



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

**DOKTORA
TEZİ**

**FUTBOLCULARDA KAN AKIMI KISITLAMALI
FLYWHEEL EGZERSİZİNİN KAS MİMARİSİ VE
FONKSİYONEL PERFORMANS ÜZERİNE
ETKİLERİ**

İBRAHİM KARACA

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI

OCAK 2024



**FUTBOLCULARDA KAN AKIMI KISITLAMALI FLYWHEEL
EGZERSİZİNİN KAS MİMARİSİ VE FONKSİYONEL PERFORMANS
ÜZERİNE ETKİLERİ**

İbrahim KARACA

**DOKTORA TEZİ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İbrahim KARACA

30/01/2024

FUTBOLCULARDA KAN AKIMI KISITLAMALI FLYWHEEL EGZERSİZİNİN KAS MİMARİSİ VE FONKSİYONEL PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

İbrahim KARACA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Çalışmamızın amacı flywheel leg curl egzersizi (FWLC) esnasında kan akımı kısıtlaması (KAK) uygulamasının futbolcularda en sık yaralanan musculus biceps femoris caput longum (BFcl) mimari parametrelerindeki değişim ve fonksiyonel performansa olan yansımalarını ortaya koyarak literatüre katkı sunmaktır. 33 futbolcu randomize olarak iki gruba ayrılmıştır. KAK Grubuna arteriyel oklüzyon basıncının %60'ı kadar basınçla KAK uygulanmış, Kontrol Grubuna (KG) ise herhangi bir uygulama yapılmamış ve her iki gruba da rutin takım antrenmanlarına ek olarak 6 hafta boyunca aralıksız haftada 1 gün aynı frekans, egzersiz hacmi ve yoğunluğu ile FWLC egzersizi yaptırılmıştır. Egzersiz programı öncesinde ve sonrasında dominant ekstremitede ultrason görüntüleri üzerinden BFcl kas mimarisi ölçümleri, NordBord Hamstring Test Sistemi ile eksenrik diz fleksiyon kuvveti (EDFK), el dinamometresi ile izometrik hamstring kuvveti (İHK), tek bacak hamstring köprü testi tekrar sayısı (TBHK), tek bacak hoplama mesafesi (TBHM) ve 30 metre sprint test süresi sonuçları karşılaştırılmıştır. Eğitim sonucunda her iki grupta kas kalınlığında anlamlı değişiklik olmazken ($p>.05$) kas lifi uzunluğunda anlamlı artış, pennasyon açısından ise anlamlı azalma meydana gelmiş ($p<.05$), gruplar arası farklılık tespit edilememiştir ($p>.05$). Eğitim programı sonucunda 30 metre sprint testi süresinde anlamlı değişiklik meydana gelmez iken ($p>.05$); EDFK, İHK, TBHK, TBHM anlamlı artma meydana gelmiş ($p<.05$), gruplar arasında ise farklılık tespit edilememiştir ($p>.05$). FWLC egzersizi esnasında KAK uygulamak eğitim sonunda BFcl mimarisi, hamstring kas kuvveti ve fonksiyonel performans çıktılarında önemli kazanımlar sağlasada KG üstünlük sağlamamaktadır. Futbolcularda FWLC egzersizi KAK uygulamasına gerek olmadan haftada 1 gün dahi uygulansa BFcl lif uzunluğunu ve eksenrik hamstring kuvvetini artırarak hamstring kas yaralanma riskini azaltabileceğini düşünmekteyiz.

Bilim Kodu : 1024

Anahtar Kelimeler : Flywheel, Eksenrik Kuvvet, Kan Akımı Kısıtlaması, Hamstring Kas Mimarisi, Fonksiyonel Performans

Sayfa Adedi : 96

Danışman : Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL

EFFECTS OF FLYWHEEL EXERCISE WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON MUSCLE ARCHITECTURE AND FUNCTIONAL PERFORMANCE IN FOOTBALL PLAYERS

(Ph. D. Thesis)

İbrahim KARACA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF HEALTH SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

