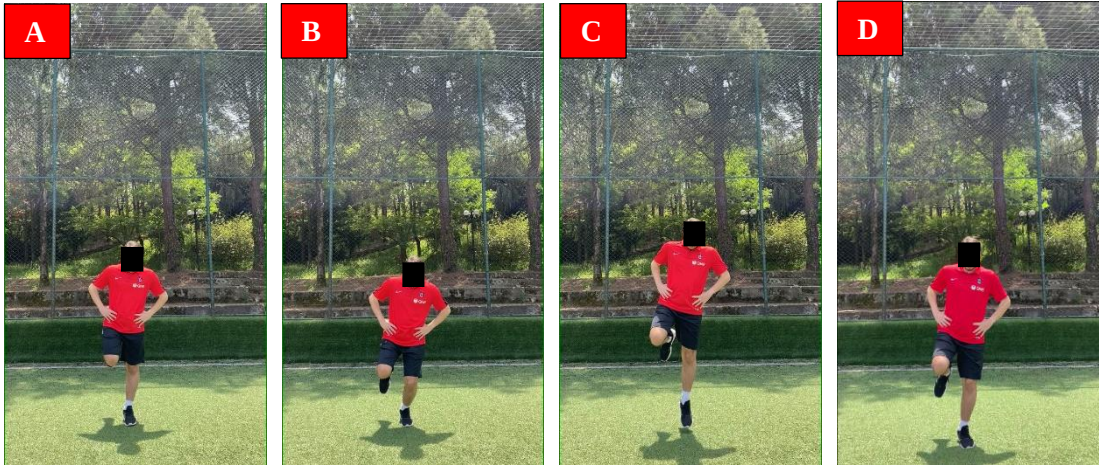
Şekil 3.16. Vertikal unilateral sıçrama (sağ).



Şekil 3.17. Vertikal unilateral sıçrama (sol).



Şekil 3.18. Horizontal unilateral sıçrama (sağ).



Şekil 3.19. Horizontal unilateral sıçrama (sol).

3.5.2. Pliometrik Eğitimin Uygulanması

Eğitim grubunda yer alan sporculara telerehabilitasyon odaklı olarak uzaktan eğitim araçları yardımıyla eş zamanlı Mİ ve HG temelli PE verildi. Araştırmacılar ile eğitim grubunda yer alan sporcular ilgili haftanın başında o haftaya ilişkin seansları birlikte planladı. Bu plana bağlı olarak araştırmacı tarafından Zoom (Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri) uygulaması üzerinden randevu oluşturuldu ve randevu bilgileri sporculara iletildi. Eğitimler U-14 takımında yer alan sporcular için 20.00-20.45, U-16 takımında yer alan sporcular için 21.00-21.45 saatleri arasında grup olarak gerçekleştirildi. Telafi eğitimleri de dikkate alındığında eğitim seanslarına yönelik katılımcı sayısı 1-13 arasında değişiklik gösterdi. Sporcu takibini ve motivasyonunu sağlamak ve devam ettirebilmek amacıyla iki hafta aralıklarla eğitim dışı yüz yüze buluşmalar gerçekleştirildi.

Eğitim süresince hazırlık evresi, set sayısı, tekrar sayısı ve dinlenme süresi gibi eğitime yönelik tüm detaylara ilişkin kontrol araştırmacı tarafından yürütüldü. Tekrarlar arasında 5 sn, setler arasında 30 sn ve egzersizler arasında 1 dk dinlenme verildi. Katılımcılardan eğitim süresince tamamen araştırmacının talimatlarına odaklanmaları istendi. Bu durumun kolaylaştırılması ve eğitimler süresince dikkat dağıtıcı tüm unsurları minimize etmek amacıyla katılımcılardan bulundukları ortamın pencere ve kapılarını kapatmaları, telefonlarını sessiz duruma almaları ve rahat bir yere oturmaları istendi. Seansların başında, yine eğitimin etkinliğini arttırmak ve eğitime odaklanmayı sağlamak amacıyla beş dakika sürecek hazırlık egzersizleri yapıldı. Bu egzersizler solunum ve gevşeme egzersizlerinin yanı sıra işitsel, görsel, dokunsal ve koku alma duyularını eğitim için hazır hale getirmeyi amaçladı. Örneğin, katılımcılardan bir deniz kenarında olduklarını düşünerek rüzgârı ve ayaklarının kuma değdiğini hissetmeleri, deniz kokusunu almaları ve dalga sesini duymaları yönünde imgeleme yapmaları istendi.

Eğitimdeki talimatlarda Gokeler ve ark. (120) tarafından nöroplastisiteyi destekleme amacıyla belirtilen dört motor öğrenme prensibinin üçü kullanıldı. İlk olarak, “Olabilirdiğinizi sıçrayın” gibi internal odak içeren görev talimatı yerine “Olabilirdiğinizi sıçradığınızı ve asılı olan topa başınızla vurduğunuzu hayal edin” gibi eksternal odak içeren görev talimatları verildi. İkinci olarak, “Ayaklarınız omuz genişliği kadar açık olacak şekilde ayakta durun. Sıçramadan önce dizlerinizi bükün.

Kalçalarınızı, dizlerinizi ve ayak bileklerinizi patlayıcı bir şekilde gövdenize doğru düz bir şekilde uzatın. Her iki dizinizin bükülü şekilde iniş yapın” gibi karmaşık talimatlar yerine “Fırlatılan bir roketmiş gibi yukarı doğru sıçradığınızı ve yumurtaların üzerine düşüyormuşçasına yavaşça iniş yaptığınızı hayal edin” gibi basit ve eğitim yaklaşımıyla uygun talimatlar kullanıldı. Son olarak eğitim bir göz kapalı, ayakkabıyla veya ayakkabısız, kum ve çim gibi farklı zeminlerde, direnç bantları veya ağırlıklı, müsabaka ortamında veya havuz gibi su içerisinde yapılmış gibi farklılaştırıldı. Örneğin transvers düzlemde sağ veya sol taraftan 180⁰ dönerek yapılan sıçramada, sporcuların bir gözleri kapalıyken arkalarında bulunan partnerlerinin sağ veya sol taraftan bırakacağı tenis topunu döner dönmez yakalamaya çalıştıklarını düşünmeleri istendi. Bununla sporcuların eğitime olan dikkatlerinin artırılması hedeflendi. Bir diğer örnek olarak sıcak bir akşamda sporcuların ilgili sıçrama egzersizlerini su içerisinde yaptıklarını hayal etmeleri istendi. Bu imgelemede havuza atladıklarında suyun kendilerini yumuşak bir iniş için yavaşlattığını, zemini iterek yükselmeye çalıştıklarında ise suyun kendilerini hızlı bir şekilde yüzeye doğru fırlattığını düşünmeleri istendi. Bununla sporcuların egzersizleri daha kolay ve yüksek performansta gerçekleştirmeleri hedeflendi. Gökeler ve ark. (120)’ın belli bir sayıda egzersizin yer aldığı listeden sporcunun o gün yapmak istediği egzersizleri kendisinin seçerek uygulamasına yönelik son prensibi, bu çalışmanın belli standartları olan bir bilimsel araştırma olması sebebiyle uygulanamadı. Motor öğrenme prensiplerinin yanı sıra Mİ eğitiminde önemli bir yeri olan ve aşağıda detayları sunulan “PETTLEP” yaklaşımı eğitimin uygulamasında kullanıldı (59,60):

- ⚽ Fiziksel: Sporcular eğitim süresince sportif kıyafetler giyindi. Video çekiminde yer alan sporcunun da uygun kıyafetler giyinmesi sağlandı. Videodaki egzersizler için uygun sportif aletler kullanıldı.
- ⚽ Çevre: Bu madde kapsamında, videoların futbol sahasında çekilmesi sağlandı.
- ⚽ Görev: Beceri düzeyi ve bireysel tercihlere uygunluk kapsamında uygun egzersizler seçildi.
- ⚽ Zamanlama: İmgelemenin tamamlanma hızıdır. Sporcuların ilgili sıçrama aktivitelerini videodaki sporcu ile eş zamanlı olarak olacak şekilde hızlı bir şekilde imgelemeleri istendi.

- ⚽ Öğrenme: Görevler öğrenmeyle güncellendi. Bu kapsamda ilgili egzersizler kademe kademe oluşturuldu. Örneğin egzersiz akışı vertikal ve horizontal sıçramanın önce çift, sonra tek ayakla yapılması şeklinde planlandı.
- ⚽ Duygu: Bireyler eğitim süresince motor öğrenme prensipleri de kullanılarak motive edildi.
- ⚽ Bakış açısı: Eğitimler süresince bireylerin ilgili egzersizleri farklı bakış açılarıyla içsel, dışsal ve kinestetik olarak imgelemeleri istendi.

3.5.3. Pliometrik Eğitimin Değerlendirilmesi

Bu kapsamda eğitime katılım, eğitimin verimliliği ve eğitimdeki motivasyon düzeyi değerlendirildi. Sporcuların eğitime yönelik geri bildirimleri alındı.

- ⚽ Eğitime katılımın değerlendirilmesi: Sporcuların eğitime katılımları eğitimin ilk dört haftalık, ikinci dört haftalık ve tümü üzerinden yapılan kayıtlara göre hesaplandı. Bireysel hesaplamalar yapıldığı gibi aşağıdaki formül kullanılarak grubun tümüne yönelik değerlendirmeler de yapıldı:

Sporcu başına ortalama eğitim seansı = [(Sporcu sayısı) x (İlgili zamanda yer alan eğitim seans sayısı) – (Devamsızlık ve iptal edilen seans sayısı)] / Sporcu sayısı

- ⚽ Eğitim Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Sporcuların eğitime evlerinden katılımları ve böylelikle kendileri için rahat bir ortamın oluştuğu düşünülse de tam anlamıyla standardizasyon sağlanamayacağı gerekçesiyle eğitim verimliliği değerlendirildi. Bu kapsamda yorgunluk ve o güne ait duygusal durum gibi bireysel; internet bağlantısı, ses düzeyi, oda sıcaklığı, ışık, koku vb. gibi eğitimin teknik kalitesini etkileyebilecek dış faktörler göz önünde bulundurularak görsel analog skala yardımıyla 0-10 (0: çok kötü, 10: çok iyi) arasında olacak şekilde her seansın sonunda eğitimin verimliliği değerlendirildi. Katılımcıların 7 puan altında belirttiği seanslar kendileri açısından iptal edildi.

- ⚽ Motivasyon Düzeyinin Değerlendirilmesi: Eğitime katılan sporcuların motivasyon değerlendirmelerinde Tatla ve ark. (121) tarafından geliştirilip Kurt ve Tarsuslu Şimşek (122) tarafından Türkçe geçerlilik ve güvenirliği yapılan Pediatrik Motivasyon Ölçeği kullanıldı (İç tutarlılık katsayısı:0,827; test-tekrar test güvenirliği: 0,960). Değerlendirmede ölçeğin 6 noktalı gülen yüz skalası (1=kesinlikle yanlış, 6=kesinlikle doğru) ile cevap verilen ilk 19 maddesi kullanıldı. Bu ölçek çaba-önem, ilgi-zevk, yeterlilik, ilişki, otonomi ve değer-fayda olmak üzere altı alt boyuttan oluşmaktadır. Yüksek puan yüksek motivasyonu temsil etmektedir.
- ⚽ Eğitime Yönelik Geri Bildirimlerin Alınması: İki farklı eğitim seansı sonrasında sporcuların ne hissettiklerine yönelik geri bildirimleri sohbet ekranından yazılı olarak alındı.

3.6. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında G*Power yazılımının 3.1.9.4 sürümü (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Almanya) kullanıldı. Kas mimarisi için beklenen anlamlı farklar için Coratella ve ark. (123) tarafından yapılan ve Q1 kategorideki dergide yayımlanan randomize kontrollü çalışma dikkate alındı. Sekiz haftalık skuat sıçrama eğitiminin yer aldığı bu çalışmanın sonunda VL kasına ait PA'da %18 ($d=1,03$), KK'de %12 ($d=0,89$) ve LU'da %6 ($d=0,54$) artış olduğu bildirilmekteydi (123). Bu üç kas mimarisi parametresi mevcut araştırmanın primer sonuç ölçütleri olarak kabul edilse de sahip olduğu önem ve PA ile KK ölçümelerini kapsamı bakımından örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında temel olarak LU parametresi seçildi (87,91). Coratella ve ark. (123)'ün çalışmasında PA ve KK'ye kıyasla LU'ya ait olan en düşük etki büyüklüğü, mevcut araştırmadaki sporcuların aktif hareket gerçekleştirmeksizin Mİ+HG temelli PE alacağı dikkate alınarak yarıya indirildi. Bu kapsamda, iki grupta zaman içindeki dört tekrarlı ölçüm arasındaki değişimi incelemek için 0,05 tip-1 hata, 0,80 güç ve 0,25 etki büyüklüğü ile örneklem sayısının toplamda en az 24 olması gerektiği hesaplandı.

3.7. İstatistiksel Analiz

Veri toplama aşamasının ardından çalışmanın istatistiksel analizi SPSS 22.0 yazılımı (Statistical Package for Social Sciences, Inc., Şikago, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılarak yapıldı. Öncelikle araştırmada yer alan veriler normal dağılıma sahip olup olmadıkları yönünden incelendi. Bu incelemede histogram grafiği, varyasyon katsayısı, Kurtosis değeri, Skewness değeri, Detrended plot grafiği ve Shapiro-Wilks testi kullanıldı. Histogram grafiğinin belli bir dengede dağılım göstermesi ve varyasyon katsayısının %30'dan küçük olması verilerin normal dağılımı lehine kabul edildi. Kurtosis ve Skewness değerlerinin standart sapmanın iki katından küçük olması, Detrended plot grafiğinin dağınık bir paterne sahip olması ve Shapiro-Wilks test değerinin 0,05'ten büyük olması normal dağılım lehine olarak dikkate alındı. Normal dağılımın incelenmesini takiben PE ve kontrol gruplarına ait grup içi ve gruplar arası karşılaştırmalar yapıldı. Veriler sayısal olduğundan, yapılan değerlendirmelerde sayısal testler kullanıldı.

Grup içi karşılaştırmalarda bağımlı gruplardaki istatistiksel testler kullanıldı. İki ölçüm karşılaştırılırken veriler normal dağılım gösterirse bağımlı gruplar t testi, normal dağılım göstermezse Wilcoxon testi kullanıldı. Araştırmanın primer amacıyla ilişkili olarak zaman içindeki dört ölçüm arasındaki fark incelenirken veriler normal dağılım gösterdiğinde tekrarlı ölçümler varyans analizi kullanıldı. Önemli fark olması durumunda Bonferroni düzeltmesi ile post-hoc ikili karşılaştırmalar yapıldı. Dört ölçümlü karşılaştırmalar veriler normal dağılım göstermediğinde Friedman testi ile analiz edildi. Bu test ile önemli fark bulunduğunda ikili karşılaştırmalar için Wilcoxon testi kullanıldı. Zaman x grup etkileşimi incelemelerinde iki yönlü tekrarlı ölçümlerde ANOVA kullanıldı. Küresellik varsayımı Mauchly testi ile analiz edildi.

Gruplar arası karşılaştırmalar veriler normal dağılım gösteriyorsa bağımsız gruplar t testi ile, normal dağılım göstermiyorsa Mann-Whitney U testi ile analiz edildi. Korelasyon incelemelerinde karşılaştırılan verilerin her biri normal dağılım gösterdiğinde Pearson analizi, verilerden herhangi bir normal dağılım göstermediğinde ise Spearman analizi tercih edildi. Verilerin değerlendirilmesinde güven aralığı (GA) %95 olarak alındı. Yapılan analizlerde p değerinin 0,05'ten küçük olması önemli farkın göstergesi olarak kabul edildi (124).

4. BULGULAR

4.1. Genel Değerlendirme Sonuçları

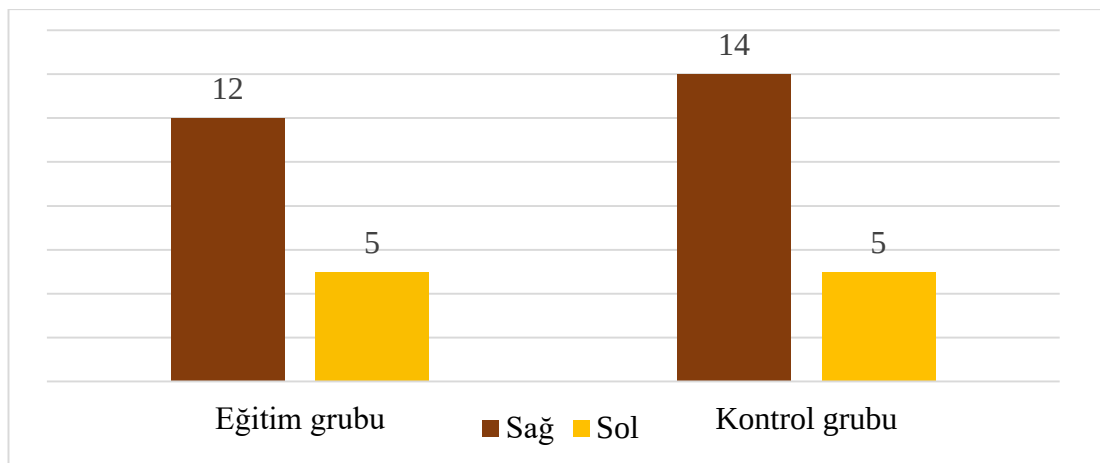
Sporcuların yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı ve beden kütle indeksi özelliklerine ilişkin ortalama±standart sapma değerleri sırasıyla 13,91±1,05 yıl, 162,22±10,20 cm, 52,09±8,33 kg ve 19,71±2,01 kg/m² olarak bulundu. Bu parametreler gruplar arasında benzerdi (p>0,05) (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Sporcuların demografik özellikleri.

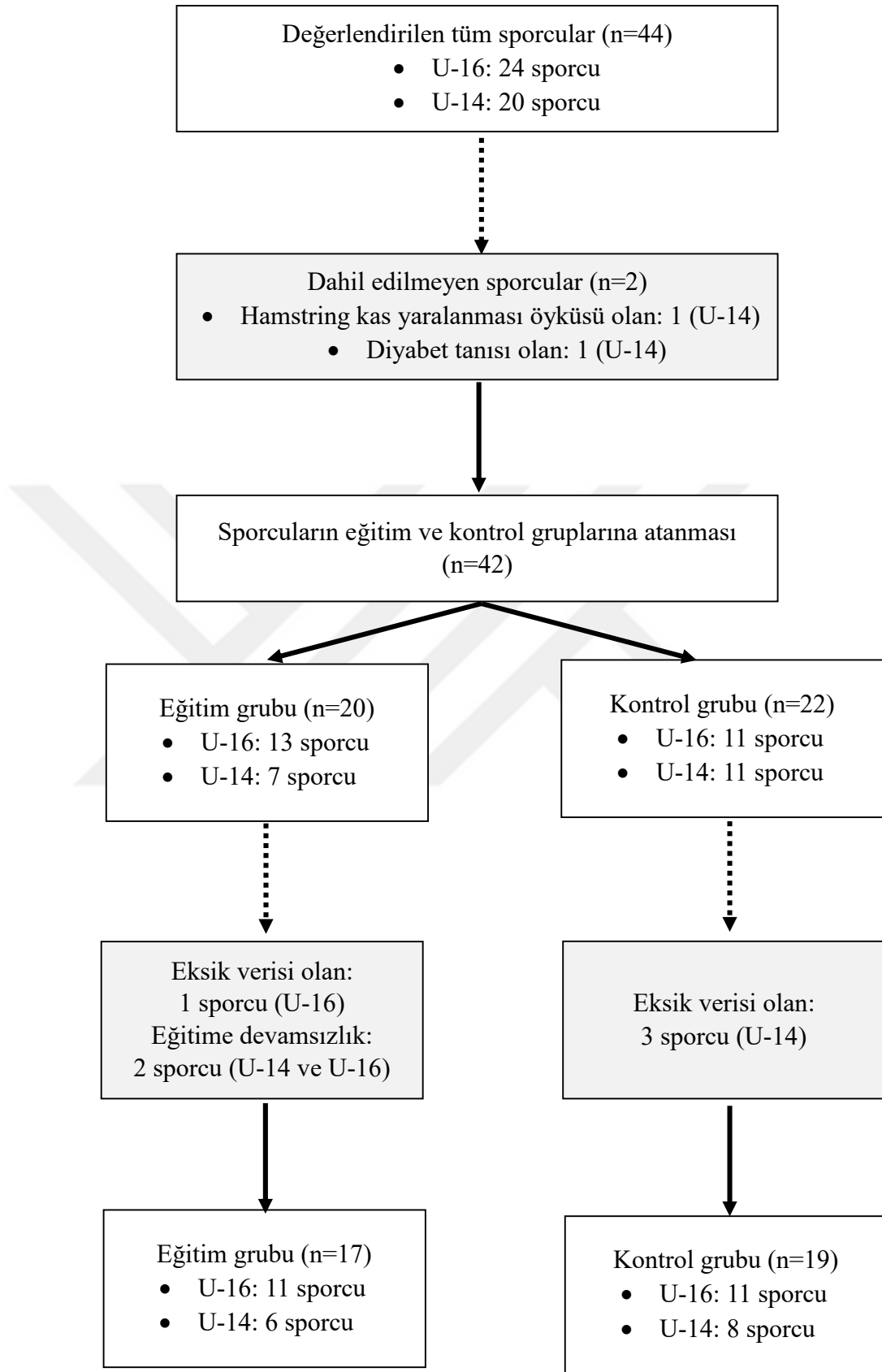
Parametre	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p* değeri
Yaş (yıl)	14,05±1,19	13,78±0,91	0,45
Boy uzunluğu (cm)	164,11±9,42	160,52±10,81	0,30
Vücut ağırlığı (kg)	53,07±8,35	51,21±8,44	0,51
Beden kütle indeksi (kg/m ²)	19,59±1,69	19,81±2,29	0,74

Veriler ortalama±standart sapma olarak gösterildi. *p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi. Analizde bağımsız gruplar t testi kullanıldı.

Araştırmada yer alan sporcuların dominant ve nondominant taraflarına ilişkin bilgiler Şekil 4.1'de, gruplara dağılımlarına yönelik akış şeması Şekil 4.2'de gösterildi.



Şekil 4.1. Sporcuların dominant ve nondominant bilgileri.



Şekil 4.2. Sporcuların gruplara dağılımları.

Araştırmaya başlangıçta dahil edilen sporcuların (n=42) %86'sı (n=36) çalışmayı tamamladı. Bu oran eğitim grubu için %85, kontrol grubu için %86'ydı. Araştırmanın tümünde yer alan sporcular (n=36) ile başlangıçta yer alıp sonradan ayrılan sporcuların (n=6) kas mimarisi ve sıçrama performanslarına ait ilk ölçümler benzerdi ($p>0,05$).

Sporcuların içsel, dışsal ve kinestetik imgeleme yeteneklerine ilişkin gruplar arası karşılaştırmada anlamlı fark yoktu ($p>0,05$). Özyeterlilik düzeyi kontrol grubuna kıyasla eğitim grubunda başlangıçta daha yüksekti ($p=0,02$) (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. İmgeleme ve özyeterlilik düzeylerinin gruplar arası karşılaştırması.

Parametre		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p* değeri
İmgeleme yeteneği	İçsel imgeleme	5,86±0,70	5,73±0,98	0,65
	Dışsal imgeleme	5,91±0,70	5,89±0,54	0,94
	Kinestetik imgeleme	5,20±1,00	5,38±0,95	0,59
Özyeterlilik düzeyi		71,82±7,69	65,66±7,38	0,02

Veriler ortalama±standart sapma olarak gösterildi. *p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi. Analizde bağımsız gruplar t testi kullanıldı.

4.2. Eğitime Yönelik Değerlendirmeler

Eğitime yönelik değerlendirmelerin bulguları eğitime katılım, eğitimin verimliliği, motivasyon ve geri bildirimler başlıkları altında incelendi.

4.2.1. Eğitime Katılımın Değerlendirilmesi

Dahil edilme ve edilmeme kriterlerine göre eğitim grubuna ataması yapılan 20 sporcudan birinin sporu bırakması sebebiyle eğitimlere başlangıçta 19 sporcu katıldı. Bu sporculardan ikisi eğitimin en az %70'lik (17 seans) kısmına katılmadığından çalışma dışı tutuldu. Geri kalan 17 sporcunun ilk dört haftalık süreçte 14 devamsızlık ve düşük eğitim kalitesi sebebiyle iptal edilen 1 eğitim olmak üzere toplamda 15 seanslık eğitimi eksik olarak kaydedildi. Buna göre sporcu başına ilk dört haftalık süreçteki katılım 7-12 seans arasında değişmek üzere ortalama 11,11 seans (%92) olarak hesaplandı.

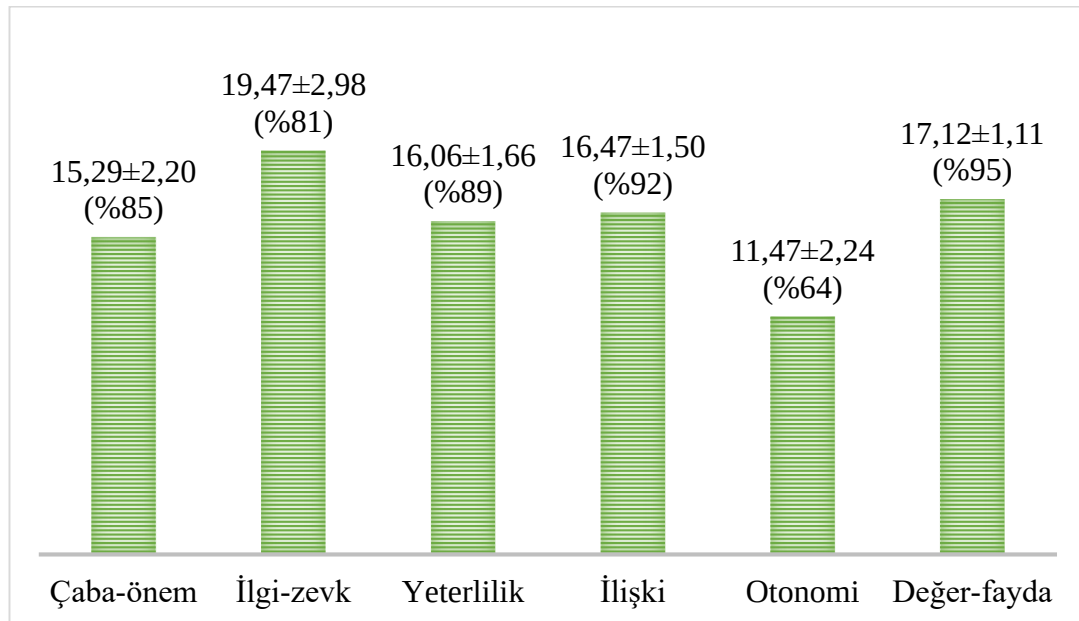
İkinci dört haftalık periyottaki 6 devamsızlık sebebiyle sporcuların bu periyottaki katılımları 10-12 seans arasında değişmek üzere ortalama 11,64 seans (%97) olarak bulundu. Eğitimin tümü açısından değerlendirildiğinde katılım sayısı ortalama 22,75 seans (%95) olarak hesaplandı. Sporcu özelinde değerlendirildiğinde 17 sporcunun 8'i 24 seanslık eğitimin tamamına, geri kalan 9 sporcudan 5'i 23 (%96), 2'si 22 (%92), 1'i 19 (%79) ve yine 1'i 17 (%71) eğitime katıldı.