The aim of this study is to contribute to the literature by revealing the effects of blood flow restriction (BFR) during the flywheel leg curl (FWLC) exercise in the architectural parameters of biceps femoris caput longum (BFcl) which is the most frequently injured muscle in football players and its reflections on functional performance. 33 footballers were randomly divided into two groups, BFR was applied with 60% of the arterial occlusion pressure and the Control Group (CG) was subjected to the same exercise volume and intensity once a week for 6 weeks along without any application in addition to routine team training. Before and after the program, BFcl architecture parameters from dominant extremity via ultrasound images, eccentric knee flexion strength (EKFS) with the NordBord Hamstring Testing System, isometric hamstring strength (IHS) with a hand dynamometer, single leg hamstring bridge test (SLHB), single leg hop distance (SLHD) in the dominant extremity and 30 meters sprint test results were compared. There was no significant change in muscle thickness ($p>.05$), significant increase in muscle fiber length (FL) and decrease in pennation angle were detected ($p<.05$) but no difference between groups could be seen ($p>.05$). There was no significant difference in the 30 meters sprint test for both groups ($p>.05$); significant increase in EKFS, IHS, SLHB, SLHD as a result of the training ($p<.05$) but no difference could be detected between the groups ($p>.05$). Although performing the FWLC exercise with BFR provides important gains in BFcl architecture, hamstring strength and functional performance outcomes; however, it does not provide superiority to the CG. We think that if FWLC exercise is applied to football players even once a week without BFR, it will reduce the risk of hamstring muscle injury by increasing BFcl FL and EKFS.

Science Code : 1024

Key Words : Flywheel, Eccentric Strength, Blood Flow Restriction, Hamstring Muscle Architecture, Functional Performance

Page Number : 96

Supervisor : Prof. Dr. Nevin Aysel GUZEL

TEŞEKKÜR

Doktoraya başlamadan önce tanıma imkânı bulduğum ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, danışmanım olarak tüm süreç boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen, akademisyen olduğum zaman mutlaka kendime örnek alacağım Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL'e,

Tezimi hazırlama sürecinde her dönem destek olan ve kolaylık sağlayan tez izleme komitemdeki Hocalarım Prof. Dr. Nihan KAFA ve Dr. Öğr. Üyesi Ayça ARACI'ya,

Ultrason görüntülemelerinde özveri ile görüntülemeleri yapan Doç. Dr. Serkan TAŞ ve Uzm. Dr. Önder GEBEDEK'e; doktora sürecimde Gazi Üniversitesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nde her konuda yardımcı olan Doç. Dr. Gökhan YAZICI ve Arş. Gör. Gamze ÇOBANOĞLU DEMİRKIRAN'a,

Çalışmaya katılan tüm futbolcu kardeşlerime; Alanyaspor teknik ekip, personel ve yönetim kuruluna; özellikle de tez ölçümleri ve eğitimleri sürecinde destek veren meslektaşım ve mesai arkadaşım Fzt. Enes SOLAK'a,

Sevgisi, sabrı, fedakârlığı ve güler yüzü ile her zor anımda yanımda olan eşim Merve KARACA ve koyu kahverengi, sevgi dolu ve heyecanlı gözlerle beni her an takip eden kızım Aydolu KARACA'ya;

Eğitim hayatımın bu günlere gelebilmesinde çok emeği olan ilk öğretmenim babam ve anneme,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Flywheel Egzersiz Yöntemi	5
2.1.1. FW ergometresinin çalışma mekanizması	5
2.1.2. FW egzersizlerinde güç çıktıları	8
2.1.3. FW egzersiz reçetesi	10
2.2. Kan Akımı Kısıtlı Egzersiz Yöntemi	10
2.2.1. Manşon materyalleri.....	11
2.2.2. Manşonların yerleştirilme bölgeleri	12
2.2.3. Basınç belirleme yöntemleri	12
2.2.4. KAK Uygulamasının primer etki mekanizmaları	13
2.2.5. Hücre içi sinyal yolları	14
2.3. Hamstringler.....	16
2.3.1. Hamstring kas anatomisi	17
2.3.2. Hamstring kas mimarisi	20
2.3.3. Hamstring kas yaralanmaları ve koruyucu egzersiz programları.....	23

	Sayfa
3. GEREÇ VE YÖNTEM	25
3.1. Çalışmanın Dizaynı	25
3.2. Değerlendirmeler.....	26
3.2.1. Demografik bilgiler	26
3.2.2. Hamstring klinik değerlendirmesi.....	26
3.2.3. Kas mimarisi ölçümleri	27
3.2.4. Hamstring kas kuvveti ölçümleri	34
3.2.5. Fonksiyonel performans testleri.....	36
3.3. Kan Akımı Kısıtlaması Yöntemi.....	39
3.4. Flywheel Leg Curl Egzersizi, Alıştırma Seansları ve Egzersiz Protokolünün Uygulanışı	41
3.5. İstatistiksel Analiz.....	44
4. BULGULAR	47
4.1. Demografik Bulgular	48
4.2. KAK Uygulaması için Bireyselleştirilmiş Basınç Bulguları	48
4.3. Egzersiz Esnasında Algılanan Zorluk Dereceleri ve Güç Çıktıları Bulguları.....	48
4.4. Kas Mimarisi Bulguları.....	50
4.5. İzometrik Kas Kuvveti Bulgular	51
4.5.1. İzometrik kas testi bulguları.....	51
4.5.2. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi (Nordic testi) bulguları	52
4.6. Fonksiyonel Performans Testleri	53
4.6.1. Tek bacak hamstring köprü testi (TBHK) ve tek bacak hoplama mesafesi testi (TBHM) bulguları	53
4.6.2. 30 m sprint testi bulguları	54
5. TARTIŞMA	55
5.1. Limitasyonlar	66

	Sayfa
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	87
EK-1. Etik Komisyon Onayı.....	88
EK-2. Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu	90
EK-3. Veri Toplama Formu.....	93
EK-4. Egzersiz Takip Çizelgesi.....	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hamstring kas mimarisi değerleri.....	23
Çizelge 3.1. FW leg curl egzersizi eğitimi programı	44
Çizelge 4.1. Çalışmada yer alan sporcuların demografik ve klinik özelliklerinin karşılaştırması	48
Çizelge 4.2. Haftalara göre AZD ve güç çıktılarının gruplar arası karşılaştırması.....	50
Çizelge 4.3. Kas mimarisi bulgularının grup içi karşılaştırması.....	51
Çizelge 4.4. Kas mimarisi bulgularının gruplar arası karşılaştırması	51
Çizelge 4.5. İzometrik kas testi bulgularının grup içi karşılaştırması.....	52
Çizelge 4.6. İzometrik kas testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması.....	52
Çizelge 4.7. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi bulgularının grup içi karşılaştırması	52
Çizelge 4.8. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması.....	53
Çizelge 4.9. TBHK ve TBHM testi bulgularının grup içi karşılaştırması	53
Çizelge 4.10. TBHK ve TBHM testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması	54
Çizelge 4.11. 30 m sprint testi bulgularının grup içi karşılaştırması	54
Çizelge 4.12. 30 m sprint testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Horizontal silindir (sol) ve vertikal koni (sağ) FW ergometre tasarımları	6
Şekil 2.2. Flywheel ergometresi çalışma şeması	7
Şekil 2.3. Yavaş tempo FW squat egzersizi esnasında konsantrik ve eksantrik faz kuvvet çıktıları	9
Şekil 2.4. Hızlı tempo FW squat egzersizi esnasında konsantrik ve eksantrik faz kuvvet çıktıları	10
Şekil 2.5. Şematize edilmiş farklı manşon tipleri	11
Şekil 2.6. KAK egzersizlerin iskelet kaslarında hipertrofi sağlayan etki mekanizmaları ve birbirleri ile ilişkilerinin şematizasyonu	15
Şekil 2.7. IGF1-PI3K-Akt-Mtor sinyal yolağı şematizasyonu	15
Şekil 2.8. Proksimal uyluk arka yüz anatomisi	17
Şekil 2.9. Distal uyluk arka yüz anatomisi	18
Şekil 2.10. Uyluk distal dış yüz anatomisi	19
Şekil 2.11. Anatomik ve fizyolojik enine kesit alanlarının şematik görünümü	21
Şekil 2.12. Pennasyon açısı (PA)'nın şematik görünümü	21
Şekil 2.13. PA ve lif uzunluğunun sonogram görüntüsü	22
Şekil 2.14. Hamstring kas yaralanma mekanizmalarının grafiksel özeti	24
Şekil 4.1. Çalışma akış diyagramı ve katılımcılar	47
Şekil 4.2. KAK ve kontrol grubunun AZD ve güç çıktıları grafiği.	49