4.2.2. Eğitim Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Sporcuların eğitimin verimliliğine yönelik değerlendirmeleri ilk dört haftalık periyot için ortalama $8,99 \pm 0,43$ (8,38-9,92), ikinci dört haftalık periyot için ortalama $9,32 \pm 0,38$ (8,50-9,96) olarak hesaplandı. Eğitimin tümüne yönelik verimlilik değerlendirmesi $9,16 \pm 0,39$ (8,66-9,92) olarak bulundu.

4.2.3. Eğitim Motivasyonunun Değerlendirilmesi

Sporcuların katıldıkları eğitim seanslarına yönelik motivasyonlarının toplam skoru $95,88 \pm 7,54$ (%84) olarak hesaplandı. Alt boyutlara ait ortalama $\pm$ standart sapma puanları ile bu puanların ilgili alt boyutlarda alınabilecek en yüksek puan açısından yüzdelik oranları (%64-%95) Şekil 4.3'te gösterildi.



Şekil 4.3. Motivasyon ölçeğinin alt boyutlarına ait ortalama değerler.

4.2.4. Eğitime İlişkin Sporcuların Geri Bildirimleri

Sporcuların eğitimdeki hislerine ve düşüncelerine yönelik ifadeleri aşağıda belirtildi.

“Yorgunluk hissettim”

“Titreşim ve gerilme hissettim”

“Gelişmiş hissettim”

“Kafa topundan inerken bacağımın titrediğini hissettim”

“Çok hafif bir dürtülme hissettim”

“Garip bir hissiyattı”

“Topuk ağrısı hissettim”

“Diz kapağımın titrediğini hissettim”

“Sol ayağымda zorlandım”

“Birisi bacağımı gıdıklıyor gibi hissettim”

“Hafif bir ısınma gibiydi.”

“Başım ağırdı, kaslarımda hafif bir sertlik hissettim”

“Adalelerimde yorgunluk hissettim”

“Genel olarak dizlerim yoruldu”

“Ön adaleimde titreme hissettim”

“Ağırlıkla yaptığımı hayal edince daha çok zorlandım”

“Baldırlarımda titreme ve ağrı hissettim”

“Havuzda yaptığımı güzel hayal edebildim”

“Tek ayak sıçramalarda alt adalelerimin daha çok yorulduğunu hissettim”

4.3. Kas Mimarisi Değerlendirmeleri

Eğitim grubundaki sporcuların kas mimarisi parametrelerinin zaman içindeki dört ölçümü incelendiğinde her iki taraf VL kasına ait PA ve KK parametreleri açısından önemli fark vardı ($p<0,05$). İlk dört hafta sonunda sporcuların VL PA'ları ile VL KK'leri başlangıca göre daha yüksekti ($p<0,05$). Bu durum dominant taraf VL KK ve nondominant taraf VL PA açısından başlangıca kıyasla eğitim sonu için de geçerliydi ($p<0,05$). VL LU için ölçümler arasında önemli fark yoktu ($p>0,05$). Nondominant tarafa yönelik incelemede, başlangıca kıyasla orta, son ve takip ölçümlerinin daha düşük olduğu görüldü ($p<0,05$). BFub kas mimarisi açısından incelendiğinde dominant taraf KK parametresi bakımından ölçümler arasında önemli fark olduğu bulundu ($p=0,03$). Bu farkın başlangıç ölçümü ile orta, son ve takip ölçümleri arasında olduğu görüldü ($p<0,05$). BFub kasına ait PA ve LU iki tarafta da önemli değişim göstermedi ($p>0,05$). Eğitim grubundaki sporcuların kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması dominant taraf için Tablo 4.3'te, nondominant taraf için Tablo 4.4'te gösterildi. U-14 ve U-16 takımlarında yer alan sporcuların kas mimarisi parametrelerine ait ilk ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu ($p>0,05$).

Tablo 4.3. Eğitim grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması.

Parametreler		Dominant taraf				
		İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
VL	PA (°)	14,07±3,28	16,47±2,91	16,37±4,65	17,47±3,37	0,03 ⁺
	KK (cm)	1,89±0,21	2,03±0,20	2,07±0,23	2,10±0,21	<0,01 ⁺
	LU (cm)	10,26±3,89	9,48±3,53	9,53±3,53	8,36±3,37	0,11 ⁻
BFub	PA (°)	13,83±3,42	15,98±2,19	15,25±3,65	15,43±4,14	0,44 ⁺
	KK (cm)	1,99±0,27	2,19±0,18	2,15±0,28	2,17±0,31	0,03 ⁺
	LU (cm)	10,32±3,89	9,60±3,12	11,95±5,68	11,47±5,79	0,45 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi. ⁻Friedman Testi

Tablo 4.4. Eğitim grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması.

Parametreler		Nondominant taraf				
		İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
VL	PA (°)	14,28±2,95	17,59±3,91	17,55±3,42	16,51±3,72	<0,01 ⁺
	KK (cm)	1,86±0,19	2,10±0,22	2,02±0,28	2,12±0,29	<0,01 ⁺
	LU (cm)	9,47±3,23	8,82±4,35	7,70±1,95	9,18±3,30	0,20 ⁻
BFub	PA (°)	14,07±4,46	16,01±2,41	15,83±2,95	15,91±3,01	0,30 ⁺
	KK (cm)	1,98±0,36	2,11±0,27	2,11±0,30	2,13±0,40	0,26 ⁺
	LU (cm)	10,03±2,88	8,80±1,97	9,15±3,06	8,97±2,41	0,98 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi. Friedman Testi

Eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf kas mimari parametrelerinin ölçümler arası ikili karşılaştırmalarına ait etki büyüklüğü değerleri (Cohen d) dominant taraf için Tablo 4.5'te, nondominant taraf için Tablo 4.6'da gösterildi.

Tablo 4.5. Eğitim grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

Parametre		Dominant taraf					
		İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
VL	PA	0,77*	0,57	1,02*	-0,03	0,32	0,27
	KK	0,68*	0,82*	1,00*	0,19	0,34	0,14
	LU	-0,21	-0,20	-0,52	0,01	-0,32	-0,34
BFub	PA	0,75	0,40	0,42	-0,24	-0,17	0,04
	KK	0,87*	0,58*	0,62*	-0,17	-0,08	0,07
	LU	-0,20	0,33	0,23	0,51	0,40	-0,08

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6. Eğitim grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

Parametre		Nondominant taraf					
		İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
VL	PA	0,84*	0,86*	0,58	-0,01	-0,28	-0,29
	KK	1,17*	0,67	1,06*	-0,32	0,08	0,35
	LU	-0,17	0,66	-0,09	-0,33	0,09	0,55
BFub	PA	0,54	0,47	0,48	-0,07	-0,04	0,03
	KK	0,41	0,39	0,39	0	0,06	0,06
	LU	-0,50	-0,30	-0,40	0,14	0,08	-0,06

VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

Eğitim grubunda önemli farkların görüldüğü ölçümlerdeki etki büyüklüğü değerleri dominant taraf için 0,58-1,02 arasında, nondominant taraf için 0,53 ile 1,17 arasında değişiklik gösterdi. Mevcut araştırmanın örneklem büyüklüğüne yönelik hesaplama yapılırken 0,25 olarak kabul edilen LU'nun araştırma sonrasındaki etki büyüklüğünün VL için 0,17-0,66; BFub için ise 0,20-0,50 arasında değişiklik gösterdiği bulundu. Bu kapsamda araştırmanın gücünün 0,65-0,99 arasında değiştiği hesaplandı.

Kontrol grubundaki sporcuların VL kasına ait PA ve LU'nun zamana bağlı değişimi bakımından önemli fark olmasa da her iki taraf VL KK açısından önemli değişim vardı ($p<0,05$). Bu değişimin hangi ölçümlerden kaynaklandığına yönelik yapılan karşılaştırmalarda dominant tarafa ait takip ölçümü ile ilk ve son ölçümler arasında önemli fark olduğu bulundu ($p<0,05$). Benzer artış diğer tarafa ait takip ölçümleri ile ilk ve son ölçümler arasında da geçerliydi ($p<0,05$). BFub kas mimarisi açısından her iki tarafta da PA, KK ve LU parametreleri açısından ölçümler arasında önemli bir fark yoktu ($p>0,05$). Kontrol grubundaki sporcuların kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması dominant taraf için Tablo 4.7'de, nondominant taraf için Tablo 4.8'de gösterildi.

Tablo 4.7. Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması.

Parametreler		Dominant taraf				
		İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
VL	PA (°)	16,09±3,48	16,66±2,56	15,20±3,23	17,50±3,59	0,06 ⁺
	KK (cm)	1,93±0,26	2,03±0,31	1,97±0,26	2,05±0,25	0,01 ⁺
	LU (cm)	8,18±2,59	8,18±1,74	9,07±2,48	8,16±2,71	0,37 ⁻
BFub	PA (°)	14,29±3,37	15,88±3,72	15,66±3,20	17,29±3,33	0,07 ⁺
	KK (cm)	1,96±0,30	1,96±0,30	1,88±0,17	1,96±0,28	0,51 ⁺
	LU (cm)	10,10±3,29	8,92±3,01	9,42±3,72	8,69±3,38	0,31 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi. ⁻Friedman Testi

Tablo 4.8. Kontrol grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerine ait ölçümlerin zaman içindeki karşılaştırması.

Parametreler		Nondominant taraf				
		İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
VL	PA (°)	15,44±2,67	15,96±2,78	15,23±3,19	17,30±2,39	0,07 ⁺
	KK (cm)	2,00±0,31	2,02±0,23	1,95±0,25	2,11±0,24	0,01 ⁺
	LU (cm)	9,06±2,91	8,57±1,74	9,17±3,00	8,28±1,85	0,66 ⁻
BFub	PA (°)	13,88±3,31	14,12±2,51	14,37±2,54	16,96±4,72	0,20 ⁻
	KK (cm)	1,89±0,34	1,96±0,24	1,81±0,24	1,95±0,26	0,15 ⁺
	LU (cm)	9,55±2,51	9,45±2,15	9,21±2,80	8,55±3,87	0,18 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi. ⁻Friedman Testi

Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf kas mimari parametrelerinin ölçümler arası ikili karşılaştırmalarına ait etki büyüklüğü değerleri dominant taraf için Tablo 4.9’da, nondominant taraf için Tablo 4.10’da gösterildi. Bu değerler anlamlı farkın olduğu ölçümler için 0,31-0,65 arasında değişiklik gösterdi.

Tablo 4.9. Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

Parametre		Dominant taraf					
		İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
VL	PA	0,19	-0,27	0,40	-0,50	0,27	0,67
	KK	0,35	0,15	0,47*	-0,21	0,07	0,31*
	LU	0	0,35	-0,01	0,42	-0,01	-0,35
BFub	PA	0,45	0,42	0,90	-0,06	0,40	0,50
	KK	0	0,33	0	-0,33	0	0,35
	LU	-0,37	-0,19	-0,42	0,15	-0,07	-0,21

VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05’ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

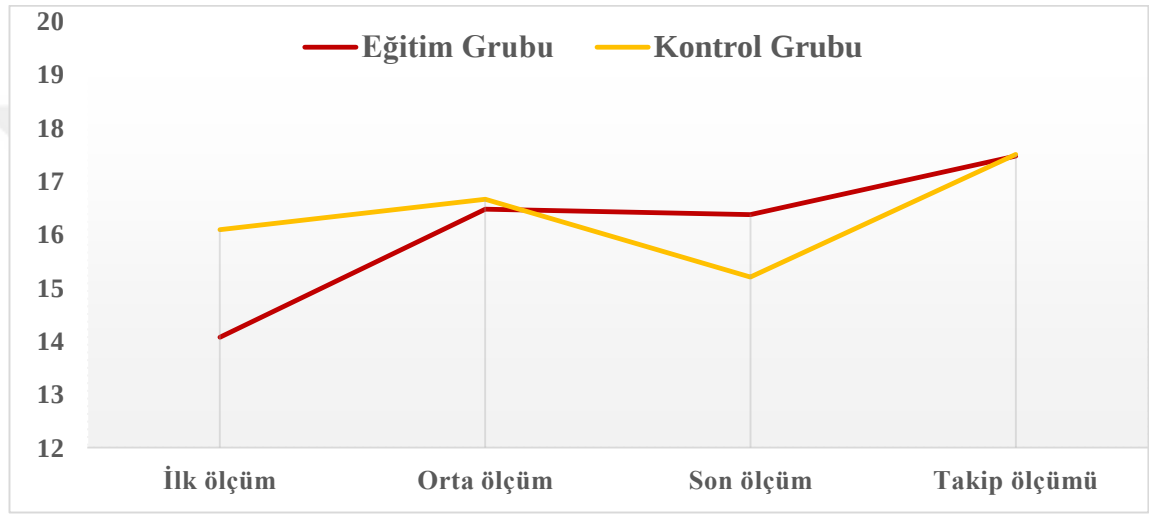
Tablo 4.10. Kontrol grubundaki sporcuların nondominant taraf kas mimarisi parametrelerinin karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

Parametre		Nondominant taraf					
		İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
VL	PA	0,19	-0,07	0,73	-0,24	0,52	0,73
	KK	0,07	-0,18	0,40	0,29	0,38	0,65
	LU	-0,20	0,04	-0,32	0,24	-0,16	-0,36
BFub	PA	0,08	0,17	0,76	0,01	0,75	0,68
	KK	0,24	-0,27	0,20	-0,63	-0,04	0,56
	LU	0,04	0,13	0,31	-0,01	-0,29	-0,20

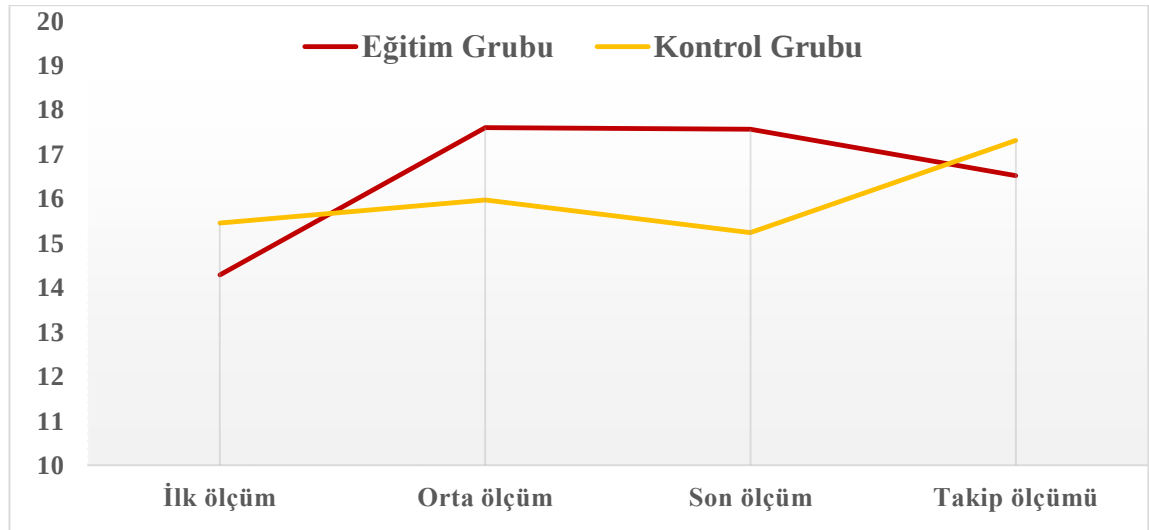
VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05’ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

Kas mimarisi parametrelerinin gruptaki zaman içindeki değişimi dörder haftalık dönemler halinde grafiksel incelendiğinde, VL PA'nın ilk dört haftalık süreçte eğitim grubunda önemli düzeyde olmak üzere ($p<0,05$) her iki grupta da dominant ve nondominant tarafta arttığı görüldü. VL PA'daki bu artışın ikinci dört haftalık periyotta eğitim grubunda yatay olarak seyrederek takip süresince dominant taraf için artışa, nondominant taraf için ise azalışa geçtiği görüldü ($p>0,05$). Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf VL kaslarına ait PA değerleri ikinci dört haftalık süreçte azalış, takip süresince ise artış eğilimindeydi ($p>0,05$) (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

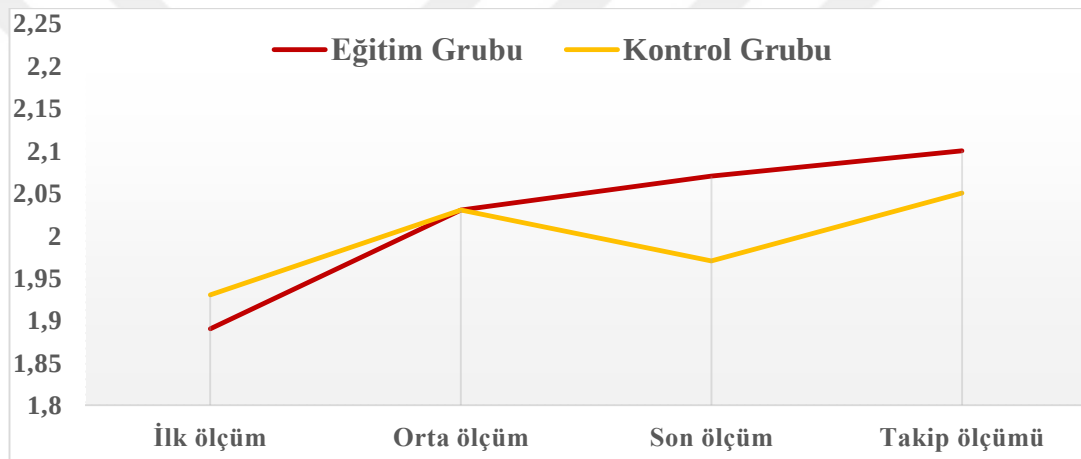


Şekil 4.4. Dominant taraf VL PA'nın gruptaki zaman içindeki değişimi.

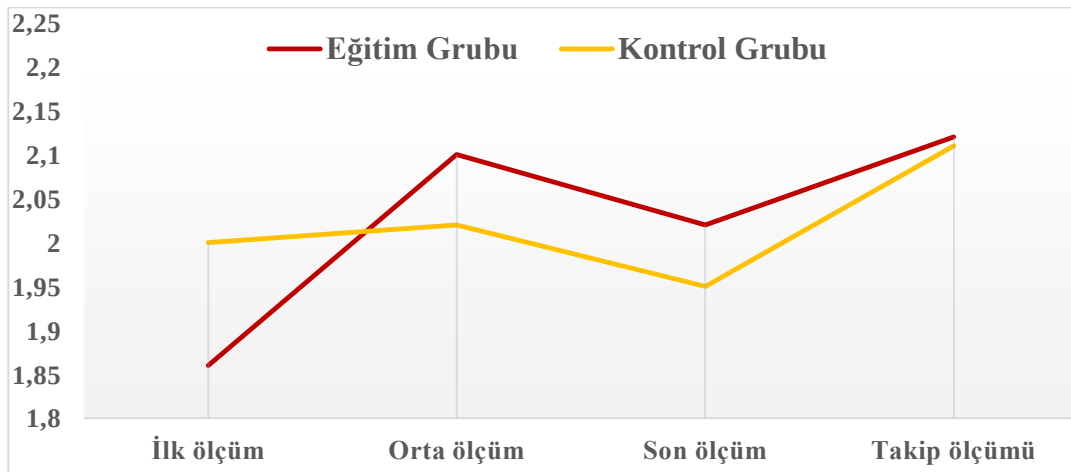


Şekil 4.5. Nondominant taraf VL PA'nın gruptaki zaman içindeki değişimi.

VL KK'nin gruptaki zaman içindeki değişimi grafiksel olarak incelendiğinde, ilk dört haftalık süreçte eğitim grubunda önemli düzeyde olmak üzere ($p<0,05$) her iki grupta da dominant ve nondominant tarafa ait VL KK'nin arttığı görüldü. İkinci dört haftalık süreçte kontrol grubuna ait her iki taraf VL KK'de azalış olduğu bulundu ($p>0,05$). Benzer durum eğitim grubundaki sporcuların nondominant taraf VL KK'leri için geçerli olsa da bu parametreye ilişkin son ölçümler başlangıca kıyasla yine yüksekti ($p>0,05$). Eğitim grubunun dominant taraf VL KK'si önceki sürece kıyasla daha yatay yönlü olmak üzere artışını ikinci dört haftalık süreçte de sürdürdü ($p>0,05$). Takip dönemi süresince kontrol grubunda önemli düzeyde olmak üzere ($p<0,05$) her iki grupta da artışlar vardı (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).

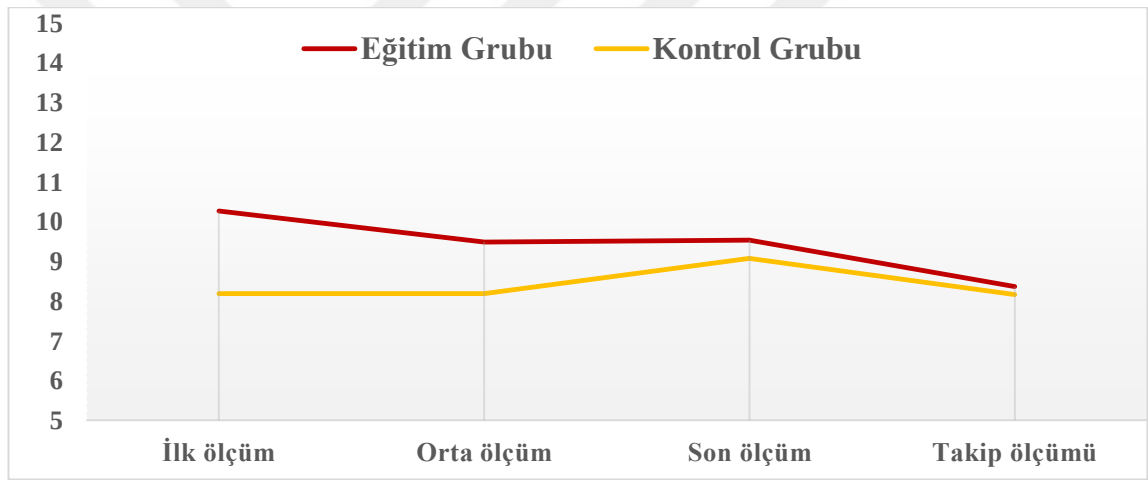


Şekil 4.6. Dominant taraf VL KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi.

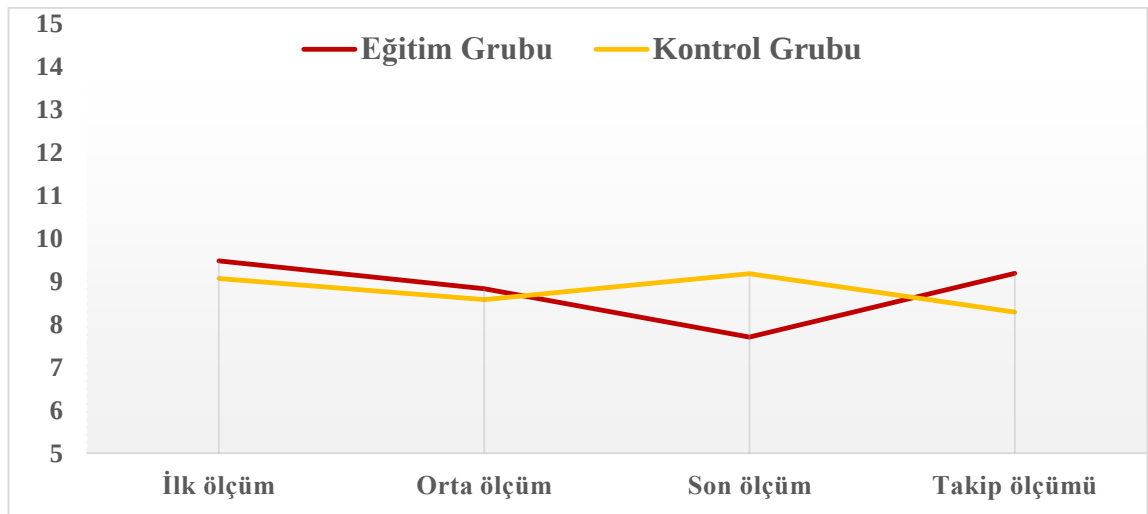


Şekil 4.7. Nondominant taraf VL KK'nin gruplardaki zaman içindeki değişimi.

VL LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi grafiksel olarak incelendiğinde, eğitim grubundaki sporcuların dominant taraf VL LU'ları ilk dört hafta, nondominant taraf VL LU'ları eğitim boyunca azalış gösterdi ($p>0,05$). Dominant taraf LU'daki azalışın takip ölçümü süresince devam ettiği, fakat nondominant tarafta takip süresince görülen artışla başlangıç seviyesine yakın bir düzeye dönüldüğü bulundu ($p>0,05$). Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf VL LU'larının ilk dört hafta yatay yönlü seyredip ikinci dört haftalık süreçte artış gösterdiği, sonrasında ise eğitim grubuna benzer şekilde düşüşe geçtiği görüldü ($p>0,05$). Nondominant taraf VL LU'nun değişken bir seyir izlediği, takip ölçümleri sonundaki durumunun başlangıçtakine yakın olduğu bulundu ($p>0,05$) (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).

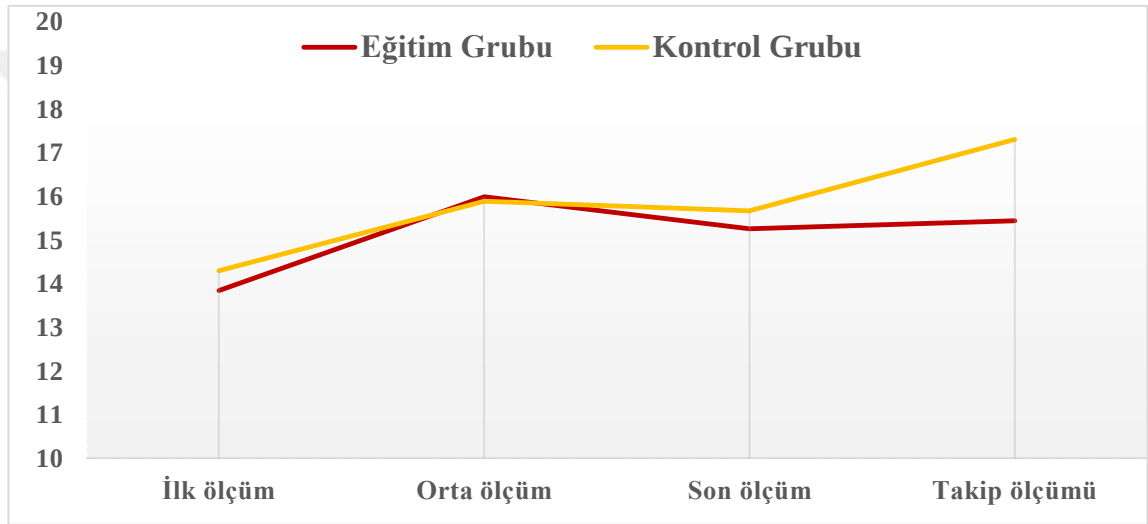


Şekil 4.8. Dominant taraf VL LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi.