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Aktif diz ekstansiyon testi	27
Resim 3.2. Tuber ischiadicum ve fibular head işaretlenerek aradaki mesafenin orta noktasının belirlenmesi	28
Resim 3.3. USG cihazı. Çalışmada kullanılan MicrUS Ext-1H ultrasonographic system.....	28
Resim 3.4. M. bicep femoris caput longum USG görüntülerinin alınması.....	29
Resim 3.5. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldığında yüzeysel, intermediate aponevroz ve m. biceps femoris caput longum fasikülleri.....	30
Resim 3.6. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra ‘Measurements and tools’ ve ‘Length’ menülerinin seçimi.....	30
Resim 3.7. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile kas kalınlığı hesaplaması	31
Resim 3.8. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra ‘Measurements and tools’ ve ‘Angle’ menülerinin seçimi	31
Resim 3.9. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile pennasyon açışı hesaplaması	32
Resim 3.10. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra ‘Measurements and tools’ ve ‘Deviation’ menülerinin seçimi	33
Resim 3.11. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile aponevroz açısı hesaplaması	33
Resim 3.12. İzometrik hamstring kuvvet ölçümü	34
Resim 3.13. NordBord® Hamstring Testing System	35
Resim 3.14. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi için başlangıç pozisyonu	35
Resim 3.15. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi sonucu grafik ve çıktıları.....	36
Resim 3.16. Mesafeli tek bacak hoplama testi için başlangıç pozisyonu	37
Resim 3.17. Tek bacak hamstring köprü testi için başlangıç pozisyonu	38
Resim 3.18. Fusion Sport Smart Speed, Fusion Sport, Avustralya fotosel	39
Resim 3.19. Occlusion Cuff Elite®, Occlusion Cuff, Somerset, UK manşonu.....	40

Resim	Sayfa
Resim 3.20. Doppler probe SONOLINE B LCD Fetal Doppler 8 MHz vascular probe, CONTEC, China	40
Resim 3.21. Görsel ve işitsel oskültasyon sinyalleri kesildiği anda manometre ekranından kaydedilmesi.....	41
Resim 3.22. Flywheel leg curl egzersizi	42
Resim 3.23. Konsantrik ve eksantrik fazlarda pik ve ortalama torklar.....	42
Resim 3.24. Isınma protokolü.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
μm	Mikrometre
Ca^{+2}	Kalsiyum İyonu
cm	Santimetre
cm^2	Santimetre Kare
d	Cohen d Değeri
H^+	Hidrojen İyonu
I	Eylemsizlik Momenti
kg	Kilogram
km/sa	Kilometre Bölü Saat
m	Metre
Mhz	Megahertz
mmhg	Milimetre Cıva
N	Newton
P_i	İnorganik Fosfat
sn	Saniye
W	Watt
N.kg^{-1}	Newton Bölü Kilogram

Kısaltmalar	Açıklamalar
A.	Arteria
Art	Articulatio
Ark	Arkadaşları
Akt	Protein Kinaz B
AOB	Arteryal Oklüzyon Basıncı
AOP	Arterial Occlusion Pressure
Art	Articulatio

Kısaltmalar	Açıklamalar
ATP	Adenozin Trifosfat
AZD	Algılanan Zorluk Derecesi
BFcl	Musculus Biceps Femoris Caput Longum
BFR	Blood Flow Restriction
CG	Control Group
Ç1	1. Çeyrek
Ç3	3. Çeyrek
DICOM	Digital Imaging and Communication in Medicine
EKFS	Eksantrik Diz Fleksiyon Kuvveti
FIFA	Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği
FLST	Follistatin-Like Related Genes
FLST-3	Follistatin (FLST) Follistatin-Like 3 (
FOXO	Forkhead Box O
FOXO3A	Anti-Hipertrofik Etkileri Olan Atrogin-1
FW	Flywheel
FWLC	Flywheel Leg Curl
GASP-1	Growth and Differentiation Factor–Associated Serum Protein 1
GPS	Global Positioning System
HKY	Hamstring Kas Yaralanmaları
ICC	Intra Class Corelation
IGF	Insulin Growth Factor
IHS	Isometric Hamstring Strenght
KAK	Kan Akımı Kısıtlaması
LCL	Ligamentum Collaterale Laterale
M.	Musculus
MAPK	Mitojenle Aktive Edilen Protein Kinaz
MCL	Ligamentum Collaterale Mediale
MT	Maksimum Tekrar
MR	Manyetik Rezonans
MRG	Manyetik Rezonans Görüntüleme
mRNA	Mesajcı Ribonukleik Asit
MuRF-1	Muscle Ringe-Finger Protein-1

Kısaltmalar	Açıklamalar
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NHE	Nordic Hamstring Egzersizi
NOS	Nitrik Oksit Sentezi
ÖÇB	Ön Çapraz Bağ
PA	Pennation Angle
PI3K	Fosfoinositid-3 Kinaz
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
RDL	Romanian Deadlift
SEMG	Yüzeyel Elektromiyografi
SPSS	Statistical Processing For The Social Sciences Software
SLHB	Single Leg Hamstring Bridge
SLHD	Single Leg Hop Distance
SM	Musculus Semimembranosus
SMAD-7	MAD-Related Protein
ST	Musculus Semitendinosus
SU	Sarkomer Uzunluğu
UK	United Kingdom
US	Ultrason
USG	Ultrason Görüntüleme
TBHK	Tek Bacak Hamstring Köprü
TBHM	Tek Bacak Hoplama Mesafesi
VKİ	Vücut Kütle İndeksi

1. GİRİŞ

Sporcunun antrenman veya müsabaka anında maruz kaldığı yüklenmelere kas iskelet sisteminin daha hızlı adapte olup yaralanmadan performansını devam ettirebilmesi için geliştirilmiş koruyucu egzersiz programları uygulanır. Bu programlar genel olarak denge, stabilite, plyometrik ve spora özel egzersizler içerir ve temelinde konsantrik, izometrik ve eksantrik kontraksiyonlar vardır [1]. Kas boyunun uzarken kasılması anlamına gelen eksantrik kasılma ve hareketin eksantrik fazının konsantrik fazdan yoğun olduğu eksantrik egzersizlerin moleküler, nörolojik ve morfolojik mekanizmaları ile histokimyasal kardiyopulmoner ve moleküler etkileri literatürde geniş şekilde raporlanmıştır [2]. Yaralanma anını simüle edebilen eksantrik egzersizler için vücut ağırlığı, serbest ağırlıklar ve ağırlık makinaları ile yapılan egzersizler [3,4] veya flywheel (FW) egzersizleri kullanılmaktadır [5-9].

FW Exercise Device , *Versa Pulley* , *Inertial Training and Measurement System* veya *Iso-Inertial YoYo™ Technology* olarak literature geçmiş FW ergometresi, uygun aparatlarla egzersizin konsantrik aksiyonu esnasında oluşan enerjiyi batarya gibi depolayarak egzersizin eksantrik aksiyonunda dirence dönüştürebilen limitsiz bir kapalı enerji sistemidir [10-12]. Egzersizlerin ergometre ile koordineli olarak yapılabilmesi için özellikle konsantrik fazın mümkün olduğunca hızlı yapılması gerekmektedir. Hız, güç çıktıları artırmakta; ergometre tasarımı ile birleştirildiğinde ise egzersizin eksantrik fazı için kas aktivasyonunun ve güç çıktılarının daha yüksek olmasını sağlamaktadır [13]. Tip II kas aktivasyonu ve hipertrofisi [14], egzersizler esnasında kaslarda sportif fonksiyonlara özgü kasılarak uzama ve hızlı kısalma döngüleri [15], koruyucu rehabilitasyon programlarına dahil edildiğinde hamstring yaralanma şiddetinde ve sıklığında azalmalar meydana getirmesi [16-19] klinik ortamda fizyoterapistleri FW ergometresine yöneltilmektedir.

1960 yılında Japon araştırmacı Yoshiaki Sato tarafından bulunan ve günümüzde de halen kullanılan kan akımı kısıtlaması (KAK) ekstremiteler proksimalinden kan akımı eksternal basınçla kısıtlandıktan sonra tek başına veya egzersizler ile birlikte yaptırıldığında, kas iskelet sisteminde ve kardiyovasküler sistemde fizyolojik, morfolojik ve fonksiyonel adaptasyonlar oluşmaktadır [20-26]. Eksternal basınç ile ekstremitenin distalinde meydana getirilen kan akımı manipülasyonu hücrelerin çalışma ortamını değiştirerek egzersizle aktive edilen kaslarda istenilen adaptasyonları artırabilmektedir [27-30]. Yüksek eşikli uyarılma

potansiyellerine sahip tip II motor ünitelerin devreye girebilmesi için geleneksel yöntemlere göre 1 maksimum tekrarın en az %70'inde yük ile kasların gerilim stresine maruz kalması gerekmektedir [31]. Ameliyat sonrası rehabilitasyon döneminde geriatrik popülasyonda bu yüklerde egzersiz yapılması mümkün olmadığı gibi, performans gelişimi için yüklenme antrenmanları yapmak zorunda olan atletik popülasyonda da geleneksel yöntem sinoviyal eklemlerin dejenerasyon riskini artırmaktadır. KAK ile 1 maksimum tekrarın %20-30'u gibi düşük yüklerde tip II kas liflerini aktive edebilen KAK yöntemi sahada daha ön plana çıkmaktadır [31].