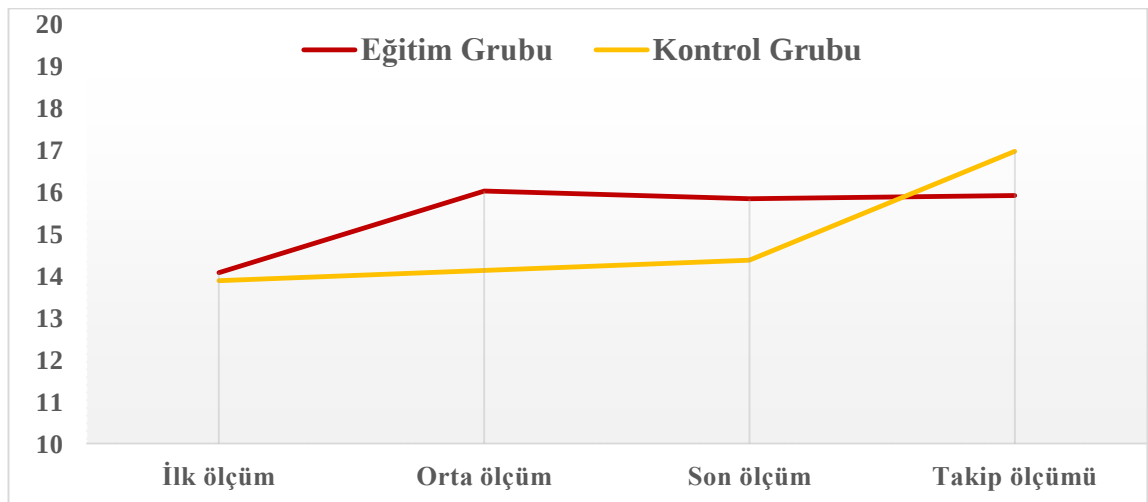


Şekil 4.9. Nondominant taraf VL LU'nun gruplardaki zaman içindeki değişimi.

BFub PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi dönemsel olarak incelendiğinde, dominant taraf PA'nın her iki grupta ilk sekiz haftalık süreçte oldukça benzer yönlü seyrettiği ve başlangıca kıyasla artış sağladığı görüldü ($p>0,05$). Takip süresince kontrol grubunda artış sürerken, eğitim grubunda yatay yönlü seyir vardı ($p>0,05$). Nondominant taraf BFub PA'nın ise eğitim grubunda ilk dört haftada artış gösterdiği, bu noktadan sonra yatay yönlü seyrettiği bulundu ($p>0,05$). Kontrol grubundaki sporcuların BFub PA'larının ilk sekiz haftalık süreçte artış eğiliminde olduğu, bunun takip ölçümü süresince belirginleştiği görüldü ($p>0,05$) (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

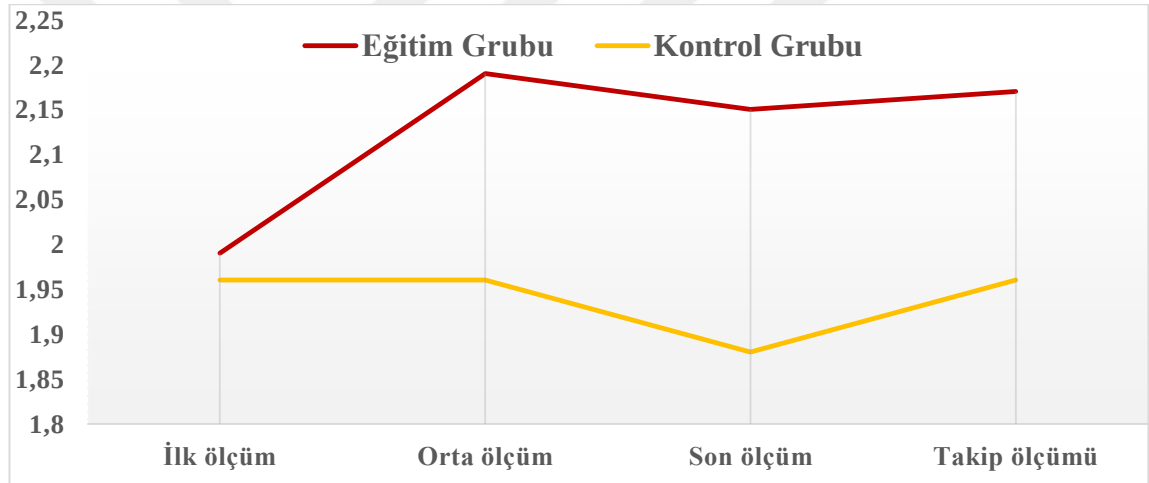


Şekil 4.10. Dominant taraf BFub PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi.

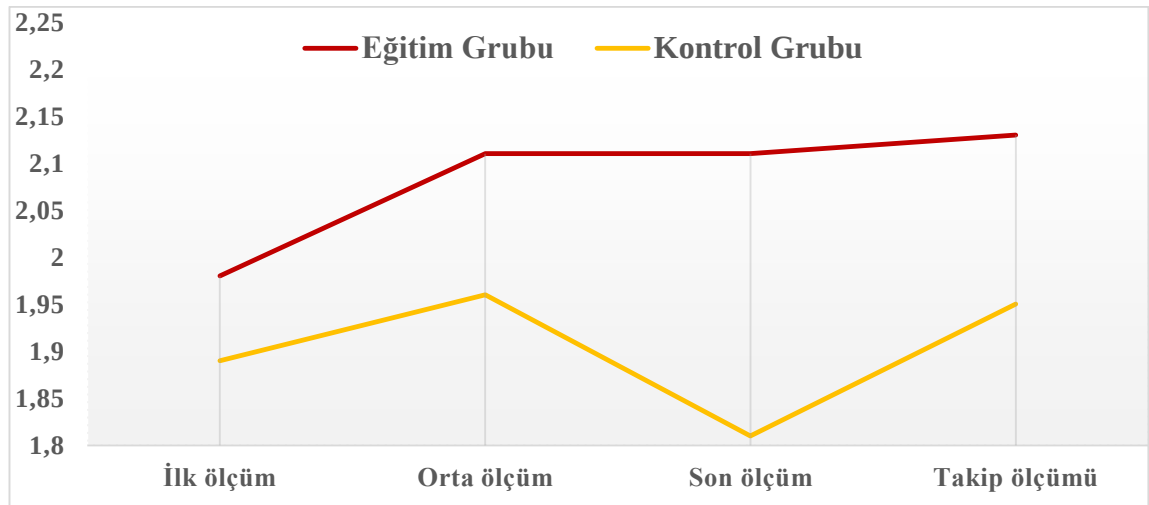


Şekil 4.11. Nondominant taraf BFub PA'nın gruplardaki zaman içindeki değişimi.

BFub KK'nin gruptaki zaman içindeki değişimi grafiksel olarak incelendiğinde, eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf BFub KK'lerinin dominant tarafta önemli düzeyde olmak üzere ($p<0,05$) ilk dört haftalık süreçte arttığı bulundu. Bu noktanın ardından dominant taraf BFub KK'de kısmi bir azalış olsa da başlangıçtaki artışın korunduğu ve takip sürecince devam ettiği görüldü ($p>0,05$). Nondominant taraf BFub KK'nin ikinci dört haftalık süreçte daha çok yatay yönlü seyrettiği ve takip süresince artış eğiliminde olduğu görüldü ($p>0,05$). Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf KK'lerinin ilk dört haftalık süreçte yatay, nondominant taraf KK'lerinin ise eğitim grubundakine benzer şekilde artış yönlü seyrettiği görüldü ($p>0,05$). Her iki taraf BFub KK'ler ikinci dört haftalık süreçte azalış, takip ölçümü süresince artış eğilimindeydi ($p>0,05$) (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).

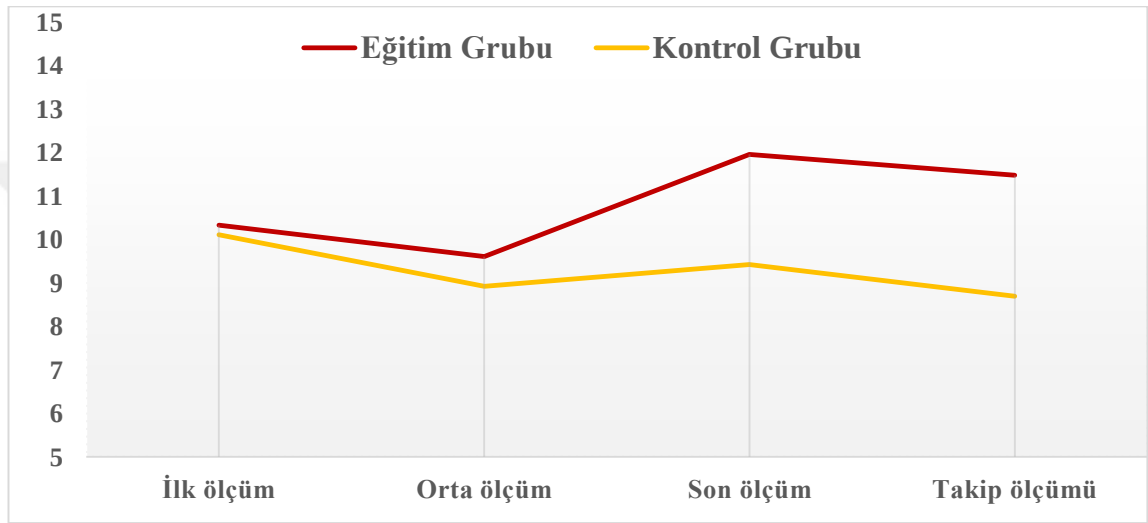


Şekil 4.12. Dominant taraf BFub KK'nin gruptaki zaman içindeki değişimi.

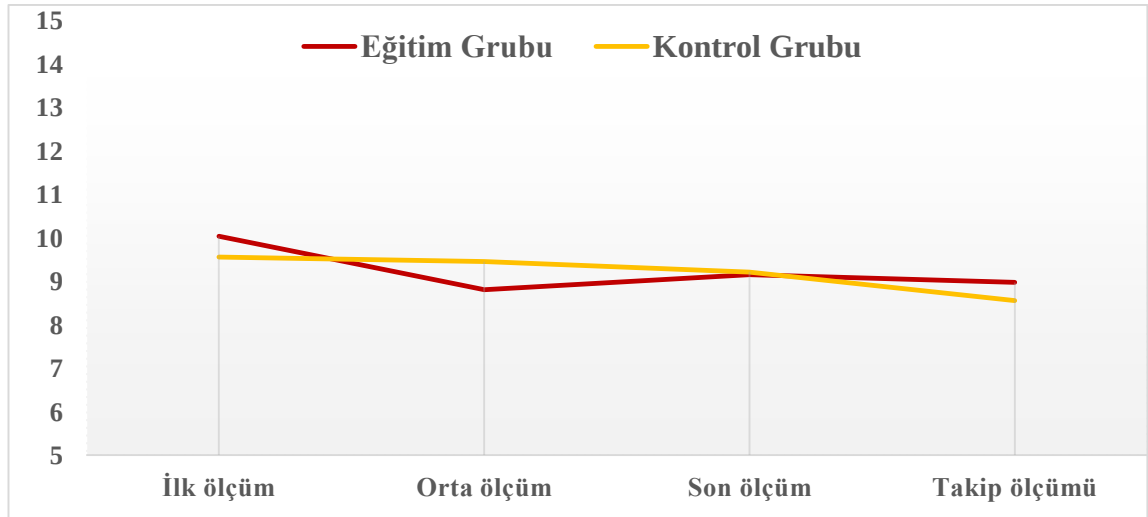


Şekil 4.13. Nondominant taraf BFub KK'nin gruptaki zaman içindeki değişimi.

BFub LU'nun gruptaki zaman içindeki değişimi grafiksel olarak incelendiğinde, dominant taraf BFub LU'nun her iki grupta ilk dört haftalık süreçte azalış, ikinci dört haftalık süreçte artış ve takip ölçümü süresince yine artış yönlü seyrettiği bulundu ($p>0,05$). Bu yönlü değişimlerin daha düşük belirginlikte olsa da eğitim grubunun nondominant tarafı için de geçerli olduğu, kontrol grubundaki sporcuların nondominant tarafları için yatay görünüme yakın şekilde seyrettiği görüldü ($p>0,05$) (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Dominant taraf BFub LU'nun gruptaki zaman içindeki değişimi.



Şekil 4.15. Nondominant taraf BFub LU'nun gruptaki zaman içindeki değişimi.

Kas mimarisine ait ilk ölçümlerin U-14 ve U-16 takımları arasındaki gruplar arası karşılaştırmalarında anlamlı fark yoktu ($p>0,05$). Eğitim ve kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalarda ise dominant taraf VL kasına ait LU kontrol grubuna kıyasla eğitim grubunda daha fazlaydı ($p<0,05$). Orta ölçümlerin gruplar arası karşılaştırmasında dominant taraf BFub KK ile diğer taraf BFub PA eğitim grubunda daha fazlaydı ($p<0,05$) (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Kas mimarisi parametrelerinin gruplar arası karşılaştırması.

Parametre		İlk ölçüm			Orta ölçüm		
		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
VL	DT PA (°)	14,07±3,28	16,09±3,48	0,09 ⁺	16,47±2,91	16,66±2,56	0,84 ⁺
	DT KK (cm)	1,89±0,21	1,93±0,26	0,58 ⁺	2,03±0,20	2,03±0,31	0,93 ⁺
	DT LU (cm)	10,26±3,89	8,18±2,59	0,03 ⁻	9,48±3,53	8,18±1,74	0,32 ⁻
	NT PA (°)	14,28±2,95	15,44±2,67	0,23 ⁺	17,59±3,91	15,96±2,78	0,16 ⁺
	NT KK (cm)	1,86±0,19	2,00±0,31	0,13 ⁺	2,10±0,22	2,02±0,23	0,28 ⁺
	NT LU (cm)	9,47±3,23	9,06±2,91	0,77 ⁻	8,82±4,35	8,57±1,74	0,42 ⁻
BFub	DT PA (°)	13,83±3,42	14,29±3,37	0,69 ⁺	15,98±2,19	15,88±3,72	0,92 ⁺
	DT KK (cm)	1,99±0,27	1,96±0,30	0,80 ⁺	2,19±0,18	1,96±0,30	<0,01 ⁺
	DT LU (cm)	10,32±3,89	10,10±3,29	0,86 ⁺	9,60±3,12	8,92±3,01	0,24 ⁻
	NT PA (°)	14,07±4,46	13,88±3,31	0,66 ⁻	16,01±2,41	14,12±2,51	0,03 ⁺
	NT KK (cm)	1,98±0,36	1,89±0,34	0,43 ⁺	2,11±0,27	1,96±0,24	0,09 ⁺
	NT LU (cm)	10,03±2,88	9,55±2,51	0,60 ⁺	8,80±1,97	9,45±2,15	0,36 ⁺

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Bağımsız gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

Tablo 4.11. Kas mimarisi parametrelerinin gruplar arası karşılaştırması (Devam ediyor).

Parametre		Son ölçüm			Takip ölçümü		
		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
VL	DT PA (°)	16,37±4,65	15,20±3,23	0,39 ⁺	17,47±3,37	17,50±3,59	0,98 ⁺
	DT KK (cm)	2,07±0,23	1,97±0,26	0,23 ⁺	2,10±0,21	2,05±0,25	0,64 ⁺
	DT LU (cm)	9,53±3,53	9,07±2,48	0,87 ⁻	8,36±3,37	8,16±2,71	0,92 ⁻
	NT PA (°)	17,55±3,42	15,23±3,19	0,04 ⁺	16,51±3,72	17,30±2,39	0,46 ⁺
	NT KK (cm)	2,02±0,28	1,95±0,25	0,47 ⁺	2,12±0,29	2,11±0,24	0,93 ⁺
	NT LU (cm)	7,70±1,95	9,17±3,00	0,08 ⁻	9,18±3,30	8,28±1,85	0,49 ⁻
BFub	DT PA (°)	15,25±3,65	15,66±3,20	0,73 ⁺	15,43±4,14	17,29±3,33	0,15 ⁺
	DT KK (cm)	2,15±0,28	1,88±0,17	<0,01 ⁺	2,17±0,31	1,96±0,28	0,04 ⁺
	DT LU (cm)	11,95±5,68	9,42±3,72	0,32 ⁻	11,47±5,79	8,69±3,38	0,13 ⁻
	NT PA (°)	15,83±2,95	14,37±2,54	0,13 ⁺	15,91±3,01	16,96±4,72	0,45 ⁺
	NT KK (cm)	2,11±0,30	1,81±0,24	<0,01 ⁺	2,13±0,40	1,95±0,26	0,13 ⁺
	NT LU (cm)	9,15±3,06	9,21±2,80	0,97 ⁻	8,97±2,41	8,55±3,87	0,24 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Bağımsız gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

Son ölçümlerin gruplar arası karşılaştırmasında VL kasına ait nondominant taraf PA ile, BFub kasına ait her iki taraf KK parametreleri açısından anlamlı fark vardı ($p < 0,05$). Takip ölçümlerinin gruplar arası karşılaştırmasında dominant taraf BFub KK eğitim grubunda daha yüksekti ($p = 0,04$). Dört ölçüme yönelik diğer karşılaştırmalarda anlamlı fark yoktu ($p > 0,05$).

Dominant taraf BFub KK ($p=0,04$) ile nondominant taraf VL kasının PA ($p=0,03$) ve KK ($p<0,01$) parametreleri için zaman x grup etkileşimleri bulundu. Bu etkileşimler, ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırılmaları açısından da anlamlı düzeydeydi ($p<0,05$).

Tablo 4.12. Kas mimarisi parametrelerindeki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması.

Parametre		Orta ölçüm-İlk ölçüm			Son ölçüm-İlk ölçüm		
		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
VL	DT PA (°)	2,40±3,45	0,59±4,61	0,20 ⁺	2,31±5,13	-0,69±3,80	0,06 ⁺
	DT KK (cm)	0,15±0,19	0,10±0,23	0,48 ⁻	0,19±0,23	0,04±0,25	0,08 ⁻
	DT LU (cm)	-0,77±5,24	0,03±3,46	0,31 ⁻	-0,73±4,46	0,83±2,54	0,22 ⁺
	NT PA (°)	3,32±3,75	0,65±3,81	0,50 ⁺	3,27±3,71	-0,15±4,96	0,03 ⁺
	NT KK (cm)	0,24±0,23	0,01±0,26	0,01 ⁺	0,16±0,24	-0,07±0,24	0,01 ⁺
	NT LU (cm)	-0,65±3,78	-0,74±2,56	0,99 ⁻	-1,77±2,34	0,36±4,54	0,09 ⁺
BFub	DT PA (°)	2,16±4,11	1,22±4,43	0,52 ⁺	1,16±3,76	1,58±4,96	0,78 ⁺
	DT KK (cm)	0,21±0,31	-0,02±0,20	0,03 ⁻	0,17±0,23	-0,08±0,27	0,01 ⁺
	DT LU (cm)	-0,72±5,34	-1,03±3,05	0,83 ⁺	2,14±6,48	-0,30±5,05	0,24 ⁺
	NT PA (°)	1,94±5,66	0,30±3,69	0,32 ⁺	1,75±5,13	0,73±3,99	0,22 ⁻
	NT KK (cm)	0,13±0,34	0,08±0,35	0,71 ⁺	0,13±0,39	-0,04±0,30	0,17 ⁺
	NT LU (cm)	-1,23±3,82	-0,06±2,99	0,32 ⁺	-0,89±4,14	-0,20±3,21	0,59 ⁺

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi

⁺Bağımsız gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

Buna göre, orta ve son ölçümlerin ilk ölçümlerle arasındaki farklar nondominant taraf VL KK ile dominant taraf BFub KK açısından kontrol grubuna kıyasla eğitim grubunda daha yüksekti ($p<0,05$). Benzer durum son ölçüm-ilk ölçüm arasındaki fark açısından nondominant taraf VL kasının PA parametresi açısından geçerliydi ($p<0,05$) (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Kas mimarisi parametrelerindeki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması (Devam ediyor).

Parametre		Takip ölçümü-İlk ölçüm			Son ölçüm-Orta ölçüm		
		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
VL	DT PA (°)	3,41±4,88	1,86±4,23	0,33 ⁺	-0,09±5,37	-1,58±4,22	0,37 ⁺
	DT KK (cm)	0,21±0,21	0,14±0,22	0,34 ⁺	0,04±0,23	-0,06±0,17	0,15 ⁺
	DT LU (cm)	-1,90±5,42	-0,16±3,63	0,74 ⁻	0,04±4,77	0,95±3,30	0,51 ⁺
	NT PA (°)	2,23±3,99	2,07±3,77	0,90 ⁺	-0,05±4,69	-0,85±3,49	0,57 ⁺
	NT KK (cm)	0,26±0,28	0,09±0,16	0,04 ⁺	-0,08±0,14	-0,06±0,14	0,64 ⁺
	NT LU (cm)	-0,29±3,42	-0,99±3,38	0,55 ⁺	-1,12±4,05	0,67±2,40	0,43 ⁻
BFub	DT PA (°)	1,60±6,21	3,04±4,41	0,44 ⁺	-0,62±2,83	-0,31±4,69	0,82 ⁺
	DT KK (cm)	0,19±0,29	0,00±0,32	0,09 ⁺	-0,04±0,25	-0,09±0,20	0,43 ⁻
	DT LU (cm)	1,15±7,70	-1,15±4,67	0,19 ⁻	2,23±4,50	0,45±3,57	0,21 ⁻
	NT PA (°)	1,84±5,98	3,19±4,04	0,45 ⁺	-0,19±3,37	0,24±3,77	0,73 ⁺
	NT KK (cm)	0,15±0,38	0,10±0,39	0,73 ⁺	0,00±0,19	-0,14±0,26	0,07 ⁺
	NT LU (cm)	-1,06±3,63	-0,85±4,75	0,88 ⁺	0,34±2,96	-0,20±4,06	0,66 ⁺

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi

⁺Bağımsız gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

Takip ölçümü ile ilk ölçüm arasındaki farkların gruplar arasındaki karşılaştırmasında nondominant taraf VL KK bakımından kontrol grubuna kıyasla eğitim grubunda daha yüksek gelişim vardı ($p=0,04$). Takip ölçümü ile son ölçüm arasındaki farkların gruplar arasındaki karşılaştırmasında nondominant taraf VL PA kontrol grubunda, nondominant taraf VL LU eğitim grubunda daha yüksekti ($p=0,04$) (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Kas mimarisi parametrelerindeki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması (Devam ediyor).

Parametre		Takip ölçümü-Orta ölçüm			Takip ölçümü-Son ölçüm		
		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
VL	DT PA (°)	1,00±3,97	0,72±3,17	0,82 ⁺	1,10±5,37	2,30±4,13	0,46 ⁺
	DT KK (cm)	0,06±0,19	0,02±0,16	0,52 ⁺	0,02±0,12	0,08±0,11	0,13 ⁺
	DT LU (cm)	-1,13±3,58	0,05±2,49	0,27 ⁺	-1,17±4,11	-0,91±3,55	0,69 ⁻
	NT PA (°)	-1,08±5,33	1,21±2,83	0,13 ⁺	-1,04±2,81	2,07±3,31	0,01 ⁺
	NT KK (cm)	0,02±0,23	0,10±0,16	0,24 ⁺	0,10±0,21	0,16±0,18	0,39 ⁺
	NT LU (cm)	0,36±4,38	-0,22±2,03	0,16 ⁻	1,48±2,19	-0,89±2,95	0,01 ⁺
BFub	DT PA (°)	-0,55±4,26	1,31±5,04	0,25 ⁺	1,08±7,00	1,62±4,50	0,81 ⁻
	DT KK (cm)	-0,02±0,31	-0,01±0,28	0,88 ⁺	0,15±0,64	0,08±0,21	0,67 ⁺
	DT LU (cm)	1,87±6,47	-0,28±4,69	0,26 ⁻	0,22±7,67	-0,73±5,45	0,67 ⁺
	NT PA (°)	-0,10±4,05	2,83±4,89	0,06 ⁺	0,09±4,08	2,58±4,78	0,11 ⁺
	NT KK (cm)	0,02±0,34	0,00±0,23	0,85 ⁺	0,02±0,30	0,14±0,33	0,25 ⁺
	NT LU (cm)	0,17±2,90	-0,86±4,18	0,14 ⁻	-0,18±2,95	-0,66±4,43	0,71 ⁺

VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi

⁺Bağımsız gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

Ölçümler arası farkların gruplar arasındaki diğer karşılaştırmalarında anlamlı fark yoktu ($p>0,05$). Taraflar arası karşılaştırmalarda eğitim grubuna ait son ölçümdeki diğer taraf VL LU'nun dominant tarafa kıyasla düşük olmasının dışında önemli fark yoktu ($p>0,05$) (Tablo 4.13).

Tablo 4.13. Kas mimarisi parametrelerinin taraflar arası karşılaştırması.

Parametre		İlk ölçüm			Orta ölçüm		
		DT	NT	p*	DT	NT	p*
Eğitim grubu	VL PA (°)	14,07±3,28	14,28±2,95	0,83 ⁺	16,47±2,91	17,59±3,91	0,29 ⁺
	VL KK (cm)	1,89±0,21	1,86±0,19	0,60 ⁺	2,03±0,20	2,10±0,22	0,06 ⁺
	VL LU (cm)	10,26±3,89	9,47±3,23	0,49 ⁻	9,48±3,53	8,82±4,35	0,08 ⁻
	BFub PA (°)	13,83±3,42	14,07±4,46	0,86 ⁺	15,98±2,19	16,01±2,41	0,98 ⁺
	BFub KK (cm)	1,99±0,27	1,98±0,36	0,96 ⁺	2,19±0,18	2,11±0,27	0,26 ⁺
	BFub LU (cm)	10,32±3,89	10,03±2,88	0,83 ⁻	9,60±3,12	8,80±1,97	0,41 ⁺
Kontrol grubu	VL PA (°)	16,09±3,48	15,44±2,67	0,57 ⁺	16,66±2,56	15,96±2,78	0,43 ⁺
	VL KK (cm)	1,93±0,26	2,00±0,31	0,20 ⁺	2,03±0,31	2,02±0,23	0,94 ⁺
	VL LU (cm)	8,18±2,59	9,06±2,91	0,45 ⁺	8,18±1,74	8,57±1,74	0,49 ⁻
	BFub PA (°)	14,29±3,37	13,88±3,31	0,53 ⁻	15,88±3,72	14,12±2,51	0,11 ⁺
	BFub KK (cm)	1,96±0,30	1,89±0,34	0,36 ⁺	1,96±0,30	1,96±0,24	1,00 ⁺
	BFub LU (cm)	10,10±3,29	9,55±2,51	0,60 ⁺	8,92±3,01	9,45±2,15	0,58 ⁺

VL: Vastus lateralis, BFub: Biceps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi

⁺Bağımlı gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Wilcoxon testi ile analiz edildi.

Tablo 4.13. Kas mimarisi parametrelerinin taraflar arası karşılaştırması (Devam ediyor).

Parametre		Son ölçüm			Takip ölçümü		
		DT	NT	p*	DT	NT	p*
Eğitim grubu	VL PA (°)	16,37±4,65	17,55±3,42	0,27 ⁺	17,47±3,37	16,51±3,72	0,37 ⁺
	VL KK (cm)	2,07±0,23	2,02±0,28	0,29 ⁺	2,10±0,21	2,12±0,29	0,68 ⁺
	VL LU (cm)	9,53±3,53	7,70±1,95	0,03 ⁻	8,36±3,37	9,18±3,30	0,18 ⁻
	BFub PA (°)	15,25±3,65	15,83±2,95	0,71 ⁺	15,43±4,14	15,91±3,01	0,73 ⁺
	BFub KK (cm)	2,15±0,28	2,11±0,30	0,65 ⁺	2,17±0,31	2,13±0,40	0,60 ⁺
	BFub LU (cm)	11,95±5,68	9,15±3,06	0,22 ⁻	11,47±5,79	8,97±2,41	0,19 ⁻
Kontrol grubu	VL PA (°)	15,20±3,23	15,23±3,19	0,97 ⁺	17,50±3,59	17,30±2,39	0,84 ⁺
	VL KK (cm)	1,97±0,26	1,95±0,25	0,65 ⁺	2,05±0,25	2,11±0,24	0,33 ⁻
	VL LU (cm)	9,07±2,48	9,17±3,00	0,74 ⁻	8,16±2,71	8,28±1,85	0,56 ⁻
	BFub PA (°)	15,66±3,20	14,37±2,54	0,17 ⁺	17,29±3,33	16,96±4,72	0,82 ⁺
	BFub KK (cm)	1,88±0,17	1,81±0,24	0,22 ⁺	1,96±0,28	1,95±0,26	0,96 ⁺
	BFub LU (cm)	9,42±3,72	9,21±2,80	0,98 ⁻	8,69±3,38	8,55±3,87	0,50 ⁻

VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, DT: Dominant taraf, NT: Nondominant taraf, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi

⁺Bağımlı gruplar t testi ile analiz edildi. ⁻Wilcoxon testi ile analiz edildi.

4.4. Sıçrama Performansının Değerlendirmeleri

Sıçrama performansının gruplardaki zaman içindeki dört ölçümü incelendiğinde her iki grupta da her iki taraf için anlamlı fark vardı ($p<0,05$). Bonferroni düzeltmesiyle yapılan ikili karşılaştırmalara göre, dördüncü haftanın sonunda eğitim grubundaki sporcuların sıçrama performansları dominant ve nondominant tarafların her ikisinde de başlangıca göre önemli olarak daha yüksekti ($p<0,01$). Benzer olarak sıçrama performansı başlangıca kıyasla eğitim sonunda dominant ve nondominant taraflar açısından önemli olarak daha yüksekti ($p<0,01$). Kontrol grubundaki sporcuların dominant taraf sıçrama performansları arasındaki önemli farkın başlangıç ve takip ölçümleri arasında olduğu görüldü ($p=0,03$). Nondominant tarafa ait sıçrama performansları başlangıca kıyasla sekizinci haftada daha yüksekti ($p=0,03$). Benzer olarak başlangıç ve takip ölçümleri arasında anlamlı fark vardı ($p=0,01$). Sıçrama performansına ait tüm anlamlı değişimler her iki grupta da takip süresince korundu ($p>0,05$). Bu sonuç ölçütüne yönelik ölçümler eğitim grubu için Tablo 4.14'te, kontrol grubu için Tablo 4.15'te gösterildi.

Tablo 4.14. Eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırması.

Taraf	Eğitim Grubu (n=17)				
	İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
Dominant taraf	135,90±19,70	152,60±20,00	156,31±17,94	157,94±20,28	<0,01 ⁺
Nondominant taraf	133,17±17,49	152,33±18,72	156,05±17,91	159,09±18,40	<0,01 ⁺

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi ile analiz edildi.

Tablo 4.15. Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırması.

Taraf	Kontrol Grubu (n=19)				
	İlk ölçüm	Orta ölçüm	Son ölçüm	Takip ölçümü	p*
Dominant taraf	131,06±18,33	134,15±20,29	139,94±21,90	140,56±19,62	0,01 ⁺
Nondominant taraf	131,29±18,82	137,67±20,98	141,41±18,74	143,06±18,60	<0,01 ⁺

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Tekrarlı ölçümler varyans analizi ile analiz edildi.

Sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının ölçümler arası karşılaştırmasına ilişkin etki büyüklüğü değerleri eğitim grubu için Tablo 4.16’da kontrol grubu için Tablo 4.17’de gösterildi.

Tablo 4.16. Eğitim grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

Parametreler	Eğitim Grubu (n=17)					
	İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
Dominant taraf	0,84*	1,08*	1,10*	0,20	0,27	0,09
Nondominant taraf	1,06*	1,29*	1,44*	0,20	0,36	0,17

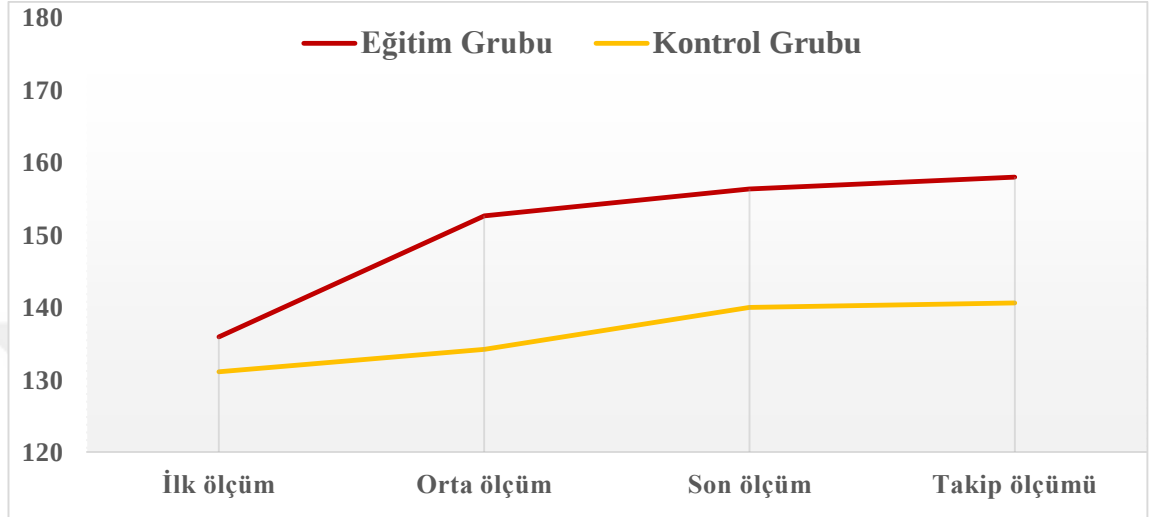
*p değerinin 0,05’ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.17. Kontrol grubundaki sporcuların her iki taraf sıçrama performanslarının karşılaştırılmasına ilişkin etki büyüklükleri.

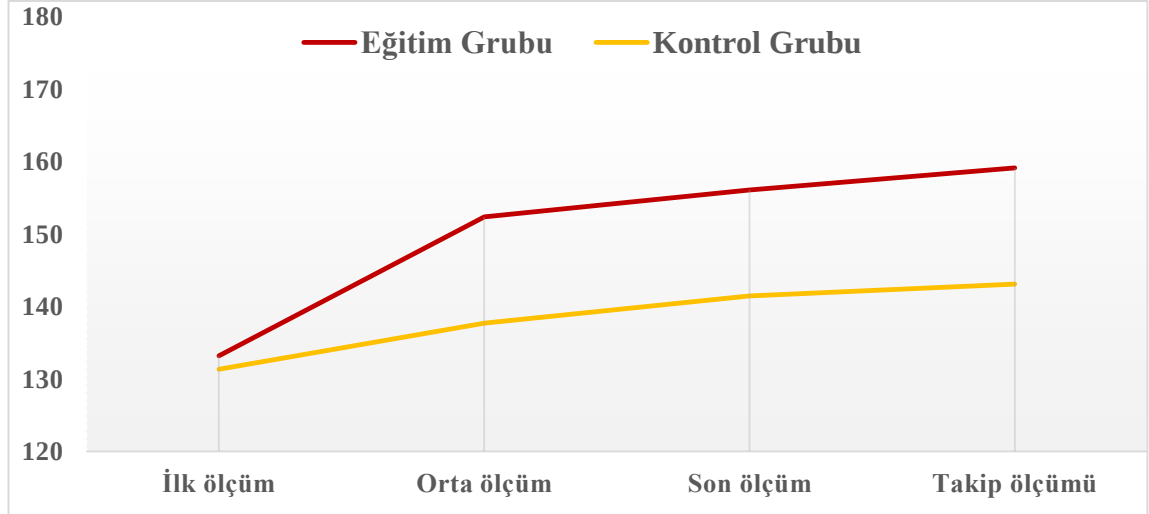
Parametreler	Kontrol Grubu (n=19)					
	İlk-Orta	İlk-Son	İlk-Takip	Orta-Son	Orta-Takip	Son-Takip
Dominant taraf	0,16	0,44	0,50*	0,27	0,32	0,03
Nondominant taraf	0,32	0,57*	0,63*	0,19	0,27	0,09

*p değerinin 0,05’ten küçük ve anlamlı farkın olduğunu göstermektedir.

Sıçrama performansının gruptaki zaman içindeki değişimi grafiksel olarak incelendiğinde, eğitim grubunda daha yüksek olmak kaydıyla her iki grupta her iki taraf için sıçrama performansının zamanla artış sağladığı görüldü. Eğitim grubundaki artışlar ilk dört haftalık süreçte daha belirgindi ($p<0,05$) (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).



Şekil 4.16. Dominant taraf sıçrama performansının gruptaki zaman içindeki değişimi.



Şekil 4.17. Nondominant taraf sıçrama performansının gruptaki zaman içindeki değişimi.

Sıçrama performansına ait ilk ölçümlerin U-14 ve U-16 takımları arasındaki karşılaştırmalarında, dominant (sırasıyla $117,38 \pm 13,87$ ve $142,65 \pm 15,11$) ve nondominant (sırasıyla $116,28 \pm 14,00$ ve $140,62 \pm 13,64$) taraf sıçrama performansının U-16 takımındaki sporcular lehine daha yüksek olduğu bulundu ($p < 0,01$). Eğitim ve kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalar ilk ölçümler için her iki taraf için de önemli fark yoktu ($p > 0,05$). Orta, son ve takip ölçümleri her iki tarafta da eğitim grubu lehine önemli düzeyde daha yüksekti ($p < 0,05$) (Tablo 4.18).

Tablo 4.18. Sıçrama performansının gruplar arası karşılaştırması.

Parametre		Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
Dominant taraf	İlk ölçüm	$135,90 \pm 19,70$	$131,06 \pm 18,33$	0,434
	Orta ölçüm	$152,60 \pm 20,00$	$134,15 \pm 20,29$	<0,01
	Son ölçüm	$156,31 \pm 17,94$	$139,94 \pm 21,90$	0,02
	Takip ölçümü	$157,94 \pm 20,28$	$140,56 \pm 19,62$	0,02
Nondominant taraf	İlk ölçüm	$133,17 \pm 17,49$	$131,29 \pm 18,82$	0,62
	Orta ölçüm	$152,33 \pm 18,72$	$137,67 \pm 20,98$	0,02
	Son ölçüm	$156,05 \pm 17,91$	$141,41 \pm 18,74$	0,02
	Takip ölçümü	$159,09 \pm 18,40$	$143,06 \pm 18,60$	0,02

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi. Veriler bağımsız gruplar t testi kullanılarak analiz edildi.

Dominant ve nondominant taraf sıçrama performansı açısından zaman x grup etkileşimi vardı (sırasıyla $p = 0,01$ ve $p < 0,01$). Bu bakımdan ilk-orta, ilk-son ve ilk-takip ölçümleri arasındaki farkların gruplar arası karşılaştırmaları istatistiksel olarak anlamlıydı ($p < 0,05$). Diğer karşılaştırmalarda önemli fark yoktu ($p > 0,05$) (Tablo 4.19)

Eğitim grubundaki sporcuların sıçrama performansları dördüncü, sekizinci ve on ikinci haftaların sonunda başlangıca göre dominant taraf için %12, %15 ve %16; nondominant taraf için %14, %17 ve %19 oranında arttı. Bu artışlar kontrol grubundaki sporcuların dominant tarafları için %2, %7 ve %7; nondominant tarafları için %5, %8 ve %9 oranındaydı.

Tablo 4.19. Sıçrama performansındaki ölçümler arası farkların gruplar arası karşılaştırması.

Ölçüm	Dominant taraf			Nondominant taraf		
	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*	Eğitim grubu (n=17)	Kontrol grubu (n=19)	p*
İlk-Orta	16,71±11,76	3,08±14,49	<0,01	19,16±10,74	6,33±14,17	<0,01
İlk-Son	19,77±11,68	8,88±15,12	0,02	22,88±12,19	10,12±12,82	<0,01
İlk-Takip	22,04±12,56	9,50±11,67	<0,01	25,92±11,12	11,76±13,44	<0,01
Orta-Son	4,50±8,01	5,79±12,41	0,75	3,73±6,87	3,02±10,28	0,53
Orta-Takip	5,33±9,66	6,42±10,57	0,59	6,77±8,57	5,48±10,16	0,69
Son-Takip	0,94±9,91	0,62±9,25	0,99	3,04±8,77	2,46±6,08	0,82

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi. Veriler bağımsız gruplar t testi kullanılarak analiz edildi.

Sıçrama performansının ilk, orta, son ve takip ölçümlerine ait taraflar arası karşılaştırmada fark yoktu ($p>0,05$) (Tablo 4.20). Başlangıçta eğitim grubundaki sporcuların tarafları arasındaki yaklaşık 3 cm'lik fark, eğitimin ortasında ve sonunda eşitlendi.

Tablo 4.20. Sıçrama performansının taraflar arası karşılaştırması.

Ölçüm	Eğitim grubu			Kontrol grubu		
	Dominant taraf	Nondominant taraf	p*	Dominant taraf	Nondominant taraf	p*
İlk	135,90±19,70	133,17±17,49	0,37	131,06±18,33	131,29±18,82	0,70
Orta	152,60±20,00	152,33±18,72	0,92	134,15±20,29	137,67±20,98	0,41
Son	156,31±17,94	156,05±17,91	0,63	139,94±21,90	141,41±18,74	0,90
Takip	157,94±20,28	159,09±18,40	0,59	140,56±19,62	143,06±18,60	0,45

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi. Veriler bağımlı gruplar t testi kullanılarak analiz edildi

4.5. Kas Mimarisi ve Sıçrama Performansı Arasındaki İlişkiler

Kas mimarisi parametreleri ile sıçrama performansına ait ilk ölçümler arasında her iki taraf için de önemli düzeyde korelasyon yoktu ($p>0,05$) (Tablo 4.21). Benzer durum araştırmada ilk değerlendirmeleri yapılan tüm sporculara ($n=42$) ait incelemeler yapıldığında da geçerliydi.

Tablo 4.21. Kas mimarisi ve sıçrama performansı arasındaki ilişkilerin incelenmesi.

Kas Mimarisi Parametreleri		Sıçrama Performansı	
		Dominant taraf	Diğer taraf
Dominant taraf	VL PA	$r=-0,05$ $p=0,78^+$	$r=-0,05$ $p=0,77^+$
	VL KK	$r=0,19$ $p=0,27^+$	$r=0,09$ $p=0,62^+$
	VL LU	$r=0,21$ $p=0,23^-$	$r=0,13$ $p=0,44^-$
	BFub PA	$r=-0,18$ $p=0,31^+$	$r=-0,11$ $p=0,52^+$
	BFub KK	$r=0,31$ $p=0,06^+$	$r=0,24$ $p=0,16^+$
	BFub LU	$r=0,31$ $p=0,08^-$	$r=0,22$ $p=0,21^-$
Nondominant taraf	VL PA	$r=-0,26$ $p=0,13^+$	$r=-0,23$ $p=0,18^+$
	VL KK	$r=0,20$ $p=0,26^+$	$r=0,21$ $p=0,22^+$
	VL LU	$r=0,33$ $p=0,06^-$	$r=0,31$ $p=0,08^-$
	BFub PA	$r=-0,02$ $p=0,92^-$	$r=0,04$ $p=0,81^-$
	BFub KK	$r=0,20$ $p=0,26^+$	$r=0,06$ $p=0,75^+$
	BFub LU	$r=-0,08$ $p=0,63^+$	$r=-0,07$ $p=0,68^+$

VL: Vastus lateralis, BFub: Biseps femoris uzun başı, PA: Penasyon açısı, KK: Kas kalınlığı, LU: Lif uzunluğu

*p değerinin 0,05'ten küçük olması anlamlı farkın göstergesi olarak kabul edildi.

⁺Pearson testi ile analiz edildi. ⁻Spearman testi ile analiz edildi.

5. TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında sağlıklı adölesan futbolculara sekiz hafta süreyle, haftada üç seans olmak üzere telerehabilitasyon yöntemiyle uygulanan Mİ ve HG temelli PE'nin, VL ve BFub kaslarına ait PA, KK ve LU kas mimari parametreleri ile sporcuların tek adım sıçrama performansı üzerindeki etkileri incelendi. Eğitim grubunda yer alan sporcuların her iki taraf VL kasına ait PA ve KK'leri ile nondominant taraf BFub kasının KK'si de bu grupta artış gösterdi. Kontrol grubundaki sporcularda kas mimari parametreleri bakımından ilk sekiz hafta boyunca değişiklik olmadı. Kas mimarisi parametrelerinin gruplar arası karşılaştırmalarında nondominant taraf VL kasına ve dominant taraf BFub kasına ait KK eğitim grubunda daha yüksekti. Benzer olarak sıçrama performansına ilişkin gruplar arası karşılaştırmalarda orta, son ve takip ölçümlerinin eğitim grubu lehine daha yüksek olduğu bulundu. Kas mimarisi parametreleriyle sıçrama performansı arasında ilişki yoktu. Bu kapsamda çalışmamız, Mİ ve HG yöntemleriyle uygulanan bir eğitimin kas mimarisi üzerindeki etkilerini ortaya koyan bilgimiz dahilindeki ilk çalışma olup literatüre ilk sonuçları sunmaktadır.

5.1. Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Yöntemleri

Bu araştırmanın özgün yanını ortaya koyan ve incelenmesi gereken en önemli konu, Mİ ve HG yöntemlerini temel alan PE'nin sporcuların VL ve BFub kaslarına ait mimari parametrelerde nasıl değişim sağladığı veya sağlayabileceği konusudur. Bu konuya yönelik temel tartışma, literatürdeki Mİ ve HG çalışmalarının özellikle nöral yolların aktivasyonu ve kas kuvveti gibi fonksiyon odaklı sonuçları kapsamında ele alınabilir.

Mİ, HG veya bunların birlikte uygulanmasına yönelik araştırmaların sayısı özellikle son on yıldır artış göstermekte, fakat kanıt düzeyi yüksek ve kaliteli araştırmalara olan ihtiyaç devam etmektedir. Mİ ve HG yaklaşımları aktif bir fiziksel aktivite davranışı içermediğinden, nöral yollar açısından aktivasyon oluşturup oluşturmadığı veya oluşturuyorsa bunun ne düzeyde olduğu araştırmalarda incelenen temel konulardan biridir. Bu aktivasyonların belirlenmesi amacıyla özellikle elektroensefalografi, fonksiyonel yakın-kızılötesi spektroskopisi ve fonksiyonel manyetik rezonans gibi görüntüleme araçları kullanılır (61,125,126).

Bu kapsamda incelendiğinde Mİ fronto-pariyetal, subkortikal ve serebellar bölgeleri aktive ederek gerçek motor yürütme sırasında yer alan bölgeleri harekete geçirir (57). Mİ süresince bilateral inferior frontal girus, presentral girus, orta frontal girus, suplemer motor alan ve anterior insula bölgelerinde sürekli olarak aktivasyon kaydedilir (57). Bu durum bilateral superior pariyetal lob, supramarjinal girus, sol inferior pariyetal lob, sol putamen, sağ talamus, pallidum ve vermis serebellum açısından da benzerdir (57,61). Genel olarak Mİ sırasında aktive olan bu beyin kısımları hayal edilen hareketin türü, Mİ yöntemi ve katılımcılara verilen talimatlar gibi çeşitli etkenlere bağlıdır (57,61). Motor uzmanlık düzeyinin değişkenlik gösterdiği farklı sporcuların Mİ'leri süresince beynin değişik bölgelerinde farklı aktivasyon paternleri görülebilir (127). Ayrıca, tek başlarına uygulanan Mİ ve HG'ye kıyasla, araştırmamızda da yer aldığı şekilde HG ile eş zamanlı olarak uygulanan Mİ kortikomotor uyarılabilirliği daha fazla artırır (55,61,128). Mİ ve HG dinamik görevlere yönelik birlikte uygulandığında putamen, serebellum, suplemer motor alan, primer motor korteks, ventral ve dorsal premotor korteksleri kapsayacak şekilde motor merkezler aktive edilir (61). Bu sonuçlar araştırmamızda aktif bir eğitim uygulanmasa da Mİ ve HG temelli eğitim alan gruptaki sporcular açısından gerçek aktiviteye yönelik mekanizmaların devreye girmiş olabileceğini göstermektedir. Santral kısımlardaki bu aktivasyonların periferdeki kas üzerinde etki göstermesi muhtemeldir.

Kas perspektifinden değerlendirildiğinde, Mİ ve HG yöntemlerinin kuvvet programıyla birleştirilerek uygulanması sağlıklı bireylerin kaslarına ait EMG aktivitesinde önemli bir artış sağlar (129). Üç hafta süreyle, her biri 20 dakika sürecek şekilde haftada üç kez uygulanan Mİ+HG temelli NHE eğitimi, yalnızca Mİ eğitimi alan veya eğitim almayan gruba kıyasla hamstring kas kuvvetini geliştirir (78). Benzer süredeki eğitimlerin ardından aktif kuvvet antrenmanı gerçekleştiren gruptaki bireylerin kuadriseps kasına ait ortalama pik torku %38 artış gösterirken, bu oran Mİ temelli eğitim alan grup için %16 düzeyindedir (130). Bu sonuçlar beyin kısımlarındaki aktivasyonların periferde karşılık bulduğunun objektif göstergelerindedir. Bunun yanı sıra kontraksiyona ilişkin Mİ sırasında alt ekstremite kaslarındaki spinal refleks uyarılabilirliği de fasilite edilir (131). Fasilitasyon hayal edilen görevden farklı kaslarda da görüldüğünden göreve bağlı olmayabilir (131).

HG açısından bakıldığında sağlıklı bireylerde yürüyüşe yönelik yapılan eğitimle tibialis anterior ve BF kaslarında dinlenme durumuna kıyasla spinal reflekslerde artış görülür (132). Bu yöntemle Mİ eklendiğinde tibialis anterior, soleus ve medial gastrokinemius kaslarında dinlenme durumuna kıyasla spinal reflekslerin artış gösterdiği bulunmuştur. Her iki uygulamada da vastus medialis kasındaki spinal refleks parametreleri değişiklik göstermemiştir (132). Bu sonuçlar HG ve Mİ + HG sırasında spinal reflekslerin kasa özgü modülasyonlarını açıklayabilir (132). Araştırmamızda yer alan eğitim grubundaki sporcuların VL kaslarının BFub'ye kıyasla kas mimarisi bakımından daha çok ön plana çıkması bu tür farklı modülasyonlardan kaynaklanabilir. Mİ ve HG yöntemleriyle santral ve periferik kısımlarda meydana gelen olumlu değişimleri araştırmamız kapsamındaki PE perspektifinden açıklamak gerekir.

5.2. Pliometrik Eğitim ve Kas Mimarisi

Bildiğimiz kadarıyla literatürde Mİ ve HG temelli bir eğitimin kas mimarisi üzerindeki etkilerini inceleyen başka bir çalışma yer almamaktadır. Ayrıca, aktif uygulanan PE'nin kas mimarisi üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar da oldukça nadirdir. PE'nin kas mimarisine yönelik adaptasyonları ilk olarak Coratella ve ark. (133) tarafından rekreasyonel futbolcularda ağırlıklı yapılan skuat sıçrama ve vücut ağırlığıyla yapılan skuat sıçrama eğitimlerinin VL kas mimarisi üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalarıyla ortaya konulmuştur. Bu araştırmanın sonuçlarına göre ağırlıklı yapılan sıçrama eğitiminde küçük, vücut ağırlığıyla yapılan sıçrama eğitimde orta etki boyutu düzeyinde olmak üzere KK'de istatistiksel fark oluşturmayacak şekilde artışlar görülmüştür. PA ve LU her iki eğitimde artış eğiliminde olsa da vücut ağırlığıyla yapılan eğitimde PA, ağırlıklı yapılan eğitimde ise LU önemli düzeyde artış göstermiştir (133). Araştırmamızla ilgili olan bir diğer çalışmada Monti ve ark. (134) sağlıklı bireylerde PE'nin VL kas mimarisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Coratella ve ark. (133)'ün ortaya koyduğu bulgulara benzer olarak haftada üç kez, her seansta 120-150 arasında sıçrama içeren ve altı hafta süren eğitimin 2, 4 ve 6. hafta sonlarında LU'da; 6. hafta sonunda ise PA'da anlamlı artış sağlamıştır. Bu iki araştırmada PA'ya yönelik ortaya konan artışlar mevcut araştırmamızı destekler nitelikte olsa da LU'daki artış araştırmamızdan farklıdır.

PE'nin gerilme-kısalma döngüsüne bağlı olarak sürekli olarak eksantrik ve konsantrik fazlar oluşur (45). Araştırmacılara göre bu döngünün yavaşlama fazına ait gerçek eksantrik doğası sıklıkla tartışılrsa da LU'daki artış sıçramanın eksantrik fazının ön plana çıkmasıyla ilgilidir (133,134). Bu sonuç PE'nin VL kasına ait KK ve LU ile rektus femoris kasına ait PA, KK ve LU'daki artışları ortaya koyan sistematik derlemenin sonuçlarıyla da benzerdir (46). Araştırmacılar bu iki kasa ait LU'daki artış sebebiyle pliometrik egzersizlerin eksantrik yükünün kuadriseps kası tarafından karşılanabileceğini düşünmektedir. Daha önceki araştırmalarda karşı hareket sıçramanın eksantrik fazı süresince VL LU'nun artış gösterdiğinin ortaya konması araştırmacıların bu düşüncelerini desteklemektedir (135,136). Fakat karşı hareket sıçrama ve skuat sıçramaya yönelik yapılan dinamik ultrason görüntülemesinde her iki sıçramada da LU'nun itme fazı sırasında kısaldığı ve EMG aktivitesinin kalkıştan önce maksimum değerine ulaştığı da belirtilmektedir (135). Araştırmamızda uyguladığımız eğitimin her iki taraf VL LU'daki azalışları dikkate alındığında, çalışmamızdaki PE'de konsantrik fazın ön plana çıktığı düşünülmektedir. Bu düşüncemiz Coratella ve ark. (133) ile Monti ve ark. (134)'nın daha önceki sonuçlarına terstir. Fakat LU'daki artışın eksantrik fazdan kaynaklandığını ifade eden ilgili araştırmacılar, çalışmalarında PA bakımından ortaya koydukları artışın eksantrik fazdan kaynaklanamayacağını belirtmektedir. Kas mimarisine yönelik araştırmalar incelendiğinde de eksantrik bir eğitim sonunda LU'da artış, PA'da azalış olması beklenir (137,138). Bu durum konsantrik eğitim açısından tersi yöndedir (139,140). Buna göre araştırmamızda yer alan sonuçlar kendi içerisinde tutarlı ve kas mimarisini kontraksiyon temelli inceleyen farklı çalışmalarla uyumludur. Eğitimimizde özellikle VL açısından ön plana çıktığını düşündüğümüz konsantrik faz, sporcuların hareketin sonucuna odaklı olarak itme fazını daha yoğun olarak imgelemelerinden kaynaklanabilir. Pliometrik egzersizler süresince VL ve BFub kaslarında oluşan kas kontraksiyonlarına ilişkin EMG aktivitelerinin incelenmesi bu düşüncenin derinlemesine tartışılması bakımından olanak tanır.