Hızlanıp-yavaşlama, yüksek hızlı koşu, ani yön değiştirme, sıçrama ve tekmeleme aksiyonlarının antrenman veya müsabaka anında birlikte ve tekrarlı yapıldığı spor branşı olan futbolda [32-38]; bireysel ve takım halinde mücadele eden futbolcuların alt ekstremitelerde en sık yaralanan kas grubu hamstringlerdir [39]. Spor yaralanmalarını önleyebilmede strateji geliştirebilmenin temel taşı, yaralanmanın nasıl meydana geldiğinin tespit edilmesidir [40]. Prevelans çalışmalarına göre hamstring kas yaralanmaları (HKY) çok yüksek oranda herhangi bir temas olmaksızın eksantrik kasılma aksiyonları esnasında meydana gelen gerginlik yaralanmasıdır [41-43]. HKY için birçok risk faktörü multifaktoriyel olarak raporlansa da son yıllarda eksantrik hamstring kuvveti ve hamstring kas mimarisi parametreleri, çalışmalarda değiştirilebilir içsel risk faktörleri olarak kategorize edilmiştir [44-50]. Araştırmacılar HKY'yi koruyucu egzersiz programları ile hızlı kasılan kas liflerinin aktivasyonu, eksantrik hamstring kuvveti ve kas mimarisi parametrelerini geliştirmeye odaklanmıştır [51, 52]. HKY'yi önlemeye yönelik son yirmi senedir araştırmacılar tarafından farklı eksantrik egzersiz programlarının kinezyolojileri ve etkileri incelenmektedir [53]. Kapsamlı araştırmalara rağmen mevcut koruyucu rehabilitasyon yöntemlerinin henüz tam olarak belirlenemeyen sebeplerle yetersizleşmesi veya etkisizleşmesinden dolayı hamstring yaralanma oranı azalmamakta ve araştırmacıların konuya ilgisi artarak devam etmektedir [54]. Araştırmacıların HKY'yi azaltabilmek için yöntemleri birleştirerek etkinliğini artırması veya yeni yöntemler geliştirmesi gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında literatürde ilk defa yapılan bu çalışmanın amacı; rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün uygulanan *flywheel leg curl* egzersizi esnasında KAK uygulamasının, hamstring kaslarından *musculus (m.) biceps femoris caput longum* (BFcl) mimari parametrelerinde yol açtığı değişim ve fonksiyonel performansa olan

yansımalarını kanıta dayalı yöntemlerle, nicel ve objektif verilerle ortaya koyarak literatüre katkı sunmaktır.

Hipotezler:

H1: Flywheel leg curl egzersizini kan akımı kısıtlamalı yapan futbolcuların biceps femoris uzun başı mimari parametrelerinde fark vardır.

H2: Flywheel leg curl egzersizini kan akımı kısıtlamalı yapan futbolcuların hamstring kuvvet gelişiminin en az birinde fark vardır.

H3: Flywheel leg curl egzersizini kan akımı kısıtlamalı yapan futbolcuların fonksiyonel performans test parametrelerinin en az birinde fark vardır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Flywheel Egzersiz Yöntemi