5.3. Pliometrik Eğitim ve Kas Kontraksiyonu

EMG çalışmaları temelde kasın mimari özelliklerini ortaya koyan sonuçlara sahip olmasa da bu özelliklerden tamamen de bağımsız değildir (141). Araştırmamızdaki eğitimde yer alan egzersizlerin aktif uygulamalarda VL ve BFub kasları üzerinde oluşturduğu EMG aktivasyonunun bilinmesi, eğitimin etkinliğine ve bulgulara yönelik fikirler verebilir. VL ve BF'ye ait maksimum istemli izometrik kontraksiyon değerleri 30 cm derinlik sıçrama ve tek ayak yukarı doğru sıçrama egzersizlerinde yüzdelik oranları açısından birbirine yakın; karşı hareket sıçrama ve 20 cm'lik step hop süresince ise BF'ye kıyasla VL kasında önemli oranda daha yüksektir (142). Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta VL'ye ait bu yüzdelik oranın BF'ye göre değil VL kasının değerlendirme öncesinde alınan kendi izometrik kontraksiyon ölçümlerine göre kıyaslandığıdır. Bu durum özellikle yakın yüzdelik oranların görüldüğü egzersizlerde VL kasının BF kasından daha yüksek kas aktivitesi göstermesinin kesin olmadığını ortaya koyar. Bu kapsamda VL ve BF kasları açısından oluşan aktivasyonların daha net karşılaştırılması için egzersizler süresince oluşan ham aktivasyon verilerinin incelenmesi gerekir. Futbolcularda yapılan bir araştırmaya göre araştırmamızda yer alan vertikal bilateral, vertikal unilateral, horizontal bilateral ve horizontal unilateral sıçramalar süresince pik EMG aktivitesi VL kası için sırasıyla 718, 759, 753 ve 844 mV; BF kası için ise sırasıyla 218, 233, 454 ve 429 mV olarak kaydedilmiştir (143). Bu değerler araştırmamızda VL kasının ön plana çıkmasına yönelik bulgularımızı desteklemektedir. Bunların yanı sıra araştırmalarda incelenen EMG aktiviteleri, ilgili egzersizlerin bir veya birkaç tekrarının sonucunu yansıtır. Oysaki eğitimimizde her bir egzersizin 10 veya 15 tekrarlı uygulanmasına bağlı olarak her seans toplamda 140 veya 150 tekrar gerçekleştirilmiştir. 60 saniyelik devamlı sıçrama süresince alınan EMG kayıtlarına göre, BF'nin eksantrik fazdaki aktivitesi değişmese de konsantrik fazdaki maksimum istemli kontraksiyon aktivitesi oranı 0-15, 15-30, 30-45 ve 45-60 sn aralıklarında sırasıyla %85, %59, %46 ve %45'tir (144). Aynı çalışmada VL kasına yönelik sonuçlar olmasa da rektus femoris açısından konsantrik ve eksantrik fazlarda zamana bağlı olarak değişiklik görülmemiştir (144). Bu sonuçlar özellikle ilerleyen tekrarlarda araştırmamızdaki sporcuların BF kasının eksantrik faz aktivitesinde azalma eğiliminin olabileceğini göstermektedir. Bu durum

eğitim grubundaki değişimlerin PE'deki egzersizlerin eksantrik ve kontraksiyon fazlarına göre incelenmesi gerekliliğini de ortaya koymaktadır.

VL kası açısından vertikal karşı hareket sıçrama testinin eksantrik fazı süresince maksimum istemli izometrik kontraksiyonun %68'i, konsantrik fazı süresince %149'u oranında kas aktivasyonu oluşur (142). Bu oranlar 30 cm derinlik sıçrama testi için %153'e %141, tek ayak yukarı doğru sıçrama testi için %134'e %114, 20 cm'lik step hop sıçrama için %137'ye %139 oranındadır (142). BF kası açısından değerlendirildiğinde sıçramanın eksantrik ve konsantrik fazlarına ait maksimum istemli izometrik kontraksiyonun yüzdesi sırasıyla vertikal karşı hareket sıçrama için %23 ve %68, 30 cm derinlik sıçrama için %50 ve %153, tek ayak yukarı doğru sıçrama için %52 ve %134, 20 cm yükseklikten düşüp yukarı doğru sıçrama için ise %48 ve %137 oranındadır (142). PE'ye ait eksantrik ve konsantrik fazların BF'nin temelde sırasıyla konsantrik ve eksantrik kontraksiyonlarına karşılık geldiği düşünüldüğünde, BF kası açısından konsantrik kas aktivasyonu eksantrik kas aktivasyonuna göre önemli oranda daha yüksektir. Bu sonuçlar araştırmamızdaki eğitimde konsantrik fazın ön plana çıkmasının önemli nedenleri arasında gösterilebilir. EMG aktivitesinin ve bunlara yönelik oranların araştırmanın yürütüldüğü örneklem grubuna bağlı olarak değişiklik gösterebileceği bilinse de literatürdeki farklı sonuçlar da bu düşüncemizi desteklemektedir. Örneğin, erkek voleybolcularda yürütülen bir çalışmada 30 cm derinlik sıçrama testi için BF kasının maksimum istemli kontraksiyon oranları sıçramanın eksantrik fazı için %98, konsantrik fazı için %80 olarak kaydedilmiştir (144). Kadın voleybolcularda yürütülen başka bir çalışmada ise 30 cm derinlik sıçrama testi için yine BF kası açısından bu oranlar sıçramanın eksantrik fazı için %37, konsantrik fazı için ise %30 olarak kaydedilmiştir (145). Fakat aynı örneklem grubu olmasına rağmen sıçrama yüksekliği 20-90 cm arasında değişirken eksantrik ve konsantrik fazlara ait kas aktivasyon oranları tutarsız değişim de gösterebilir. Eksantrik faz kontraksiyonu %106 oranla en fazla 50 cm'de, konsantrik faz kontraksiyonu %112 oranla en fazla 20 cm'de görülür (144). Mİ ve HG yöntemleri kullanılarak verilen PE süresince VL ve BF kaslarından EMG ve dinamik ultrason görüntülerinin alınması konusunda yapılacak gelecek araştırmalar, bu farklılıklara yönelik daha objektif verilerin ortaya konması ve araştırmamıza ait sonuçların daha doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için destekleyici olabilir.

PE'nin kendi doğasında yer alan eksantrik ve konsantrik fazların kas mimarisi üzerindeki etkilerinin daha net anlaşılabilmesi için bu yöndeki kontraksiyonları temel alan spesifik ve izole eğitimlerin sonuçları incelenebilir.

5.4. Kas Mimarisi ve Kas Kontraksiyonu

Kas mimarisi ve kas kontraksiyonu açısından bakıldığında, eksantrik eğitim gibi spesifik bir antrenman uygulanmış olsa bile eksantrik kuvvetin yanı sıra konsantrik ve izometrik kuvvet de gelişmekte fakat bu farklı türdeki kontraksiyonlar kas mimarisi üzerinde farklı sonuçlar sergilemektedir (146). VL kası açısından bakıldığında eksantrik eğitim VL LU'yu arttırmakta ve VL PA'yı azaltmaktadır (138,147). Ando ve ark. (148)'ın maksimum diz eksantrik ve konsantrik kontraksiyonu süresince erkek bireylerin VL kas mimarisi değişimlerini inceledikleri araştırmalarında, eksantrik kontraksiyon sırasında vastus intermedius (Vİ) ve VL kaslarının LU'ları diz 40° fleksiyondayken sırasıyla 72 ± 7 mm ve 75 ± 8 mm iken 100°'de Vİ için 35 ± 9 mm ve VL için 24 ± 5 mm uzamıştır. Konsantrik kontraksiyon sırasında ise Vİ ve VL kaslarının LU'ları 100°'de sırasıyla 108 ± 12 mm ve 104 ± 12 mm iken 40°'de Vİ için 36 ± 12 mm ve VL için 28 ± 13 mm kısalmıştır (148). Bu sonuçlar eksantrik kontraksiyon sırasında Vİ liflerinin VL liflerinden 1,4 kat daha fazla uzadığını, fakat konsantrik kontraksiyon sırasında Vİ ve VL liflerinin benzer şekilde kısalıldığını göstermektedir. Bu durum eksantrik kontraksiyon sırasında Vİ'ya VL'den daha büyük bir mekanik gerilimin uygulanma olasılığını ortaya koymaktadır (148). Araştırmamızda VL kasına ait kas mimarisi parametrelerinin eksantrik kontraksiyon yerine konsantrik kontraksiyon özelliklerini yansıtması, eksantrik faz süresince oluşan yükün daha çok Vİ kasından karşılanmasının bir göstergesi olabilir. Konsantrik kontraksiyonu eksantrik kontraksiyondan öne çıkaran araştırmalardan biri de bunlara yönelik eğitimlerin VL kas mimarisinde oluşturduğu etkileri akut olarak inceleyen Vieira ve ark. (139) tarafından gerçekleştirilmiştir. Orta ve distal kısımlardan ölçülen KK'nin konsantrik eğitimle %11, eksantrik eğitimle %14 oranında artış gösterdiği; PA'nın ise orta kısımda %39 oranında olacak şekilde yalnızca konsantrik kontraksiyondan sonra arttığı bildirilmektedir (139). KK'deki değişiklikler konsantrik eğitim sırasında gerçekleştirilen toplam iş miktarıyla güçlü ($r=0,76$) bir şekilde ilişkili olup orta hızda gerçekleştirilen konsantrik eğitimlerin eksantrik eğitime kıyasla KK ve PA'da akut

değişiklikler oluşturmak için daha güçlü bir uyaran oluşturduğu düşünülmektedir (139). Bu durum araştırmamızdaki eğitimin kısa dönemde önemli etki göstermesini desteklemektedir.

BFub kası açısından incelendiğinde, hamstring kası rehabilitasyonunda kullanılan NHE literatürdeki kas mimarisi araştırmalarında sıklıkla yer almaktadır. Bu egzersizler eksantrik kontraksiyon doğası sebebiyle hem eksantrik kuvveti arttırmakta hem de hamstring kas yaralanmalarının önlenmesi amacıyla tercih edilmektedir. NHE'nin ardından LU ve KK anlamlı olarak artarken PA'da anlamlı bir azalış görülür. Bu tablo eğitim sonrası takip döneminde tersi yönünde gerçekleşir (149). NHE'nin BF üzerinde oluşturduğu etkiye benzer olarak ters nordik egzersiz de rektus femoris kası üzerinde değişimler sağlar. Yayınlanan sistematik derleme ve meta analize göre sınırlı orta düzeydeki kanıta dayanarak eksantrik kuvvet eğitimi PA'da azalma, KK'de ve LU'da artışa neden olur (137). Rekreatif aktif erkeklerde beş haftalık konsantrik veya eksantrik eğitim uygulandığında BFub LU eksantrik eğitimle artış gösterirken ($d=2,0$) konsantrik eğitimle azalır ($d=0,92$). PA ise eksantrik eğitim alan grupta azalmakta ($d=0,52$) konsantrik eğitim alan grupta artmaktadır ($d=1,69$). Eksantrik eğitim grubunda kas kalınlığı %7, konsantrik eğitim grubunda ise %4 oranında artış göstermiştir (150). Bunların yanı sıra, Timmins ve ark. (140)'ı da BFub LU'nun eksantrik ve konsantrik eğitimlere verdiği yanıtları altı hafta süren eğitim boyunca incelemişlerdir. Eğitimin ikinci haftasında alınan ölçümlere göre LU'nun konsantrik eğitim grubunda kısaldığı, eksantrik eğitim alan grupta ise arttığı bildirilmektedir. PA ise LU'ya ters olarak konsantrik grupta artış, eksantrik grupta azalma göstermiştir. Literatürdeki bu mevcut kanıtlar, araştırmamızda her iki taraf PA ve KK ile dominant taraf LU'daki artış eğilimlerine bağlı olarak PE'nin BFub kası bakımından da konsantrik fazının ön plana çıktığını düşündürmektedir.

Literatürde yer alan mevcut bilgiler ışığında PE veya bu eğitimin fazları özelinde eksantrik ve konsantrik kontraksiyon türündeki eğitimlerin kas mimarisi üzerinde değişimler sağlayabileceği ifade edilebilir. Fakat bir eğitim uygulamak bu parametrelerde her zaman önemli değişiklik oluşacağı anlamına gelmemelidir. Nitekim araştırmamızda önemli değişiklik göstermeyen kas mimari parametreleri de mevcuttur. Bu durum PE grubunda görülen önemli değişikliklerin kontrol grubuyla yapılan karşılaştırmaları açısından da geçerlidir. Örneğin uygulanan eğitimle birlikte

sporcuların dominant taraf VL kasına ait PA ve KK’de önemli artışlar sağlanmış, fakat kontrol grubuyla yapılan karşılaştırmalarda gruplar arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Kontrol grubundaki sporcularda on iki haftanın sonunda VL KK açısından görülen artışların temelde antrenmandan kaynaklandığı düşünülmektedir. Nondominant taraf VL kasına ait PA ve KK ile dominant taraf BFub KK açısından eğitim grubu lehine zaman x grup etkileşimleri olsa da araştırmamızda yer alan eğitimin rutin antrenman programına eklendiğinde eğitim almayanlara kıyasla önemli etkiler oluşturacağını açık bir şekilde ifade etmek zordur. Bu noktada önemli olduğunu düşündüğümüz husus, PE’nin konsantrik ve eksantrik fazların her ikisine sahip olması ve bu yöndeki kontraksiyonların kasın mimari özelliklerinde farklı değişimler oluşturması sebebiyle eğitim süresince birbirlerine zıt etki oluşturup oluşturmadıklarıdır. Bu durum araştırmamızda önemli değişimlerin görüldüğü parametreler açısından da etki büyüklüğünün sınırlanması yönünde dikkate alınabilir. Bunun dışında konsantrik ve eksantrik eğitimler ayrı ayrı uygulandığında dahi kas mimarisi üzerinde önemli değişiklikler oluşturmayabilir. Nitekim VL kası açısından bakıldığında 5 hafta boyunca, haftada iki seans, 4 set 8 tekrar olarak uygulanan eksantrik skuat eğitimi, VL PA ve VL LU için önemli bir değişiklik oluşturmak için yeterli olmamıştır (138). Altı hafta süreli konsantrik ve eksantrik eğitim sonrasında bu kontraksiyon türlerine ait diz fleksiyon tepe torku artmış olmasına rağmen, BFub KK’de anlamlı artış görülmemiştir (140,151). Elit adölesan erkek akademi futbolcularında 8 haftalık nordik hamstring curl antrenmanı BFub’nin LU, KK, PA’sında; 6 haftalık NHE ve razor hamstring curl antrenmanı ise rekreasyonel erkek bireylerin BFub PA ve KK’sinde anlamlı değişimler oluşturmamıştır (152,153). Bu aktif antrenmanlara rağmen benzer kalan kas mimarisi parametrelerinin, araştırmamızda rutin antrenman programlarına ek olarak uygulanan Mİ ve HG temelli eğitim sonrasında değişimler oluşturması oldukça değerlidir. Mİ ve HG temelli konsantrik ve eksantrik eğitimlere yönelik çalışmaların yapılarak bunların kas mimarisi üzerindeki etkilerinin gösterilmesi mevcut sonuçların aydınlatılması noktasında katkı sağlayabilir.

Araştırmalarda ve çalışmamızda önemli değişiklik göstermeyen kas mimari parametreleri için ifade edilebilecek bir diğer önemli konu, uygulanan eğitimlerin değerlendirilen kas üzerinde olmasa da kimi zaman farklı bir kas için değişiklik

oluşturabileceğidir. Amatör basketbol oyuncularında yapılan bir çalışmada 12 haftalık eksantrik eğitim semitendinosus kasının LU'sunda artış sağlasa da BFub LU'da anlamlı artış oluşturmamıştır (154). Medial taraftaki semimembranosus ve semitendinosus kasları ile lateral taraftaki BF kısa başı ve BFub kasları kendi içlerinde anatomik benzerlikler gösterse de hamstring kasları taraflar arasında mimari açıdan farklılıklara sahiptir. Bu durum hamstring kaslarını tek bir kas olarak modellemenin çok da doğru olmayacağını gösterir (155,156). Kaslar arasındaki farklılık gibi aynı kasa ait farklı uygulama yöntemlerinin de kas mimarisi parametreleri üzerindeki etkileri değişiklik gösterebilir. BFub kasına uygulanan eksantrik eğitim kas kısa pozisyondayken gerçekleştirildiğinde LU %5; kas uzun pozisyondayken gerçekleştirildiğinde %9 oranında artış gösterir (157). PA kas kısa pozisyonda eğitildiğinde değişiklik göstermez ve uzun pozisyondayken azalma gösterse de önemli düzeyde değildir (157). Bunların yanı sıra hızlı eksantrik direnç eğitiminin yavaş eksantrik direnç eğitime kıyasla hızlı kuvvet üretimindeki artışlar için daha uygun olabileceği, bunun VL LU'daki artışlardan kaynaklanabileceği ifade edilmektedir (158). NHE ağırlıkla uygulandığında vücut ağırlığıyla uygulanmasına kıyasla LU'da daha fazla artış sağlar (152). Bu durum araştırmamızın eğitim grubunda yer alan sporculardan gelen *“Ağırlıkla yaptığımı hayal edince daha çok zorlandım”* ifadesini destekler niteliktedir. Araştırmamızda yer alan eğitimin ağırlık ve tekrar sayısı gibi parametrelere bağlı olarak progresif bir artış seyretmemesi, ikinci dört haftalık süreçteki artışların önüne geçmiş olabileceğini düşündürebilir. Fakat NHE özelinde bakıldığında, yüksek doz müdahalelerle karşılaştırıldığında yoğunluğunun azaltılması kas yapısındaki adaptasyonları olumsuz etkilemez. NHE'nin yüksek hacimlerini reçete eden birçok müdahaleye rağmen, daha düşük ve daha tutarlı hacimler kullanılarak daha büyük etkiler oluşturulabilir (159). Rekreatif erkek bireylerde altı hafta süreli düşük hacimli (128 tekrar) eğitim BFub LU'da %23, yüksek (440 tekrar) yoğunluklu NHE BFub LU'da %24 olarak benzer oranda artış oluşturur (160). Egzersiz yoğunluğundaki artış kuvveti arttırsa da KK'de anlamlı artışlar oluşturmaz (160). Benzer olarak futbolculara sekiz haftalık, NHE haftada bir veya iki seans uygulandığında iki seans uygulama yapanların hamstring kas kuvvetinde artış olsa da PA, KK ve LU açısından gruplar arasında fark yoktur (161). NHE'nin kas mimarisi üzerinde etkilerini ortaya koyan sistematik derlememize göre, kas mimarisi

parametreleri üzerinde antrenman süresi, toplam ve seans başına düşen tekrar sayısı etkili olabilir (162). Bu kapsamda Mİ ve HG temelli eğitime yönelik etkilerin farklı süre ve yoğunluklarda kısa ve uzun vadede incelenebilir. Bu noktada Mİ eğitimlerinin uzun süreli uygulandığında zihinsel yorgunluğa sebep olabileceği ve sonraki fiziksel aktiviteyi olumsuz etkileyebileceği bilinmelidir (163). Kasılmaları hayal etmek için gerekli olan motor ve premotor alan etkinliğindeki ilerleyici artışa bağlı olarak Mİ'nin kalitesinin düşmesi ve artan yorgunluk hissiyle uzun süreli zihinsel yorgunluğa neden olabilir (163).

Araştırmamızda yer alan iki farklı yaş grubundaki sporcular gruplara her ne kadar homojen dağılım göstermiş olsa da yaşa ve ergenlik dönemine özgü olarak kasın mimari özelliklerinin değişip değişmeyeceği ve bunun sonuçlarımız üzerindeki etkisi önemlidir. Bu noktada öne çıkan konu, randomizasyon sonucunda gruplara U-16 takımından atanan sporcuların sayısı eşit olsa da kontrol grubunda yer alan U-14 takımı sporcu sayısının eğitim grubuna kıyasla iki fazla oluşudur. U-14 ve U-16 takımlarına ait başlangıçtaki kas mimarisi parametrelerinin benzer olması, bulgular üzerinde oluşabilecek endişeleri giderme noktasında değerlidir. Literatürdeki araştırmalar açısından bakıldığında da ergenlik öncesi ve sonrasındaki genç futbolculara ait karşılaştırmada VL kasına ait PA ve LU ile rektus femoris kasına ait KK ve enine kesit alanı parametrelerinin benzer olduğu görülmektedir (164). VL KK ve VL LU cinsiyetler arasında benzer değişim gösterse de VL PA'nın cinsiyetler arasında farklılık gösterme potansiyeli sebebiyle Mİ ve HG temelli PE'nin kadın sporcular üzerindeki etkilerinin incelenmesi yararlı olabilir (146).

Kas mimarisi parametrelerinin özellikle gruplar arasındaki karşılaştırmalarını son olarak genel değerlendirmelerde tek anlamlı fark gösteren özyeterlilik açısından incelemek gerekir. İmgeleme açısından önemli olduğu için değerlendirilen özyeterlilik yeteneği eğitim grubu lehine yüksek olsa da değerlendirme aracının subjektif olması sebebiyle gruplar arasında fark olduğu konusu tam anlamıyla açık değildir. Nitekim kullanılan ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği 18 yaş üstündeki bireyler için gösterilmiş olup iç tutarlılık kat sayısı 0,80'dir. Araştırmamızdaki sporcuların daha düşük yaş grubunda olması sebebiyle ilgili ölçeğe ilişkin maddeleri ne derecede doğru anladıkları ve cevapladıkları hususu ölçülebilir değildir.

5.5. Kas Mimarisi Ölçümlerinin Güvenirliği

Çalışmamızdaki tüm ölçümler aynı araştırmacı tarafından alınarak analiz edildiği için, kas mimarisi ölçümlerinin güvenirliliği konusunda üzerinde durulabilecek konu test-tekrar test güvenirliliğidir. VL kası açısından bakıldığında test-tekrar test güvenirliliği PA için 0,90; KK için 0,92; LU için ise 0,88 olarak iyi veya mükemmel düzeydedir (123). Amatör erkek sporcularda BFub'nin distal ve proksimal kısımlarından alınan ölçümlere göre LU'nun test-tekrar test katsayısı sırasıyla 0,92 ve 0,98 olarak bulunmuştur. Bu değerler KK için 0,91 ve 0,93; PA içinse 0,77 ve 0,87 olarak gösterilmiştir (165). Araştırmamızda benzer olarak konumlandırılan probdan alınan görüntüler sonrasındaki test-tekrar test güvenirliliği BFub kasının PA, KK ve LU parametreleri için 0,96-0,98 arasında değişecek şekilde mükemmel güvenirliliğe sahiptir (166). Bu sonuçlar VL ve BFub kaslarının farklı zamanlarda aynı araştırmacı tarafından yapılan değerlendirmeleri açısından yüksek bir tutarlılığa sahip olduğunu gösterir. Bu tutarlılığa rağmen incelenmesi gereken konulardan biri, kas mimarisi parametrelerinin zaman içindeki değişiminde istatistiksel olarak anlamlı olmasa da her iki grupta görülen bazı benzer inişli ve çıkışlı değişimlerdir. Buna ait ana sebebin sporcuların mevcut antrenmanlarındaki değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmamızdaki eğitimde her ne kadar detayları belli olan bir PE programı uygulanmış olsa da sporcuların antrenman programları açısından aynı durumu ifade etmek zordur. Bu programlar temelde ısınma, kor stabilizasyon, şut, taktik, teknik çift kale maç ve soğuma gibi kısımlara sahiptir, fakat uygulama süresi, sıklığı ve şiddeti gibi önemli belirleyicileri antrenman süresi boyunca objektif olarak takip edilmemektedir. Bu kapsamda bakıldığında eğitimin ilk ve son dört haftalık süreçlerinde uygulanan Mİ ve HG temelli PE aynı olsa da bu süreçlerdeki antrenman yüklerinin farklı olması muhtemeldir. Bu durum eğitimin verilmediği takip süresi boyunca da geçerlidir. Antrenmanlardaki bu tür dalgalanmaların kas mimarisi parametreleri açısından değişikliklere sebep olabileceği düşünülmektedir. Bunların ötesinde herhangi bir antrenman programına katılmayan ve rutin yaşamlarını sürdüren bireyler üzerinde yapılan kas mimarisi araştırmalarında da ölçümler süresince yatay, artış veya azalış yönlü seyirler görmek mümkündür (152,160). Alışılmış fiziksel aktivitelerini korumaları istenen bireylerde dahi görülebilen bu tür değişimlerin antrenman gibi önemli bir fiziksel aktiviteye katılan sporcularda da gözlemlenmesi

beklenebilecek bir durumdur. Antrenmanın bireysel olarak oluşturabileceği farklı yüklenmeler sebebiyle, bu yöndeki etkilenimlerin aynı grupta yer alan sporcularda da farklılık göstermesi muhtemeldir. Araştırmamızdaki eğitimlerde sporcuların kortikal aktivasyonları incelenmediği için seanslara katılımlarının ve verimliliğinin ne düzeyde olduğu objektif anlamda belirsizdir. Eğitim programının zenginleştirilmesinde ve sporcuların motivasyonlarının artırılmasında motor öğrenme prensipleri kullanılmış olsa da sürekli aynı egzersizlerin uygulanmasına bağlı olarak sporcuların zaman içinde ilgilerinin azalmış olabileceği de düşünülmektedir. Bu durum ilk dört haftadaki kazanımların ikinci dört haftalık süreçte yatay yönlü seyretmesine ortam hazırlamış olabilir. Bu durum, Presland ve ark. (160)'nın NHE ile kuvvette altı hafta süresiyle sürekli artış sağlansa da kas mimarisi parametrelerindeki değişimlerin daha erken gerçekleşerek erken dönemde plato evresine ulaştığını gösterdiği çalışmalarıyla da açıklanabilir.

Kas mimarisi ölçümlerinin tutarlılığı ile ölçümler arasındaki değişikliklerin her ne kadar antrenmanlarla ve literatürdeki farklı çalışmalarla ifade edilebilecek karşılığı olsa da bu çalışmanın araştırmacısı tarafından alınan ultrason ölçümleri ve bunlara yönelik hesaplamalar yine de irdelenmesi gerektiğini düşündüğümüz önemli bir konudur. Bu araştırma kapsamındaki tecrübelerimize göre, VL kası BFub kasına kıyasla anatomik konumu ve sporcunun sırt üstü pozisyonundaki rahatlığı sebebiyle daha kolay görüntülenebilmektedir. Bunun yanı sıra alınan ultrason görüntüleri üzerinde ölçümü en kolay yapılan kas mimarisi parametresinin KK olduğu düşünülmektedir. Nitekim bu ölçüm, alınan görüntülerde proksimal, orta ve distal kısımların belirlenerek aponevrozlar arasındaki mesafenin hesaplanmasını içeren kolay bir uygulama olarak görülmektedir. Araştırmamızdaki kas mimari parametreleri açısından öne çıkan parametre de KK olmuştur.

PA hesaplamaları açısından bakıldığında zorluk oluşturabilecek konu, görüntüde yer alan liflerin tamamıyla aynı açışmaya sahip olmamasıdır. Bu durum elbette literatürdeki diğer araştırmalar açısından da geçerlidir. Araştırmamızdaki PA hesaplamalarına ait tutarlılığı sağlamak amacıyla araştırmacılar görüntüdeki en belirgin ve kesinti göstermeksizin uzanan lifleri tercih etmişlerdir.

Son olarak LU'ya bakıldığında, her ne kadar formül üzerinden hesaplanıyor olsa da bu ölçüm AA, PA ve KK'nin tamamını içerdiği için birçok parametreden etkilenme potansiyeline sahiptir. KK için ifade edilen kolay hesaplama düşüncesinin AA için de geçerli olabileceği dikkate alındığında, LU hesaplamalarındaki kritik ölçümün yine PA olabileceği ifade edilebilir. Lieber (167) kas lifi hangi açıdan çekerse çeksin tendon yapısı boyunca üretilen kuvvet miktarının esasen aynı olduğunu ve PA'nın fonksiyonel öneminin olmadığını belirtse de kas mimarisinin en kilit parametreleri olan LU ve FEKA'nın hesaplanmasında PA önemli bir yere sahiptir. Kas liflerinin rotasyona uğramasını önemli bir sebep olarak gösteren Lieber (167)'in PA'ya yönelik değişen bu anlayışı, gelecek araştırmalarda Nishikawa ve ark. (101)'in dönen filamentler hipotezinde yer alan titin rotasyonu ile birlikte incelenebilir.

5.6. Kas Mimarisi ve Yaralanmalar

Literatürdeki araştırmalar oldukça nadir olsa da araştırmamızdaki VL ve BFub kaslarına ait mimari özelliklerdeki değişimlerin yaralanmalar ve bunların önlenmesi bakımından değerlendirilmesi önemlidir. ÖÇB yaralanması gibi sporcu yaşamını ciddi anlamda etkileyen yaralanma sonrasında VL kasına ait PA, kas hacmi ve enine kesit alanı yaralanmayan tarafa kıyasla anlamlı olarak azalır (168). Bu yaralanmaların ardından PE'leri içeren aktif nöromusküler eğitimler oldukça yararlıdır ve ÖÇB rekonstrüksiyonundan sonra diz fonksiyonu açısından iyileşmeler sağlar (169,170). Araştırmamızda yer alan eğitime yönelik etkilerin ÖÇB rekonstrüksiyonu geçirmiş bireyler üzerinde gösterilmesine ihtiyaç olsa da bu eğitimin sağlıklı adölesan futbolcuların VL kasına ait PA ve KK parametrelerinde sağladığı artış yaralanma sonrası bu kasa ait yapısal toparlanmaya destek olabilir. ÖÇB rekonstrüksiyonundan ancak 10-14 hafta sonra submaksimal yoğunlukla başlayabilen PE'ler fizyoterapist, ortopedist, spor hekimi ve fizik tedavi uzmanının uygun klinik takip ve görüşlerine bağlı olarak haftalar öncesinde Mİ ve HG yöntemleri ile başlayabilir (50). Bu durum rehabilitasyon programına yeni ve özgün bir katkı sağlayabilir. Özellikle genç sporcuların spora dönüşte daha iyi fonksiyonel performansa ve kas yapısına sahip olmalarına fırsat verebilir. BFub kası açısından bakıldığında ÖÇB yaralanması geçiren bireylerde yaralanmış taraf diğer tarafa kıyasla daha düşük LU'ya ve daha yüksek PA'ya sahiptir (12). Hamstring kas yaralanma öyküsü olan profesyonel futbolcular

yaralanmamış futbolculara göre önemli düzeyde daha düşük LU'ya ve KK'ye sahiptir (171). Araştırmamızdaki eğitim dominant tarafa ait LU'yu eğitim sonunda arttırmış görünse de ilk dört haftalık eğitim sonrasında LU başlangıca göre daha düşüktür. Kontrol grubundaki değişimler incelendiğinde sporcuların dominant taraf LU değerlerinin de benzer olarak ilk dört haftada azalış sonraki dört haftada artış gösterir. Bu durum her iki grup açısından diğer taraf LU'da azalış, her iki taraf PA'da artış olarak da benzerdir. Bu sonuçlarımız KK'de artışlar olsa da Mİ ve HG temelli PE gibi sporcuların rutin antrenman programlarının da BFub kasına ait PA'da artış ve LU'da azalışa ortam hazırladığını gösterir. BFub'nin düşük (<10,56 cm) LU'ya sahip olmasının hamstring kası gerilme yaralanma riskini arttırdığı da dikkate alınarak Mİ ve HG temelli PE alan sporcuların antrenmanlarına eksantrik eğitimlerin eklenmesi gerektiği düşünülmektedir (14).

5.7. Sıçrama Performansı

Kas mimarisi parametrelerinin yanı sıra araştırmamızda incelenen bir diğer sonuç ölçütü tek adım sıçrama performansıdır. Eğitim grubundaki sporcuların sıçrama performansındaki gelişim her iki taraf için de kontrol grubuna kıyasla iki katı oranındadır. Sıçrama performansında görülen artışlar için en önemli ve pozitif noktalardan biri bu artışların her iki taraf için simetrik olacak şekilde gerçekleşmesidir. Eğitim grubundaki sporcuların başlangıçta dominant taraf sıçrama performansları diğer tarafa kıyasla yaklaşık 3 cm daha fazla olsa da dördüncü hafta sonunda her iki taraf eşitlenmiş ve bu durum sekizinci haftanın sonuna kadar devam etmiştir. Eğitim grubundaki sporcuların sıçrama performansındaki artışların önemli bir sebebinin, kontrol grubundaki sporcularda görülen artışların da yansıttığı gibi sporcuların rutin antrenman programlarının etkileri olduğu düşünülmektedir. Fakat bu artışlar sınırlı düzeydedir ve eğitim grubundaki yüksek artışlar temel olarak Mİ ve HG temelli PE'den kaynaklanmaktadır. Battaglia ve ark. (172)'ın sıçramaya yönelik altı haftalık Mİ ve HG temelli eğitim sonrasında sıçrama performansında artışlar olduğunu göstermesi araştırmamızı desteklemektedir. Bununla birlikte sıçrama performansındaki artışlar alt ekstremité kaslarına yönelik kuvvet gelişiminden de kaynaklanabilir. Araştırmamız kuvvet parametresine yönelik değerlendirmeleri içermiyor olsa da Mİ ve HG yöntemlerinin birlikte kullanıldığı daha önceki

araştırmalar kuvvet artışına yönelik sonuçlar ortaya koymaktadır (63,78,130). PE'ler sıçrama performansında alt ekstremite kas mimarisi ve kuvvet performansında iyileştirmeler sağlamaktadır (173). Araştırmamızda VL PA ve VL KK açısından görülen artışların sıçrama süresinceki kuvvet ile pozitif yönlü ilişki göstermesi eğitim grubundaki sporcularda görülen yüksek artışı destekleyebilir (174). Futbolcular açısından bakıldığında, VL KK hem maksimum hem de ortalama güce katkıda bulunabilir (175). Bunun yanı sıra, kontrol grubunda yer alan U-14 takımı sporcularının eğitim grubuna kıyasla sayıca fazla oluşu ve U-14 takımındaki sporcularının U-16 takımındaki sporculara kıyasla daha düşük sıçrama performansı göstermesi gruplar arasındaki farka etki edebilir. Grupların başlangıçta sosyodemografik, kas mimarisi ve sıçrama performansı açısından benzer oluşu sebebiyle bu etkinin oldukça düşük düzeyde olduğu düşünülmektedir.

Araştırmamızdaki Mİ ve HG temelli PE'nin sıçrama performansı üzerinde sağladığı artış farklı bir perspektiften de incelenebilir. Araştırmamızdaki eğitimin Mİ ve HG temelli olması, araştırmacıların pasifize edilerek sadece sporcuların kendilerine gösterilen videoları izlemesi ve buna yönelik hayal kurmaları anlamını taşımamaktadır. Araştırmacıların eğitim süresince motor öğrenme prensiplerini kullanmalarının, sporcuları motive etmelerinin, egzersiz aralarında doğru duruş, doğru sıçrayış ve doğru iniş gibi PE'ye yönelik bilgi vermelerinin de sıçrama performansı üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada sporculara eğitim süresince hatırlatılan bilgilerin ve sporcular tarafından gözlemlenen doğru hareketlerin temel düzeyde teorik bir PE anlatımı içerdiği ifade edilebilir. Sarafrazi ve ark. (33)'ı kadın beden eğitimi öğrencilerinde sıçrama ve inişe yönelik imgelemenin diz ve kalça fleksiyon açısına etkisini araştırdıkları çalışmalarında, imgeleme eğitimi sonrasında bireylerin daha düşük valgus açısına, daha yüksek diz ve kalça fleksiyon açılarına sahip oldukları gösterilmiştir. Biyomekanik açıdan sağlanan bu iyileşmeler sıçrama performansı açısından da kazanımlar sağlayabilir. Gelecek çalışmalarda Mİ ve HG olmaksızın sadece PE konusunda kısa bir teorik bilgi eğitimi alan sporcuların sıçrama performanslarındaki etkiler incelenebilir.

5.8. Kas Mimarisi ve Sıçrama Performansı

Araştırmamızın primer sonuç ölçütü olan kas mimarisi ile sekonder sonuç ölçütü olan sıçrama performansı arasındaki ilişkiler incelendiğinde, dominant ve nondominant taraflarda anlamlı bir ilişki bulunmadı. Bu durum, Ruiz-Cardenas ve ark. (176)'ın VL kas mimarisi özellikleri ile skuat sıçrama mesafesi arasında ilişki olmadığını ortaya koydukları sistematik derleme ve meta analizlerinin sonucuyla desteklenmektedir. Benzer olarak Radnor ve ark. (177)'nin çalışmasında VL KK'nin karşı hareket sıçrama yüksekliği ile zayıf bir ilişki gösterse de güven aralığının KK'nin sıçrama üzerinde etkisi olacağı fikrini desteklemek için çok geniş olduğu bildirilmiştir. Direnç eğitimi alan erkek bireylerde yapılan çalışmada ise VL kas mimarisi özelliklerinin sıçrama ile ilişkili olmadığı gösterilmiştir (178). Buna karşın VL KK, rebound jump yüksekliği ile zayıf ila orta derecede bir ilişki gösterir (177). Benzer yaş grubuna sahip erkek sörf sporcularında, VL KK'nin yanı sıra VL PA'nın karşı hareket sıçrama ve skuat sıçrama pik kuvveti ile anlamlı şekilde ilişkilidir (174). Literatürdeki bu farklı sonuçlar dikkate alındığında, kas mimarisi ve sıçramaya yönelik ilişkisel incelemelerin farklı sıçrama türlerinde ve farklı örneklemeler üzerinde araştırılmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Genç futbolculara ait 30 m sprint süresinin BFub PA, KK ve LU mimari parametreleriyle olmasa da enine kesit alanıyla gösterdiği önemli ilişkiler ($r = -0,61$; %95 GA: -0,73 ile -0,45) göz önünde bulundurularak kas mimarisinin fonksiyona yönelik yansımaları açısından FEKA değerlendirilebilir (15).

5.9. Limitasyonlar

Bu araştırma Mİ ve HG yöntemiyle uygulanan PE'nin VL ve BFub kas mimarileri üzerindeki etkilerine yönelik ilk kanıtları ortaya koyması bakımından kuvvetli bir yöne sahiptir. Buna karşın araştırmamızın aşağıda detayları verilen limitasyonları mevcuttur:

- ⚽ Çalışmada kontrol grubu yer alsa da sporcuların antrenmanlarına yönelik standardizasyonun tam olarak sağlanamaması ve sporcuların antrenmandaki ve günlük yaşamlarındaki bireysel performanslarının takip edilememesi,

- ⚽ Sporcuların akademik eğitim ve antrenman programları sebebiyle Mİ ve HG temelli PE'nin akşam saatlerinde uygulanabilmesi,
- ⚽ Sporcuların gruplara yerleşimi rastgele yapılmış olsa da değerlendirmede körleme yapılamamış olması,
- ⚽ Ultrason ölçümlerinin geçerli ve güvenilir olduğu literatürde belirtilmiş ve araştırmacıların uluslararası geçerliliğe sahip ultrason eğitimi sertifikaları olsa da çalışmada test-tekrar test güvenilirliğinin gösterilmemesi,
- ⚽ Araştırmada eğitim süresince beyin kısımlarının aktivasyonuna ve kaslarının kuvvetine yönelik herhangi bir ölçümün yer almamasıdır.

Beyin aktivasyonuna yönelik yapılabilecek bir inceleme eğitimde yer alan egzersizlerin ve bunların eğitim süresince farklı seanslardaki etkinliğinin ortaya konması bakımından yol gösterici olabilir. Kuvvet parametresine yönelik yapılacak objektif değerlendirme kas mimarisi parametrelerinin daha net bir şekilde yorumlanmasına olanak sağlar.

Sonuç olarak, bu çalışma Mİ ve HG temelli bir eğitimin kas mimarisi üzerindeki etkilerine yönelik bildiğimiz kadarıyla ilk kanıtları sunmaktadır. Bu yöntemle uygulanan PE adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına eklendiğinde VL kasına ait PA ve KK ile BFub'ye ait KK'de önemli artışlar oluşturabilir. Kontrol grubuyla kıyaslandığında uygulanan eğitime ilişkin katkılar her iki kasa ait KK ve sporcuların tek adım sıçrama performansı bakımından ön plana çıkmaktadır. Bu olumlu etkilerin elde edilebilmesi için literatürde yer alan EMG çalışmaları ile PE ve Mİ prensipleri dikkate alınmalıdır. Bu eğitim sayesinde sporcuların sezon sonu ara gibi olağan veya pandemi gibi olağandışı durumlarda kas mimarisi ve performansa ilişkin negatif etkilenimleri azaltılabilir. Ortaya konan etkilere yönelik sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için beyin aktivasyonu ve kas kuvveti değerlendirmelerini de içeren gelecek araştırmalara ihtiyaç vardır. Bu araştırmalar PE'nin fazlarına göre statik ve dinamik kas mimarisi kapsamında gerçekleştirilebilir. Yaralanmaların önlenmesi ve yaralanma sonrası rehabilitasyon süreci kapsamında incelemeler yapılabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmaya yönelik ifade edilen hipotezler kapsamında değerlendirildiğinde eş zamanlı Mİ ve HG temelli eğitimin kas mimarisi ve sıçrama performansı üzerinde etkili olacağına yönelik varsayımlar kabul edilmiş, kas mimarisi ve sıçrama performansı arasında ilişki olabileceğine yönelik hipotez reddedilmiştir. Ortaya konan sonuçların ülkemizde ve dünyada ilgili alanda çalışan klinisyen ve akademisyenlere yeni bir perspektif sunacağı, gelecekteki araştırmalar için fikirler vereceği ve mevcut ihtiyaçların çözümü noktasında destek olacağı düşünülmektedir.

Bu kapsamda araştırmanın sonuçları:

- ⚽ Mİ ve HG temelli PE, adölesan futbolcuların dominant ve nondominant taraf VL kasına ait PA ve KK parametrelerinde önemli artışlar sağlamak için rutin antrenman programlarına eklenebilir.
- ⚽ Mİ ve HG temelli PE, adölesan futbolcuların BFub kası KK'sini geliştirmek amacıyla rutin antrenman programlarına eklenebilir.
- ⚽ PA ve KK parametrelerindeki artış ile LU'daki azalışlara bağlı olarak Mİ ve HG temelli PE'nin spesifik bir konsantrik eğitim yönünde etki gösterir.
- ⚽ Adölesan futbolcuların rutin antrenman programlarına katılımları BFub için olmasa da VL KK bakımından zaman içerisinde önemli artışlar sağlar.
- ⚽ Mİ ve HG temelli PE, adölesan futbolcuların her iki taraf tek adım sıçrama performansını simetrik şekilde geliştirmek için rutin antrenman programlarına eklenebilir.

Bu sonuçlara bağlı olarak öneriler:

- Mİ ve HG temelli PE'nin kas mimarisi üzerindeki etkinliğinin daha net anlaşılabilmesi için, PE'nin fazlarına göre inceleme yapmak maksadıyla elektroensefalografi gibi beyin görüntüleme araçları kuvvet platformu, EMG ölçümleri ve dinamik ultrason ölçümleri birlikte kullanılabilir.
- Mİ ve HG temelli PE'nin özellikle VL kası açısından ön plana çıkan ve BFub kası açısından da geçerli olabilecek konsantrik kontraksiyon yönündeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, sporcuların antrenmanlarına ayrıca eksantrik eğitimlerin eklenmesi yararlı olabilir.

- Mİ ve HG temelli PE'nin etkinliğini özellikle sıçrama performansı açısından arttırmak için motor öğrenme prensipleri kullanılabilir.
- Kas mimarisi parametrelerinde sporcuların antrenman programlarından ve bireysel performanslarından kaynaklı olabilecek inişli çıkışlı seyirlerin daha net açıklanabilmesi için antrenmanlar standardize edilebilir. Mİ ve HG temelli PE'nin etkileri sağlıklı sedanter adölesan bireylerde de incelenebilir.
- PE'nin konsantrik ve eksantrik kontraksiyonların her ikisini içermesi ve bu tür kontraksiyonların kas mimarisi üzerinde farklı etkiler göstermesi sebebiyle, Mİ ve HG temelli izole konsantrik ve eksantrik eğitimlerin kas mimarisi üzerindeki etkileri ayrı ayrı araştırılabilir.
- Gelecek araştırmalar Mİ ve HG temelli PE'nin yaralanmalardan koruyucu etkisine ve yaralanma hikayesi olan sporculardaki etkinliğine odaklanabilir. Benzer olumlu etkiler gösterildiğinde ÖÇB gibi önemli yaralanmalardan ancak 10-14 hafta sonra submaksimal yoğunlukla uygulanan PE'ler haftalar öncesinde Mİ ve HG yöntemleri ile başlayabilir.
- Sporcuların antrenman programlarının rutin sezon planlamalarında yer alacak şekilde olağan veya son yıllarda yaşanan Covid-19 salgını gibi olağandışı durumlar sebebiyle sekteye uğraması durumunda, kas mimari yapısını korumak ve sıçrama performansını geliştirmek amacıyla Mİ ve HG temelli PE telerehabilitasyon yöntemiyle uygulanabilir.

7. KAYNAKLAR

1. FIFA. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. FIFA Communications Division, Information Services. 2007;31:1–12.
2. Watson A, Mjaanes JM. Soccer injuries in children and adolescents. *Pediatrics*. 2019;144(5).
3. Dut R. Adolesan Erkek Futbolcularda Biyolojik Maturasyon ve Yaralanma İlişkisi [Doktora Tezi]. Ankara: Hacettepe Üniversitesi; 2019.
4. Robles-Palazón FJ, López-Valenciano A, De Ste Croix M, Oliver JL, García-Gómez A, Sainz de Baranda P, ve ark. Epidemiology of injuries in male and female youth football players: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 2022;11(6):681–95.
5. López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M, Myer GD, ve ark. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2020;54(12):711–8.
6. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011;39(6):1226–32.
7. Ekstrand J, Bengtsson H, Waldén M, Davison M, Khan KM, Häggglund M. Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. *Br J Sports Med*. 2023;57(5):292–8.
8. Williams GN, Barrance PJ, Snyder-Mackler L, Axe MJ, Buchanan TS. Specificity of muscle action after anterior cruciate ligament injury. *Journal of Orthopaedic Research*. 2003;21(6):1131–7.
9. Guelich DR, Xu D, Koh JL, Nuber GW, Zhang LQ. Different roles of the medial and lateral hamstrings in unloading the anterior cruciate ligament. *Knee*. 2016;23(1):97–101.
10. Yang JH, Eun SP, Park DH, Kwak HB, Chang E. The Effects of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Individual Quadriceps Muscle Thickness and Circulating Biomarkers. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24).
11. Noehren B, Andersen A, Hardy P, Johnson DL, Ireland ML, Thompson KL, ve ark. Cellular and Morphological Alterations in the Vastus Lateralis Muscle as the Result of ACL Injury and Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(18):1541–7.
12. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps Femoris Architecture and Strength in Athletes with a Previous Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(3):337–45.
13. Nuñez FJ, Ritzmann R, Hernandez-Abad F, Martinez JC, Suarez-Arrones L. Muscle Architecture, Morphology, and Mechanical and Functional Properties of Biceps Femoris Long Head in Professional Soccer Players with a Prior Healed Injured Hamstring. *J Clin Med*. 2022;11(23).

14. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(24):1524–35.
15. Ritsche P, Bernhard T, Roth R, Lichtenstein E, Keller M, Zingg S, ve ark. M. Biceps Femoris Long Head Architecture and Sprint Ability in Youth Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2021;16(11):1616–24.
16. Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Lloyd RS. Muscle Architecture and Maturation Influence Sprint and Jump Ability in Young Boys: A Multistudy Approach. *J Strength Cond Res.* 2022;36(10):2741–51.
17. Lee JH, Lee HS. Comparisons of vastus lateralis architecture and biomechanical characteristics during drop landing in young football players. *Exercise Science.* 2021;30(3):378–86.
18. Jin JD, Lee HS. Effects of Vastus Lateralis Muscle Fascicle Length on Isokinetic Muscle Strength and Dynamic Balance in Youth Soccer Players. *Exercise Science.* 2019;28(4):373–80.
19. Aslan CS, Akça F, Müniroğlu S. Süper Lig futbol takımlarının altyapılarından oyuncu yetiştirme verimliliklerinin incelenmesi. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi.* 2015;13(2):103–12.
20. Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, ve ark. Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(3):609–17.
21. Asadi A, Arazi H, Young WB, de Villarreal ES. The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(5):563–73.
22. Stojanović E, Ristić V, McMaster DT, Milanović Z. Effect of Plyometric Training on Vertical Jump Performance in Female Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2017;47(5):975–86.
23. Oxfeldt M, Overgaard K, Hvid LG, Dalgas U. Effects of plyometric training on jumping, sprint performance, and lower body muscle strength in healthy adults: A systematic review and meta-analyses. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(10):1453–65.
24. Gómez-Bruton A, Matute-Llorente Á, González-Agüero A, Casajús JA, Vicente-Rodríguez G. Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World J Pediatr.* 2017;13(2):112–21.
25. Johnson BA, Salzberg CL, Stevenson DA. A systematic review: plyometric training programs for young children. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2623–33.
26. van de Hoef PA, Brauers JJ, van Smeden M, Backx FJG, Brink MS. The Effects of Lower-Extremity Plyometric Training on Soccer-Specific Outcomes in Adult Male Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;15(1):3–17.

27. Čaprić I, Stanković M, Manić M, Preljević A, Špirtović O, Dordević D, ve ark. Effects of plyometric training on agility in male soccer players-a systematic review. *J Mens Health*. 2022;18(7):147.
28. Ando R, Nosaka K, Tomita A, Watanabe K, Blazeovich AJ, Akima H. Vastus intermedius vs vastus lateralis fascicle behaviors during maximal concentric and eccentric contractions. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(3):1018–26.
29. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(3):499–508.
30. Monti E, Franchi M v., Badiali F, Quinlan JI, Longo S, Narici M v. The time-course of changes in muscle mass, architecture and power during 6 weeks of plyometric training. *Front Physiol*. 2020;11:1–14.
31. Hétu S, Grégoire M, Saimpont A, Coll MP, Eugène F, Michon PE, et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013;37(5):930–49.
32. Lebon F, Guillot A, Collet C. Increased muscle activation following motor imagery during the rehabilitation of the anterior cruciate ligament. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2012;37(1):45–51.
33. Sarafrazi S, Abdulah RTB, Amiri-Khorasani M. Kinematic analysis of hip and knee angles during landing after imagery in female athletes. *J Strength Cond Res*. 2012;26(9):2356–63.
34. Trinidad-Fernandez M, Gonzalez-Molina F, Moya-Esteban A, Roldan-Jimenez C, Gonzalez-Sanchez M, Cuesta-Vargas AI. Muscle activity and architecture as a predictor of hand-grip strength. *Physiol Meas*. 2020;41(7).
35. Kirmaci ZİK, Firat T, Özkur HA, Neyal AM, Neyal A, Ergun N. Muscle architecture and its relationship with lower extremity muscle strength in multiple sclerosis. *Acta Neurol Belg*. 2022;122(6):1521–8.
36. Emirzeoğlu M, Ülger Ö. The Acute Effects of Cognitive-Based Neuromuscular Training and Game-Based Training on the Dynamic Balance and Speed Performance of Healthy Young Soccer Players: A Randomized Controlled Trial. *Games Health J*. 2021;10(2):121–9.
37. Adolescent population (thousands) [Internet]. 2023 [8 Nisan 2023]. Erişim adresi: [https://platform.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent-ageing/indicator-explorer-new/mca/adolescent-population-\(thousands\)](https://platform.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent-ageing/indicator-explorer-new/mca/adolescent-population-(thousands))
38. Adolescent-Overview [Internet]. 2023 [8 Nisan 2023]. Erişim adresi: <https://platform.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent-ageing/adolescent-data>
39. Adolescent-Demographics [Internet]. 2023 [8 Nisan 2023]. Erişim adresi: <https://platform.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent-ageing/adolescent-data/adolescent---demographics>

40. Bennie JA, Faulkner G, Smith JJ. The epidemiology of muscle-strengthening activity among adolescents from 28 European countries. *Scand J Public Health*. 2022;50(2):295–302.
41. Adolescent-Risk factors [Internet]. 2023 [8 Nisan 2023]. Erişim adresi: <https://platform.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent-ageing/adolescent-data/adolescent---risk-factors>
42. Lloyd RS, Oliver JL. The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J*. 2012;34(3):61–72.
43. Brown KA, Patel DR, Darmawan D. Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Transl Pediatr*. 2017;6(3):150.
44. McBurnie AJ, Dos'santos T, Johnson D, Leng E. Training Management of the Elite Adolescent Soccer Player throughout Maturation. *Sports (Basel)*. 2021;9(12).
45. Davies G, Riemann BL, Manske R. Current Concepts of Plyometric Exercise. *Int J Sports Phys Ther*. 2015;10(6):760.
46. Ramírez-de la Cruz M, Bravo-Sánchez A, Esteban-García P, Jiménez F, Abián-Vicén J. Effects of Plyometric Training on Lower Body Muscle Architecture, Tendon Structure, Stiffness and Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*. 2022;8(1).
47. Sadigursky D, Almeida Braid J, Neiva D, De Lira L, Almeida B, Machado B, ve ark. The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2017;9:18.
48. Al Attar WSA, Bizzini M, Alzahrani H, Alarifi S, Ghulam H, Alyami M, ve ark. The FIFA 11+ Kids Injury Prevention Program Reduces Injury Rates Among Male Children Soccer Players: A Clustered Randomized Controlled Trial. *Sports Health*. 2023;15(3):397-409
49. Andrade DC, Manzo O, Beltrán AR, Álvarez C, Del Rio R, Toledo C, ve ark. Kinematic and Neuromuscular Measures of Intensity During Plyometric Jumps. *J Strength Cond Res*. 2020;34(12):3395–402.
50. Buckthorpe M, della Villa F. Recommendations for Plyometric Training after ACL Reconstruction - A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther*. 2021;16(3):879–95.
51. Jarvis MM, Graham-Smith P, Comfort P. A Methodological Approach To Quantifying Plyometric Intensity. *J Strength Cond Res*. 2016;30(9):2522-2532.
52. Ramirez-campillo R, Moran J, Oliver JL, Pedley JS, Lloyd RS, Granacher U. Programming Plyometric-Jump Training in Soccer: A Review. *Sports (Basel)*. 2022;10(6).
53. Taube W, Leukel C, Gollhofer A. How neurons make us jump: The neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exerc Sport Sci Rev*. 2012;40(2):106–15.
54. Davies MED GJ, Matheson JW. Shoulder Plyometrics. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2001;9(1):1-18.

55. Eaves DL, Riach M, Holmes PS, Wright DJ. Motor imagery during action observation: A brief review of evidence, theory and future research opportunities. *Front Neurosci.* 2016;10(Nov):514.
56. Mizuguchi N, Kanosue K. Changes in brain activity during action observation and motor imagery: Their relationship with motor learning. *Prog Brain Res.* 2017;234:189–204.
57. Héту S, Grégoire M, Saimpont A, Coll MP, Eugène F, Michon PE, et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37(5):930–49.
58. Nakano H, Kodama T. Motor Imagery and Action Observation as Effective Tools for Physical Therapy. Suzuki T. *Neurological Physical Therapy.* InTech; 2017.
59. Wakefield C, Smith D. Perfecting Practice: Applying the PETTTLEP Model of Motor Imagery. *J Sport Psychol Action.* 2012;3(1):1–11.
60. S. Holmes, David J. Collins P. The PETTTLEP Approach to Motor Imagery: A Functional Equivalence Model for Sport Psychologists. *J Appl Sport Psychol.* 2001;13(1):60–83.
61. Taube W, Mouthon M, Leukel C, Hoogewoud HM, Annoni JM, Keller M. Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study. *Cortex.* 2015;64:102–14.
62. Losana-Ferrer A, Manzananas-López S, Cuenca-Martínez F, Paris-Alemany A, la Touche R. Effects of motor imagery and action observation on hand grip strength, electromyographic activity and intramuscular oxygenation in the hand gripping gesture: A randomized controlled trial. *Hum Mov Sci.* 2018;58:119–31.
63. Slimani M, Tod D, Chaabene H, Miarka B, Chamari K. Effects of Mental Imagery on Muscular Strength in Healthy and Patient Participants: A Systematic Review. *J Sports Sci Med.* 2016;15(3):434–450.
64. Nicholson V, Watts N, Chani Y, Keogh JW. Motor imagery training improves balance and mobility outcomes in older adults: a systematic review. *J Physiother.* 2019;65(4):200–7.
65. Hoyek N, di Rienzo F, Collet C, Hoyek F, Guillot A. The therapeutic role of motor imagery on the functional rehabilitation of a stage II shoulder impingement syndrome. *Disabil Rehabil.* 2014;36(13):1113–9.
66. Moukarzel M, di Rienzo F, Lahoud JC, Hoyek F, Collet C, Guillot A, et al. The therapeutic role of motor imagery during the acute phase after total knee arthroplasty: a pilot study. *Disabil Rehabil.* 201;41(8):926–33.
67. Zapparoli L, Sacheli LM, Seghezzi S, Preti M, Stucovitz E, Negrini F, et al. Motor imagery training speeds up gait recovery and decreases the risk of falls in patients submitted to total knee arthroplasty. *Sci Rep.* 2020;10(1).

68. Paravlic AH, Pisot R, Marusic U. Specific and general adaptations following motor imagery practice focused on muscle strength in total knee arthroplasty rehabilitation: A randomized controlled trial. *PLoS One*. 2019;14(8).
69. Marusic U, Grosprêtre S, Paravlic A, Kovač S, Pišot R, Taube W. Motor Imagery during Action Observation of Locomotor Tasks Improves Rehabilitation Outcome in Older Adults after Total Hip Arthroplasty. *Neural Plast*. 2018;2018:5651391.
70. Cuenca-Martínez F, Suso-Martí L, Sánchez-Martín D, Soria-Soria C, Serrano-Santos J, Paris-Alemany A, et al. Effects of Motor Imagery and Action Observation on Lumbo-pelvic Motor Control, Trunk Muscles Strength and Level of Perceived Fatigue: A Randomized Controlled Trial. *Res Q Exerc Sport*. 2020;91(1):34–46.
71. Suso-Martí L, León-Hernández JV, Touche R la, Paris-Alemany A, Cuenca-Martínez F. Motor Imagery and Action Observation of Specific Neck Therapeutic Exercises Induced Hypoalgesia in Patients with Chronic Neck Pain: A Randomized Single-Blind Placebo Trial. *J Clin Med*. 2019;8(7).
72. Suso-Martí L, la Touche R, Angulo-Díaz-Parreño S, Cuenca-Martínez F. Effectiveness of motor imagery and action observation training on musculoskeletal pain intensity: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Pain*. 2020;24(5):886–901.
73. Rannaud Monany D, Papaxanthis C, Guillot A, Lebon F. Motor imagery and action observation following immobilization-induced hypoactivity: A narrative review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2022;65(4).
74. Fekih S, Zguira MS, Koubaa A, Masmoudi L, Bragazzi NL, Jarraya M. Effects of Motor Mental Imagery Training on Tennis Service Performance during the Ramadan Fasting: a Randomized, Controlled Trial. *Nutrients* [Internet]. 2020;12(4).
75. Paravlic AH, Slimani M, Tod D, Marusic U, Milanovic Z, Pisot R. Effects and Dose-Response Relationships of Motor Imagery Practice on Strength Development in Healthy Adult Populations: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*. 2018;48(5):1165–87.
76. Olsson CJ, Nyberg L. Motor imagery: if you can't do it, you won't think it. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(5):711–5.
77. van Dyk N, Behan FP, Whiteley R. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *Br J Sports Med*. 2019;53(21):1362–70.
78. Scott M, Taylor S, Chesterton P, Vogt S, Eaves DL. Motor imagery during action observation increases eccentric hamstring force: an acute non-physical intervention. *Disabil Rehabil*. 2018;40(12):1443–51.
79. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clin Sports Med*. 2017;36(1):1–8.

80. Rodriguez RM, Marroquin A, Cosby N. Reducing Fear of Reinjury and Pain Perception in Athletes With First-Time Anterior Cruciate Ligament Reconstructions by Implementing Imagery Training. *J Sport Rehabil.* 2019;28(4):385–9.
81. Pastora-bernal JM, Estebanez-pérez MJ, Lucena-anton D, García-lópez FJ, Bort-carballo A, Martín-valero R. The Effectiveness and Recommendation of Motor Imagery Techniques for Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *J Clin Med.* 2021;10(3):1–15.
82. Guillot A, Collet C. Construction of the Motor Imagery Integrative Model in Sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *Int Rev Sport Exerc Psychol.* 2008;1(1):31–44.
83. Frontera WR, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Behav Genet.* 2015;45(2):183–95.
84. Chal J, Pourquoié O. Making muscle: skeletal myogenesis in vivo and in vitro. *Development.* 2017;144(12):2104–22.
85. Csapo R, Gumpenberger M, Wessner B. Skeletal Muscle Extracellular Matrix – What Do We Know About Its Composition, Regulation, and Physiological Roles? A Narrative Review. *Front Physiol.* 2020;11:253.
86. Dave HD, Shook M, Varacallo M. Anatomy, Skeletal Muscle. *StatPearls .* 2022. 1-9.
87. Sweeney HL, Hammers DW. Muscle Contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 2018;10(2).
88. Lieber RL. Skeletal Muscle: Structure, Function and Plasticity. 3,5. Shirley Ryan AbilityLab; 2022.
89. Pham S, Puckett Y. Physiology, Skeletal Muscle Contraction. *StatPearls.* 2022
90. Squire J. Special Issue: The Actin-Myosin Interaction in Muscle: Background and Overview. *Int J Mol Sci.* 2019;20(22).
91. Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2011;366(1570):1466–76.
92. Lieber RL, Fridén J. Clinical significance of skeletal muscle architecture. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;383:140–51.
93. Lieber RL, Roberts TJ, Blemker SS, Lee SSM, Herzog W. Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1).
94. Ward SR, Lieber RL. Density and hydration of fresh and fixed human skeletal muscle. *J Biomech.* 2005;38(11):2317–20.
95. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol.* 2017;8:447.
96. Huxley AF, Niedergerke R. Structural changes in muscle during contraction; interference microscopy of living muscle fibres. *Nature.* 1954;173(4412):971–3.

97. Huxley H, Hanson J. Changes in the Cross-Striations of Muscle during Contraction and Stretch and their Structural Interpretation. *Nature* 1954 173:4412. 1954;173(4412):973–6
98. Clarke M. Muscle sliding filaments. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2010;9(S1):7–7.
99. Montesano P, Palermi S, Massa B, Mazzeo F. From “sliding” to “winding” filaments theory: A narrative review of mechanisms behind skeletal muscle contraction. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2020;15:S806–14.
100. Hessel AL, Lindstedt SL, Nishikawa KC. Physiological Mechanisms of Eccentric Contraction and Its Applications: A Role for the Giant Titin Protein. *Front Physiol.* 2017;8:70.
101. Nishikawa KC, Monroy JA, Uyeno TE, Yeo SH, Pai DK, Lindstedt SL. Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction. *Proc Biol Sci.* 2012;279(1730):981-90.
102. van der Pijl RJ, Hudson B, Granzier-Nakajima T, Li F, Knottnerus AM, Smith J, et al. Deleting Titin's C-Terminal PEVK Exons Increases Passive Stiffness, Alters Splicing, and Induces Cross-Sectional and Longitudinal Hypertrophy in Skeletal Muscle. *Front Physiol.* 2020;11:494.
103. Nishikawa K. Eccentric contraction: unraveling mechanisms of force enhancement and energy conservation. *J Exp Biol.* 2016;219(Pt 2):189–96.
104. Williams SE, Cumming J, Ntoumanis N, Nordin-Bates SM, Ramsey R, Hall C. Further validation and development of the movement imagery questionnaire. *J Sport Exerc Psychol.* 2012;34(5):621–46.
105. Dilek B, Ayhan Ç, Yakut Y. Reliability and validity of the Turkish version of the movement imagery questionnaire-3: Its cultural adaptation and psychometric properties. *Neurol Sci Neurophysiol* 2020;37(4):221.
106. Sherer M, Maddux JE, Mercandante B, Prentice-Dunn S, Jacobs B, Rogers RW. The Self-Efficacy Scale: Construction and Validation. *Psychol Rep.* 1982;51(2):663–71.
107. Yıldırım F, İlhan İÖ. Genel özyeterlilik ölçeği Türkçe formunun geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Türk Psikiyatri Dergisi.* 2010;21(4):301–8.
108. Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, de Azevedo Franke R, Karamanidis K, Vaz MA. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle Nerve.* 2013;48(4):498–506.
109. Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* (1985). 2007;103(5):1565–75.
110. Alonso-Fernandez D, Docampo-Blanco P, Martinez-Fernandez J. Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(1):88–94.
111. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, al Najjar A, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring

- architecture and morphology: implications for injury prevention. *Br J Sports Med.* 2017;51(5):469–77.
112. Freitas SR, Marmeleira J, Valamatos MJ, Blazeovich A, Mil-Homens P. Ultrasonographic Measurement of the Biceps Femoris Long-Head Muscle Architecture. *J Ultrasound Med.* 2018;37(4):977–86.
 113. Raj IS, Bird SR, Shield AJ. Reliability of ultrasonographic measurement of the architecture of the vastus lateralis and gastrocnemius medialis muscles in older adults. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012;32(1):65–70.
 114. Dingenen B, Truijen J, Bellemans J, Gokeler A. Test-retest reliability and discriminative ability of forward, medial and rotational single-leg hop tests. *Knee.* 2019;26(5):978–87.
 115. Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, Alcock GK, Giffin JR. Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther.* 2007;87(3):337–49.
 116. Nygaard Falch H, Guldteig Rædergård H, Van den Tillaar R. Relationship of Performance Measures and Muscle Activity between a 180° Change of Direction Task and Different Countermovement Jumps. *Sports (Basel).* 2020;8(4):47.
 117. Earp JE, Stucchi DT, DeMartini JK, Roti MW. Regional Surface Electromyography of the Vastus Lateralis During Strength and Power Exercises. *J Strength Cond Res.* 2016;30(6):1585-1591.
 118. Struminger AH, Lewek MD, Goto S, Hibberd E, Blackburn JT. Comparison of gluteal and hamstring activation during five commonly used plyometric exercises. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2013;28(7):783-789.
 119. Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, Limroongreungrat W. Knee Muscular Control During Jump Landing in Multidirections. *Asian J Sports Med.* 2016;7(2):e31248.
 120. Gokeler A, Neuhaus D, Benjaminse A, Grooms DR, Baumeister J. Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury. *Sports Med.* 2019;49(6):853–65.
 121. Tatla SK, Jarus T, Virji-Babul N, Holsti L. The development of the Pediatric Motivation Scale for rehabilitation. *Can J Occup Ther.* 2015;82(2):93-105.
 122. Kurt M, Şimşek TT. Pediatrik Motivasyon Ölçeği Türkçe formunun geçerlik ve güvenilirliği. *JETR.* 2018;5(2):116–24.
 123. Coratella G, Beato M, Milanese C, Longo S, Limonta E, Rampichini S, et al. Specific adaptations in performance and muscle architecture after weighted jumpsquat vs. body mass squat jump training in recreational soccer players. *J Strength Cond Res.* 2018;32(4):921–9.
 124. Hayran M, Hayran M. Sağlık Araştırmaları için Temel İstatistik Murat Hayran. Ankara; 2020

125. Padfield N, Zabalza J, Zhao H, Masero V, Ren J. EEG-Based Brain-Computer Interfaces Using Motor-Imagery: Techniques and Challenges. *Sensors (Basel)*. 2019;19(6):1423.
126. Zhang Q, Zhang P, Song L, et al. Brain Activation of Elite Race Walkers in Action Observation, Motor Imagery, and Motor Execution Tasks: A Pilot Study. *Front Hum Neurosci*. 2019;13:80.
127. Zhang LL, Pi YL, Shen C, Zhu H, Li XP, Ni Z, et al. Expertise-Level-Dependent Functionally Plastic Changes During Motor Imagery in Basketball Players. *Neuroscience*. 2018;380:78–89.
128. Cengiz B, Vurallı D, Zinnuroğlu M, Bayer G, Golmohammadzadeh H, Günendi Z, et al. Analysis of mirror neuron system activation during action observation alone and action observation with motor imagery tasks. *Exp Brain Res*. 2018;236(2):497–503.
129. Losana-Ferrer A, Manzananas-López S, Cuenca-Martínez F, Paris-Alemany A, la Touche R. Effects of motor imagery and action observation on hand grip strength, electromyographic activity and intramuscular oxygenation in the hand gripping gesture: A randomized controlled trial. *Hum Mov Sci*. 2018;58:119–31.
130. Saumur TM, Perry SD. Using Motor Imagery Training to Increase Quadriceps Strength: A Pilot Study. *Eur Neurol*. 2018;80(1–2):87–92.
131. Nakagawa K, Masugi Y, Saito A, Obata H, Nakazawa K. Influence of motor imagery on spinal reflex excitability of multiple muscles. *Neurosci Lett*. 2018;668:55–9.
132. Kaneko N, Masugi Y, Usuda N, Yokoyama H, Nakazawa K. Muscle-Specific Modulation of Spinal Reflexes in Lower-Limb Muscles during Action Observation with and without Motor Imagery of Walking. *Brain Sci*. 2019;9(12).
133. Coratella G, Beato M, Milanese C, Longo S, Limonta E, Rampichini S, et al. Specific Adaptations in Performance and Muscle Architecture After Weighted Jump-Squat vs. Body Mass Squat Jump Training in Recreational Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2018;32(4):921–9.
134. Monti E, Franchi M V., Badiali F, Quinlan JJ, Longo S, Narici M V. The time-course of changes in muscle mass, architecture and power during 6 weeks of plyometric training. *Front Physiol*. 2020;11:1–14.
135. Nikolaidou ME, Marzilger R, Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Operating length and velocity of human M. vastus lateralis fascicles during vertical jumping. *R Soc Open Sci*. 2017;4(5):1–15.
136. Ishikawa M, Komi P v. Effects of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol*. 2004;96(3):848–52.
137. Gérard R, Gojon L, Declève P, Van Cant J. The effects of eccentric training on biceps femoris architecture and strength: A systematic review with meta-analysis. *J Athl Train*. 2020;55(5):501–14.

138. Zacharia E, Spiliopoulou P, Methenitis S, et al. Changes in Muscle Power and Muscle Morphology with Different Volumes of Fast Eccentric Half-Squats. *Sports (Basel)*. 2019;7(7):164.
139. Vieira A, Blazevich A, Souza N, Celes R, Alex S, Tufano JJ, et al. Acute changes in muscle thickness and pennation angle in response to work-matched concentric and eccentric isokinetic exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2018;43(10):1069–74.
140. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(3):499–508.
141. Yoshimura A, Kunugi S, Hirono T, Nojima H, Ueda S, Holobar A, et al. Association of Muscle Strength With Muscle Thickness and Motor Unit Firing Pattern of Vastus Lateralis Muscle in Youth Athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2022;17(12):1725–31.
142. Jarvis MM, Graham-Smith P, Comfort P. A Methodological Approach to Quantifying Plyometric Intensity. *J Strength Cond Res*. 2016;30(9):2522–2532.
143. Nygaard Falch H, Guldteig Rædergård H, Van den Tillaar R. Relationship of Performance Measures and Muscle Activity between a 180° Change of Direction Task and Different Countermovement Jumps. *Sports (Basel)*. 2020;8(4):47.
144. Andrade DC, Manzo O, Beltrán AR, Álvarez C, Del Rio R, Toledo C, et al. Kinematic and Neuromuscular Measures of Intensity During Plyometric Jumps. *J Strength Cond Res*. 2020;34(12):3395–402.
145. Torres-Banduc M, Ramirez-Campillo R, Andrade DC, et al. Kinematic and Neuromuscular Measures of Intensity During Drop Jumps in Female Volleyball Players. *Front Psychol*. 2021;12:724070.
146. Coratella G, Longo S, Cè E, Limonta E, Rampichini S, Bisconti AV, et al. Sex-Related Responses to Eccentric-Only Resistance Training in Knee-Extensors Muscle Strength and Architecture. *Res Q Exerc Sport*. 2018;89(3):347–53.
147. Guilhem G, Cornu C, Guével A. Muscle architecture and EMG activity changes during isotonic and isokinetic eccentric exercises. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(11):2723–33.
148. Ando R, Nosaka K, Tomita A, Watanabe K, Blazevich AJ, Akima H. Vastus intermedius vs vastus lateralis fascicle behaviors during maximal concentric and eccentric contractions. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(3):1018–26.
149. Alonso-Fernandez D, Docampo-Blanco P, Martinez-Fernandez J. Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(1):88–94.
150. Duhig SJ, Bourne MN, Buhmann RL, Williams MD, Minett GM, Roberts LA, et al. Effect of concentric and eccentric hamstring training on sprint recovery, strength and muscle architecture in inexperienced athletes. *J Sci Med Sport*. 2019;22(7):769–74.

151. Marušič J, Vatovec R, Marković G, Šarabon N. Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(11):2130–42.
152. Pollard CW, Opar DA, Williams MD, Bourne MN, Timmins RG. Razor hamstring curl and Nordic hamstring exercise architectural adaptations: Impact of exercise selection and intensity. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(5):706–15.
153. Siddle J, Weaver K, Greig M, Harper D, Brogden CM. A low-volume Nordic hamstring curl programme improves change of direction ability, despite no architectural, strength or speed adaptations in elite youth soccer players. *Res Sports Med*. 2022;1-12.
154. Suskens JJM, Secondulfo L, Kiliç Ö, et al. Effect of two eccentric hamstring exercises on muscle architectural characteristics assessed with diffusion tensor MRI. *Scand J Med Sci Sports*. 2023;33(4):393-406.
155. Kellis E, Galanis N, Natsis K, Kapetanios G. Muscle architecture variations along the human semitendinosus and biceps femoris (long head) length. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20(6):1237–43.
156. Kellis E, Galanis N, Kapetanios G, Natsis K. Architectural differences between the hamstring muscles. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(4):520–6.
157. Guex K, Degache F, Morisod C, Saily M, Millet GP. Hamstring Architectural and Functional Adaptations Following Long vs. Short Muscle Length Eccentric Training. *Front Physiol*. 2016;7:340.
158. Stasinaki AN, Zaras N, Methenitis S, Bogdanis G, Terzis G. Rate of Force Development and Muscle Architecture after Fast and Slow Velocity Eccentric Training. *Sports (Basel)*. 2019;7(2):41
159. Steenbergen B, Krajenbrink H, Lust J, Wilson P. Motor imagery and action observation for predictive control in developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol*. 2020;62(12):1352–5.
160. Presland JD, Timmins RG, Bourne MN, Williams MD, Opar DA. The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(7):1775–83.
161. Medeiros TM, Ribeiro-Alvares JB, Fritsch CG, Oliveira GS, Severo-Silveira L, Pappas E, et al. Effect of Weekly Training Frequency With the Nordic Hamstring Exercise on Muscle-Strain Risk Factors in Football Players: A Randomized Trial. *Int J Sports Physiol Perform*. 2020;15(7):1026–33.
162. Emirzeoğlu M, Fırat T, Ülger Ö. The effects of eccentric training on hamstring muscle architecture. *Kinesiology*. 2021;53(1):141–53.
163. Jacquet T, Lepers R, Poulin-Charronnat B, Bard P, Pfister P, Pageaux B. Mental fatigue induced by prolonged motor imagery increases perception of effort and the activity of motor areas. *Neuropsychologia*. 2021;150:107701.
164. Cunha G dos S, Vaz MA, Herzog W, Geremia JM, Leites GT, Reischak-Oliveira Á. Maturity status effects on torque and muscle architecture of young soccer players. *J Sports Sci*. 2020;38(11–12):1286–95.

165. Cronin K, Foley S, Cournane S, De Vito G, Delahunt E. Hamstring muscle architecture assessed sonographically using wide field of view: A reliability study. *PLoS One*. 2022;17(11):e0277400.
166. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps femoris long head architecture: A reliability and retrospective injury study. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(5):905–13.
167. Lieber RL. Can we just forget about pennation angle?. *J Biomech*. 2022;132:110954.
168. Noehren B, Andersen A, Hardy P, Johnson DL, Ireland ML, Thompson KL, et al. Cellular and Morphological Alterations in the Vastus Lateralis Muscle as the Result of ACL Injury and Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(18):1541–7.
169. Stevenson JH, Beattie CS, Schwartz JB, Busconi BD. Assessing the effectiveness of neuromuscular training programs in reducing the incidence of anterior cruciate ligament injuries in female athletes: a systematic review. *Am J Sports Med*. 2015;43(2):482–90.
170. Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, et al. Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2016;44(3):609–17.
171. Nuñez FJ, Ritzmann R, Hernandez-Abad F, Martinez JC, Suarez-Arrones L. Muscle Architecture, Morphology, and Mechanical and Functional Properties of Biceps Femoris Long Head in Professional Soccer Players with a Prior Healed Injured Hamstring. *J Clin Med*. 2022;11(23):7222.
172. Battaglia C, D'Artibale E, Fiorilli G, Piazza M, Tsopani D, Giombini A, et al. Use of video observation and motor imagery on jumping performance in national rhythmic gymnastics athletes. *Hum Mov Sci*. 2014;38:225–34.
173. Ramírez-de la Cruz M, Bravo-Sánchez A, Esteban-García P, Jiménez F, Abián-Vicén J. Effects of Plyometric Training on Lower Body Muscle Architecture, Tendon Structure, Stiffness and Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*. 2022;8(1):40.
174. Secomb JL, Lundgren LE, Farley ORL, Tran TT, Nimphius S, Sheppard JM. Relationships between Lower-Body Muscle Structure and Lower-Body Strength, Power, and Muscle-Tendon Complex Stiffness. *J Strength Cond Res*. 2015;29(8):2221–8.
175. Lee KL, Oh TW, Gil YC, Kim HJ. Correlation between muscle architecture and anaerobic power in athletes involved in different sports. *Sci Rep*. 2021;11(1):13332.
176. Ruiz-Cárdenas JD, Rodríguez-Juan JJ, Ríos-Díaz J. Relationship between jumping abilities and skeletal muscle architecture of lower limbs in humans: Systematic review and meta-analysis. *Hum Mov Sci*. 2018;58:10–20.

177. Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Lloyd RS. Influence of Muscle Architecture on Maximal Rebounding in Young Boys. *J Strength Cond Res.* 2021;35(12):3378–85.
178. Earp JE, Kraemer WJ, Newton RU, Comstock BA, Fragala MS, Dunn-Lewis C, et al. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res.* 2010;24(3):722–9.



8. EKLER

Ek-1: Etik Kurul Karar Belgesi

	T.C. TRABZON VALİĞİ İl Sağlık Müdürlüğü Sağlık Bilimleri Üniversitesi Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu	TRABZON T.C. S.B. KANUNİ EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ - TRABZON KANUNİ EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ EVRAK BİRİMİ - 15.12.2022 10:11 - E-23618724-000-16608  0010751760 Gelen Belge Kayıt
Sayı: 23618724 / Konu: 11475 Nolu Başvuru Dosyası Etik Kurul Karar Belgesi Tarih: 21.11.2022 Etik Kurul Karar No: 2022/59	Sayın Prof. Dr. Özlem ÜLGER Hacettepe Üniversitesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	İlgi: 8.9.2022 tarihli web tabanlı etik kurul sistemi üzerinden yapılan 11475 nolu etik kurul başvurunuz. 8.9.2022 tarihli web tabanlı etik kurul sistemi üzerinden yapılan 11475 başvuru nolu “Adölesan Futbolculara Uygulanan Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Temelli Pliometrik Eğitimin Vastus Lateralis ve Biceps Femoris Kas Mimarileri Üzerindeki Etkileri” konulu etik kurul başvurunuz raportör ve etik kurul üye görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiş olup tıbbi, bilimsel, etik açıdan uygun olduğuna karar verilmiştir. Bilgilerinize rica ederim.
Ek: Etik Kurul Karar Belgesi (2 sayfa)		

Ek-2: Tez Çalışması Orijinallik Raporu



Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin Turnitin'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:

Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Murat Emirzeoğlu
 Ödev başlığı: Doktora tez son
 Gönderi Başlığı: doktora tezson
 Dosya adı: Doktora_Tezi-Murat_Emirzeo_lu_3.docx
 Dosya boyutu: 21.03M
 Sayfa sayısı: 107
 Kelime sayısı: 21,611
 Karakter sayısı: 146,175
 Gönderim Tarihi: 20-Haz-2023 03:50ÖS (UTC+0300)
 Gönderim Numarası: 2119679556

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADÖLESAN FUTBOLCULARA UYGULANAN MOTOR
İNCELEME VE HAREKETİN GÖZLEMLENMESİ TEMELLİ
PLJOMETRİK EĞİTİMİN VASTUS LATERALIS VE BİSEPS
FEMORIS KAS MİMARİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ünvan: Doç. Dr. Murat EMİRZEOĞLU

Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı
DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Özkan ÇELİK

ANKARA
2023

ORJİNALLİK RAPORU

%6

BENZERLİK ENDEKSİ

%6

İNTERNET KAYNAKLARI

%3

YAYINLAR

%2

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

%2

2

www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

%1

3

hdl.handle.net

İnternet Kaynağı

<%1

4

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

<%1

5

Submitted to Erciyes Üniversitesi

Öğrenci Ödevi

<%1

6

Submitted to İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Öğrenci Ödevi

<%1

7

Submitted to University of Wales Institute,
Cardiff

Öğrenci Ödevi

<%1

8

Submitted to Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Öğrenci Ödevi

<%1

9

Submitted to Istanbul Aydın University

Öğrenci Ödevi

<%1

Ek-3: Ultrason Kursu Katılım Sertifikası



Ek-4: Ultrason Kursu Akreditasyon Sertifikası



Certificate

SonoSchool- SonoTurkey Basic Point-of-Care Ultrasound Course

Istanbul, Turkey, 28/05/2022-29/05/2022

has been accredited by the European Accreditation Council for Continuing Medical Education (EACCME®) for a maximum of **12** European CME credits (ECMEC®s).

Each medical specialist should claim only those credits that he/she actually spent in the educational activity.

The EACCME® is an institution of the European Union of Medical Specialists (UEMS), www.uems.eu. Through an agreement between the European Union of Medical Specialists and the American Medical Association, physicians may convert EACCME® credits to an equivalent number of AMA PRA Category 1 Credits™. Information on the process to convert EACCME® credits to AMA credits can be found at www.ama-assn.org/education/earn-credit-participation-international-activities.

Live educational activities occurring outside of Canada, recognised by the UEMS-EACCME® for ECMEC® credits are deemed to be Accredited Group Learning Activities (Section 1) as defined by the Maintenance of Certification Program of the Royal College of Physicians and Surgeons of Canada.

MURAT EMİRZEOĞLU

has been awarded [**12**] European CME Credits (ECMEC®s)
for his/her attendance at this event

Ek-5: 2023 Dünya Fizyoterapi Kongresi Davet Mektubu ve Poster Bildiri



20 April 2023

Murat Emirzeoğlu
Research assistant, Karadeniz Technical University, Turkey
PhD (c) student, Hacettepe University, Turkey

To whom it may concern

Invitation to World Physiotherapy Congress 2023 – Murat Emirzeoğlu

We are pleased to invite Murat Emirzeoğlu to World Physiotherapy Congress 2023.

World Physiotherapy holds a congress every two years. This is the biggest international gathering of physiotherapists worldwide. The next World Physiotherapy congress will be held in Dubai, 2-4 June 2023. Further details are on our website <https://wp2023.world.physio>

Session invitation

Murat Emirzeoğlu has been invited to present a poster

Printed poster – POS 201

Session details <https://wp2023.world.physio#/programme/presentation/da7ad0c0-3ed1-4500-1346-020000001291>

Venue

Congress will be held on the above dates at: Dubai World Trade Centre, Sheikh Zayed Rd, Dubai, United Arab Emirates

We hope this information is helpful.

Yours sincerely

Jonathon Kruger
Chief executive officer

World Physiotherapy Congress 2023 is organised by WCPT Trading Limited
Unit 17, Empire Square, London SE14NA, UK

Tel: +44 (0)20 8159 5130
www.world.physio

@WorldPhysio1951



WCPT Trading Limited, a wholly-owned subsidiary of the World Confederation for Physical Therapy, is registered in England & Wales. Company registration number 08322671



The Effects of Motor Imagery and Action Observation-Based Plyometric Training on Muscle Architecture and Jump Performance of Adolescent Soccer Players



Murat Emirzeoğlu^{1,2}, Özlem Ülger¹



¹Hacettepe University, Faculty of Physical Therapy and Rehabilitation, Ankara, Turkey

²Karadeniz Technical University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Trabzon, Turkey



Introduction

Lower limb muscle-tendon injuries are the most common injuries in adolescent soccer players. Although it is known that plyometric training (PT) improves muscle function, the effects of neuroscience-based PT on the muscle morphological structure are unclear.

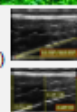
Purpose

The effects of combined motor imagery and action observation-based (MI+AO) PT on the

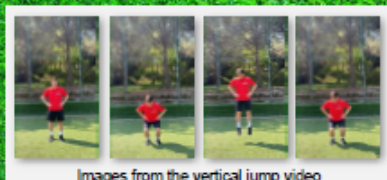


Vastus Lateralis (VL) Pennation Angle (PA)
Biceps Femoris long head (BF_{lh}) Muscle Thickness (MT)
Fascicle Length (FL)

Single leg jump performance



Age:
13.91±1.05 years
Height:
162.22±10.20 cm
Weight:
62.09±8.33 kg



Images from the vertical jump video

Methods

Thirty-six healthy adolescent soccer players were randomly assigned to MI+AO PT (n=17) or control (n=19) groups. Athletes in the PT group watched the prepared videos and imagined jumping. Outcomes were assessed at baseline, 4, 8, and 12 weeks.



Results

In the control group, there was no significant change in the muscle architecture parameters during 8 weeks ($p>0.05$).

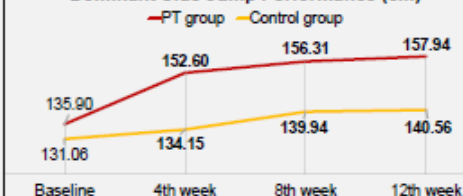
In the PT group, the VL PA was higher on the dominant (mean difference=2.40±3.45°, $p=0.01$), and non-dominant side (mean difference=3.32±3.75°, $p=0.01$) at week 4.

Similarly, there was a significant increase in VL MT for dominant (mean difference=0.15±0.19 cm, $p=0.03$) and non-dominant side (mean difference=0.24±0.23 cm, $p=0.01$).

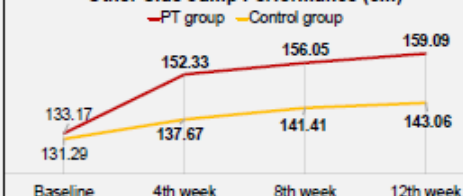
Dominant side BF_{lh} MT (mean difference=0.21±0.31 cm, $p=0.03$) was higher at week 4.

Jump performance was better in the PT group at weeks 4, 8, 12.

Dominant Side Jump Performance (cm)



Other Side Jump Performance (cm)



Discussion & Conclusions

This research provides the first evidence that MI+AO PT increases the VL PA, VL MT, BF_{lh} MT, and improves jumping performance. It is recommended that future studies be conducted in athletes with injuries to examine static and dynamic muscle architecture according to PT phases.

Recommendations

MI+AO PT can be added to the routine training programs of healthy adolescent soccer players in order to improve the muscle architectural structure and jumping performance.

Acknowledgements

The authors sincerely thank all the athletes who participated in the study.



Ek-6: Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formları

 T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu	ASGARİ BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Doküman Adı: KADB-F.23-R.00
		Yayın Tarihi: 18.04.2013
		Sayfa No: 116/148
		Onaylayan: Daire Başkanı

Değerli anne ve babalar;

“Adölesan Futbolculara Uygulanan Motor İmgeleme ve Hareketin Gözlemlenmesi Temelli Pliometrik Eğitimin Vastus Lateralis ve Biceps Femoris Kas Mimarileri Üzerindeki Etkileri” adındaki bu çalışma bir doktora tez araştırması olup Hacettepe Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümü bünyesinde görevli araştırmacılar tarafından yapılmaktadır.

Bu araştırmayı sürdürebilmek ve sonuçları doğru değerlendirilebilmek için ergen yaş grubundaki sağlıklı futbolculara gereksinim vardır.

Çocuğunuz araştırmaya katılırsa, Arş. Gör. Murat Emirzeoğlu tarafından bir hareketi hayal etme yeteneği, herhangi bir şeyi yapmaya yeterli olduğuna dair inancı, motivasyon durumu ve düşünsel anlamdaki yorgunluğu çeşitli ölçek veya anketler aracılığıyla değerlendirilecektir. Bu değerlendirmelerin yanı sıra çocuğunuzun her iki taraf uyluk kaslarının özelliklerini belirlemek amacıyla ultrason kullanılarak görüntüleme yapılacaktır. Fonksiyonel durumunuzu değerlendirmek içinse tek ayak sıçrama testi kullanılacaktır.

Tüm bu değerlendirmelerin ardından bu araştırmada yer alan çalışma veya kontrol gruplarından birisine rastgele yerleştirilecektir. Çocuğunuz çalışma grubunda yer alırsa 8 hafta sürecek egzersiz programına dahil edilecektir. Bu egzersiz programında haftada üç kez uzaktan eğitim araçları aracılığıyla her biri 20-30 dakika sürecek eğitime katılacaktır. Bu eğitimlerde sıçrama içeren videoları izlemesi ve bununla eş zamanlı olarak ilgili sıçramayı gerçekten yapıyormuş gibi hayal etmesi istenecektir. Çocuğunuz kontrol grubunda yer alırsa herhangi bir eğitime katılmayacaktır. Hangi grupta olduğunuza bakılmaksızın kas özellikleri ve fonksiyonel durumuna ilişkin değerlendirmeler dördüncü ve sekizinci haftanın sonunda tekrarlanacaktır.

Bu araştırma için çocuğunuz çalışma grubundaydı toplamda 10-12 saat, kontrol grubundaydı 2-3 saat ayırması istenecektir. 40 gönüllü bireyin dahil edilmesi planlanan bu araştırma herhangi bir risk içermemektedir. Çalışma sonunda, verilen eğitime bağlı olarak ilgili kasların yapısında fonksiyonel ve yaralanmaları önleme açısından iyileşmeler olması beklenmektedir.

...../...../..... 1/2

Bu araştırmanın sonuçlarını başka araştırmacılara da açıklayacağız fakat çocuğunuzun kişisel bilgilerini gizli tutacağız.

Bu araştırma hakkında çocuğunuza da bilgi vereceğiz ve ondan da bu çalışmaya katılımı konusunda izin alacağız. Siz de bu konuyu lütfen çocuğunuz ile konuşunuz. Aklınıza şimdi gelen veya daha sonra gelecek soruları bana sorabilirsiniz. Telefon numaram ve adresim aşağıda bulunmaktadır.

Çocuğunuzun bu araştırmaya katılmasını kabul ediyorsanız lütfen aşağıya adınızı ve soyadınızı yazarak imzanızı atınız. Daha sonra bu formun bir kopyası size verilecektir.

Velisinin adı- soyadı:

Velisinin imzası:

Tarih:

Araştırmacının adı, soyadı, ünvanı: Murat Emirzeoğlu, Araştırma Görevlisi.

Adres: KTÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

Tel: 462 377 XX XX (iş)

İmza:

Tarih:

 T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu	ASGARİ BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Doküman Adı: KADB-F.23-R.00
		Yayın Tarihi: 18.04.2013
		Sayfa No: 118/148
		Onaylayan: Daire Başkanı

Araştırmacının Beyanı
Sayın Katılımcı,

“Adölesan Sporculara Uygulanan Pliometrik Eğitimin Vastus Lateralis ve Biceps Femoris Kas Mimarileri Üzerindeki Etkileri” adındaki bu çalışma bir doktora tez araştırması olup Hacettepe Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümü bünyesinde görevli araştırmacılar tarafından yapılmaktadır.

Sizin de bu araştırmaya katılmanızı öneriyoruz. Ancak hemen söyleyelim ki bu araştırmaya katılıp katılmamakta serbestsiniz. Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayalıdır. Kararınızdan önce araştırma hakkında sizi bilgilendirmek istiyoruz. Bu bilgileri okuyup anladıktan sonra araştırmaya katılmak isterseniz formu imzalayınız.

Bu araştırmayı yapmak istememizin amacı, sıçrama eğitiminin sizlerin uyluk (diz ile kalçanız arasındaki kısım) bölgesinde yer alan iki kasınızın lif uzunluğu, bu liflerin açılma dereceleri ve kas kalınlığı üzerindeki etkilerini incelemektir.

Eğer araştırmaya katılmayı kabul ederseniz Arş. Gör. Murat Emirzeoğlu tarafından bir hareketi hayal etme yeteneğiniz, herhangi bir şeyi yapmaya yeterli olduğunuza dair inancınız, motivasyon durumunuz ve düşünsel anlamdaki yorgunluğunuz çeşitli ölçek veya anketler aracılığıyla değerlendirilecektir. Bu değerlendirmelerin yanı sıra her iki taraf uyluk kaslarınızın özelliklerini belirlemek amacıyla ultrason kullanılarak görüntüleme yapılacaktır. Fonksiyonel durumunuzu değerlendirmek içinse tek ayak sıçrama testi kullanılacaktır.

Tüm bu değerlendirmelerin ardından bu araştırmada yer alan çalışma veya kontrol gruplarından birisine rastgele yerleştirileceksiniz. Eğer çalışma grubunda yer alırsanız 8 hafta sürecek olan egzersiz programına dahil edileceksiniz. Bu egzersiz programında haftada üç kez uzaktan eğitim araçları aracılığıyla her biri 20-30 dakika sürecek eğitime katılacaksınız. Bu eğitimlerde sıçrama içeren videoları izlemeniz ve bununla eş zamanlı olarak ilgili sıçramayı gerçekten yapıyormuş gibi hayal etmeniz istenecektir. Kontrol grubunda yer alırsanız herhangi bir eğitime katılmayacaksınız. Hangi grupta olduğunuza bakılmaksızın kas özellikleriniz ve fonksiyonel durumunuza ilişkin değerlendirmeler dördüncü ve sekizinci haftanın sonunda tekrarlanacaktır.

Bu araştırma için çalışma grubundaysanız toplamda 10-12 saat, kontrol grubundaysanız 2-3 saat ayırmanız istenecektir. 40 gönüllü bireyin dahil edilmesi planlanan bu araştırma herhangi bir risk içermemektedir. Çalışma sonunda, verilen eğitime bağlı olarak ilgili kasların yapısında fonksiyonel ve yaralanmaları önleme açısından iyileşmeler olması beklenmektedir.

Kimliğinizi ortaya çıkaracak kayıtlar gizli tutulacak kamuoyuna açıklanmayacak; araştırma sonuçlarının yayımlanması halinde dahi kimliğiniz gizli kalacaktır. Ancak çalışmanın kalitesini denetleyen görevliler, etik kurullar ya da resmi makamlarca gereği halinde incelenebilecektir. İzleyiciler, yoklama yapan kişiler ve diğer ilgili sağlık otoritelerinin orijinal tıbbi kayıtlarınıza doğrudan erişimleri bulunabilecek, ancak bu bilgiler gizli tutulacaktır. Yazılı bilgilendirilmiş gönüllü olur formunun imzalanmasıyla söz konusu erişime izin vermiş olacaksınız. Araştırma konusuyla ilgili araştırmaya katılmaya devam etme isteğinizi etkileyebilecek yeni bilgiler elde edildiğinde zamanında bilgilendirileceksiniz.

Bu çalışmaya katılmanız için sizden herhangi bir ücret istenmeyecektir. Çalışmaya katıldığınız için size ek bir ödeme de yapılmayacaktır. Bu çalışmaya katılmayı reddedebilirsiniz. Bu araştırmaya katılmak tamamen isteğe bağlıdır ve yine çalışmanın herhangi bir aşamasında onayınızı çekmek hakkına da sahipsiniz.

Katılımcının Beyanı

Sayın Arş. Gör. Murat Emirzeoğlu tarafından bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya “katılımcı” olarak davet edildim.

Eğer bu araştırmaya katılırsam bana ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile yaklaşılabileceğine inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Araştırmanın yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. (Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemim uygun olacağının bilincindeyim) Ayrıca sağlık durumuma herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı tutulabilirim. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte, Arş. Gör. Murat Emirzeoğlu’nu (538) 865 XX XX nolu telefondan ve Hacettepe Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi veya Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünden arayabileceğimi biliyorum. Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem, bu durumun çalışmacı ile olan ilişkiye herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bilgilendirilmiş gönüllü olur formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana yukarıda konusu ve amacı belirtilen araştırma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklama aşağıda adı belirtilen araştırmacı tarafından yapıldı.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabilceğimi biliyorum.

Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesine hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın kendi rızamla büyük bir memnuniyet içerisinde katılmayı kabul ediyorum. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabilceğimi biliyorum. Araştırma süresince çalışmacıların planladıkları programa çok önemli mazeretim olmadığı sürece uymam gerektiğini, uyamayacağım zamanlarda da araştırmacılara bu durumu önceden haber vermem gerektiğinin bilincindeyim. İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

Katılımcı

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

Tarih:

İmza:

Katılımcının yasal varisi

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

Tarih:

İmza:

Görüşme tanığı

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

Tarih:

İmza:

Katılımcı ile görüşen

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel.

Tarih:

İmza:

Ek-7: Hareket İmgeleme Anketi-3

1) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Sağ bacağınızı dizinizi bükerek yukarıya doğru kaldırabildiğiniz kadar kaldırın. Şimdi sağ bacağınızı aşağıya indirin, tekrar iki ayağınızın üzerinde durun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi gerçekte yapmadan zihninizden yaptığınızı **hissetmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

2) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Aşağıya ve öne doğru eğilin sonra kollarınız başınızın üzerinde uzanmışken havada olabildiğince yukarıya doğru zıplayın. Ayaklarınız ayrı olacak ve kollarınız yanınızda olacak şekilde yere inin.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **içsel bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

3) Başlangıç Pozisyonu: Nondominant taraf kolunuzu vücut yanınızdan yukarıya doğru omuz seviyesine kadar (kolunuz yere paralel ve avuç içi aşağıya dönük olacak şekilde) düz bir şekilde kaldırın.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Kolunuzu vücudunuzun tam önüne gelene kadar ileriye doğru hareket ettirin. Bunu yaparken kolunuzun yere paralel pozisyonunu koruyun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **dışarıdan bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken ve görüntü açısını gözlemlerken, kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

4) Başlangıç Pozisyonu: Kollarınız başınızın üzerinde yukarıya tam uzanmış ve ayaklarınız hafif açık iken ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Belinizden ileriye, öne doğru eğilin ve parmak uçlarınızla ayak parmaklarınıza dokunun (veya mümkünse parmak uçlarınızla veya ellerinizle yere dokunun.) Şimdi başlangıç pozisyonuna dönün, dik durun ve kollarınızı başınızdan yukarıya doğru uzatın.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi gerçekte yapmadan yaptığınızı **hissetmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

5) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Sağ bacağınızı dizinizi bükerek yukarıya doğru kaldırabildiğiniz kadar kaldırın. Şimdi sağ bacağınızı aşağıya indirin, tekrar iki ayağınızın üzerinde durun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **içsel bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmenizi yapın.

Derecelendirme:

6) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Aşağıya ve öne doğru eğilin sonra kollarınız başınızın üzerinde uzanmışken havada olabildiğince yukarıya doğru zıplayın. Ayaklarınız ayrı olacak ve kollarınız yanınızda olacak şekilde yere inin.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **dışarıdan bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken ve görüntü açısını gözlemlerken, kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

7) Başlangıç Pozisyonu: Nondominant taraf kolunuzu vücut yanınızdan yukarıya doğru omuz seviyesine kadar (kolunuz yere paralel ve avuç içi aşağıya dönük olacak şekilde) düz bir şekilde kaldırın.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Kolunuzu vücudunuzun önüne gelene kadar ileriye doğru hareket ettirin. Bunu yaparken kolunuzun yere paralel pozisyonunu koruyun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi gerçekte yapmadan yaptığınızı **hissetmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

8) Başlangıç Pozisyonu: Kollarınız başınızın üzerinde yukarıya tam uzanmış ve ayaklarınız hafif açık iken ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Belinizden ileriye, öne doğru eğilin ve parmak uçlarınızla ayak parmaklarınıza dokunun (veya mümkünse parmak uçlarınızla veya ellerinizle yere dokunun.) Şimdi başlangıç pozisyonuna dönün, dik durun ve kollarınızı başınızdan yukarıya doğru uzatın.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **içsel bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

9) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Sağ bacağınızı dizinizi bükerek yukarıya doğru kaldırılabildiğiniz kadar kaldırın. Şimdi sağ bacağınızı aşağıya indirin, tekrar iki ayağınızın üzerinde durun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **dışarıdan bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken ve görüntü açısını gözlemlerken, kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

10) Başlangıç Pozisyonu: Bacaklarınız yan yana ve kollarınız vücut yanında iken dik bir şekilde ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Aşağıya ve öne doğru eğilin sonra kollarınız başınızın üzerinde uzanmışken havada olabildiğince yukarıya doğru zıplayın. Ayaklarınız ayrı olacak ve kollarınız yanınızda olacak şekilde yere inin.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi gerçekte yapmadan yaptığınızı **hissetmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

11) Başlangıç Pozisyonu: Nondominant taraf kolunuzu vücut yanınızdan yukarıya doğru omuz seviyesine kadar (kolunuz yere paralel ve avuç içi aşağıya dönük olacak şekilde) düz bir şekilde kaldırın.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Kolunuzu vücudunuzun tam önüne gelene kadar ileriye doğru hareket ettirin. Bunu yaparken kolunuzun yere paralel pozisyonunu koruyun.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **içsel bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

12) Başlangıç Pozisyonu: Kollarınız başınızın üzerinde yukarıya tam uzanmış ve ayaklarınız hafif açık iken ayakta durun.

Eylem: Aşağıda tanımlanan hareketi lütfen **yavaş** bir şekilde uygulayın. Belinizden ileriye, öne doğru eğilin ve parmak uçlarınızla ayak parmaklarınıza dokunun (veya mümkünse parmak uçlarınızla veya ellerinizle yere dokunun.) Şimdi başlangıç pozisyonuna dönün, dik durun ve kollarınızı başınızdan yukarıya doğru uzatın.

Zihinsel Görev: Başlangıç pozisyonunda durduğunuzu düşünün. Az önce yaptığınız hareketi **dışarıdan bakış açısı** ile yaptığınızı **görmeye** çalışın. Şimdi bu zihinsel görevi yapmaya çalışırken ve görüntü açısını gözlemlerken, kolay/zor derecelendirmesini yapın.

Derecelendirme:

DERECELENDİRME SKALALARI

Görsel İmgeleme Skalası:

- 1: Görmek çok zor
- 2: Görmek zor
- 3: Görmek biraz zor
- 4: Nötr (görmek ne kolay ne zor)
- 5: Görmek biraz kolay
- 6: Görmek kolay
- 7: Görmek çok kolay

Kinestetik İmgeleme Skalası:

- 1: Hissetmek çok zor
- 2: Hissetmek zor
- 3: Hissetmek biraz zor
- 4: Nötr (hissetmek ne kolay ne zor)
- 5: Hissetmek biraz kolay
- 6: Hissetmek kolay
- 7: Hissetmek çok kolay

PUANLAMA

İçsel Görsel İmgeleme: Madde 2 + Madde 5 + Madde 8 + Madde 11 /4

Dışsal Görsel İmgeleme: Madde 3 + Madde 6 + Madde 9 + Madde 12 /4

Kinestetik İmgeleme: Madde 1 + Madde 4 + Madde 7 + Madde 10 /4

Ek-8: Genel Özyeterlilik Ölçeği

No	Maddeler	1 Hiç	2 Biraz	3 Orta	4 İyi	5 Çok iyi
1	Planlar yaparken, onları hayata geçirebileceğimden eminimdir					
2	Sorunlarımdan biri bir işe zamanında başlayamamamdır					
3	Eğer bir işi ilk denemede yapamazsam başarıya kadar uğraşırım					
4	Belirlediğim önemli hedeflere ulaşmada, pek başarılı olamam					
5	Her şeyi yarım bırakırım					
6	Zorluklarla yüz yüze gelmekten kaçınırım					
7	Eğer bir iş çok karmaşık görünüyorsa onu denemeye bile girişmem.					
8	Hoşuma gitmeyen bir şey yapmak zorunda kaldığımda onu bitirinceye kadar kendimi zorlarım.					
9	Bir şey yapmaya karar verdiğimde hemen işe girişirim					
10	Yeni bir şey denerken başlangıçta başarılı olamazsam çabucak vazgeçerim					
11	Beklenmedik sorunlarla karşılaştığımda kolayca onların üstesinden gelemem					
12	Bana zor görünen yeni şeyleri öğrenmeye çalışmaktan kaçınırım					
13	Başarısızlık benim azmimi arttırır					
14	Yeteneklerime her zaman çok güvenmem					
15	Kendine güvenen biriyim					
16	Kolayca pes ederim					
17	Hayatta karşıma çıkacak sorunların çoğuyla baş edebileceğimi sanmıyorum					

Ek-9: Pediatrik Motivasyon Ölçeği

Adı-soyadı:

Birinci bölüm:

Bugünkü seansta...

1. En zoru denedim.

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

2. Nasıl yaptığımdan memnunum

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

3. Aktiviteler boyunca başka seçeneğim yoktu

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

4. Canım sıkıldı

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

5. Terapistimle kendimi güvende hissettim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

6. İyi bir çalışma yapmadım

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

7. Eğlendim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

8. Hiç denemedim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

9. Sunulan seçeneklerim vardı

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

10. Terapistimin beni önemseydiğini hissettim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

11 Aktiviteler ilginçti

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

12. Aktiviteleri tercih edebildim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

13. Terapistimin bana yardım ettiğini hissettim

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

14. İyi yaptım

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

Bugünlerde tedavide yaptığım aktiviteler...

15. Benim için yararlıdır

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

16. Tekrar yapmak istediğim aktivitelerdir

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

17. Benim için çok yararlıdır

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

18. Bana faydası yok

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

19. Kendimi geliştirmeme yardımcı olabilir

					
Kesinlikle doğru değil	Doğru değil	Kısmen doğru değil	Kısmen doğru	Doğru	Kesinlikle doğru

İkinci bölüm:

20. Bu tedavi seansı hangi şekilde daha iyi olabilirdi? Veya bu tedavi seansı nasıl daha iyi olabilirdi?

21. Bugün ne yaptığımızla ilgili herhangi bir diğer görüşünüz var mı?

Ek-10: Gönüllü sporculara verilen teşekkür belgesi



9. ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve soyadı: Murat Emirzeoğlu