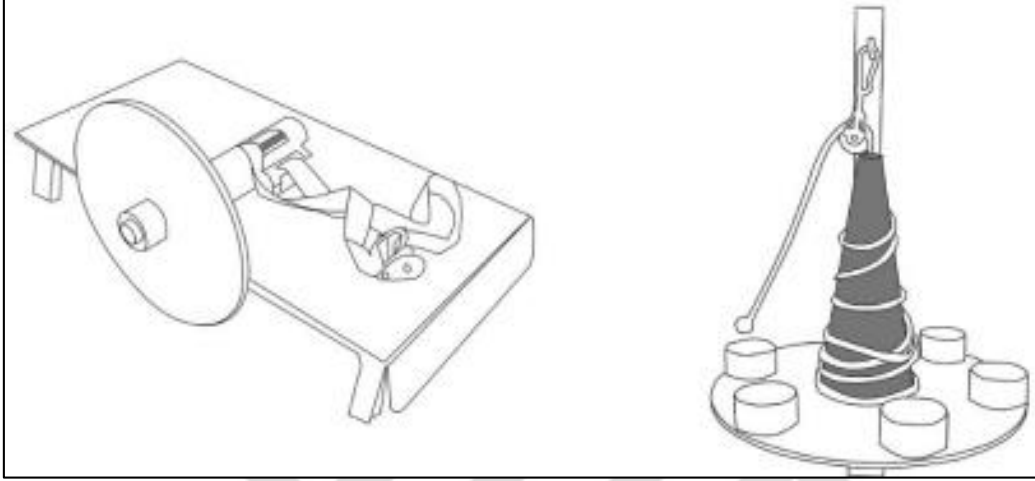
1900'lü yılların sonlarında Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Uluslararası Uzay Tıbbi Komitesi tarafından uzay yolculukları sonrası astronotlarda kas atrofisi, kemik mineral yoğunluğunda azalmalar ve bunların sonucunda bazı nöromuskuler disfonksiyonlar tespit edilmiştir [55, 56]. Araştırmacılar arasında, sadece beslenme ve takviye gıdalarla astronotların bu problemlerinin aşılamayacağı, astronotların yer çekimsiz ortama maruz kalmasının atrofiye sebep olduğu ve yolculuk esnasında egzersiz de yapmaları gerektiği konusunda görüş birliği oluşmuştur [55, 56]. Yer çekimsiz ortamda serbest ağırlıklarla dirençli egzersiz yapılamayacağı için etkileri bilindiği halde astronotlara kas kitlesini, kuvvetini ve gücünü korumada yetersiz olan düşük yoğunluklu aerobik egzersizler reçete edilmiştir [55, 56]. Astronotların problemlerinin devam etmesi üzerine diğer gezegenlere yolculuklarda sorunun büyüyeceği ve uzay araştırmalarını engelleyeceği düşüncelerinin yanı sıra yolculuk esnasında kısıtlı alan, enerji, su ve oksijen gibi gereksinimler de dikkate alınınca en ideal egzersizlerin eksantrik egzersizler olduğu fikri ağır basmıştır [55, 56]. Newton Eylemsizlik Prensibi göz önüne alınarak 1994 yılında Berg ve Tesch isimli araştırmacılar tarafından FW ergometresi üretilmiştir [9, 10, 55, 56].

2.1.1. FW ergometresinin çalışma mekanizması

FW ergometresinin çalışma mekanizması yoyo oyuncağına benzer. Yoyo oynanacağı bir mil, iki ucuna sabitlenmiş yuvarlak diskler ve ortalarındaki mile bağlanmış yaklaşık 80 cm uzunluktaki ipten meydana gelir. Yoyo oynanacağı ile oynayabilmek için mile tamamen sarılmış ipin serbest ucu tutulur ve yoyo aşağı doğru bırakılır. Oyuncak ipinin uzunluğunca dönerek aşağı inen diskler dönmeye devam etmek ister; dolayısıyla ipi ters yönde geri sararak tekrar yukarı çıkar. Yoyo oynanmasının devinimlerine devam edebilmesi için ipi ile beraber yukarı-aşağı yönlerde hareket ettirilerek kendisine ivme kazandırılması gerekir.

FW ergometresi de bir platform, platform üzerinde dönebilen vertikal koni veya horizontal silindir tasarımına sahip bir shaft, shaft ile birlikte hareket eden halat sistemi ve shaftın dönme hızını veya halattaki gerilim kuvvetlerini algılayabilen sensörlerden meydana gelir. Horizontal silindir shaft sistemine sahip FW ergometrelerinde eylemsizlik momenti shaft ile

birlikte dönebilen farklı ağırlık ve çapa sahip diskler sayesinde; vertikal koni şaft sistemine sahip FW ergometresinde ise eylemsizlik momenti FW'ye takılan ağırlık veya halatın sarıldığı bölgenin çapı değiştirilerek ayarlanır. Literatürdeki çalışmalarda daha çok horizontal silindir tasarımlı FW ergometreleri kullanılmıştır (Şekil 2.1) [56].

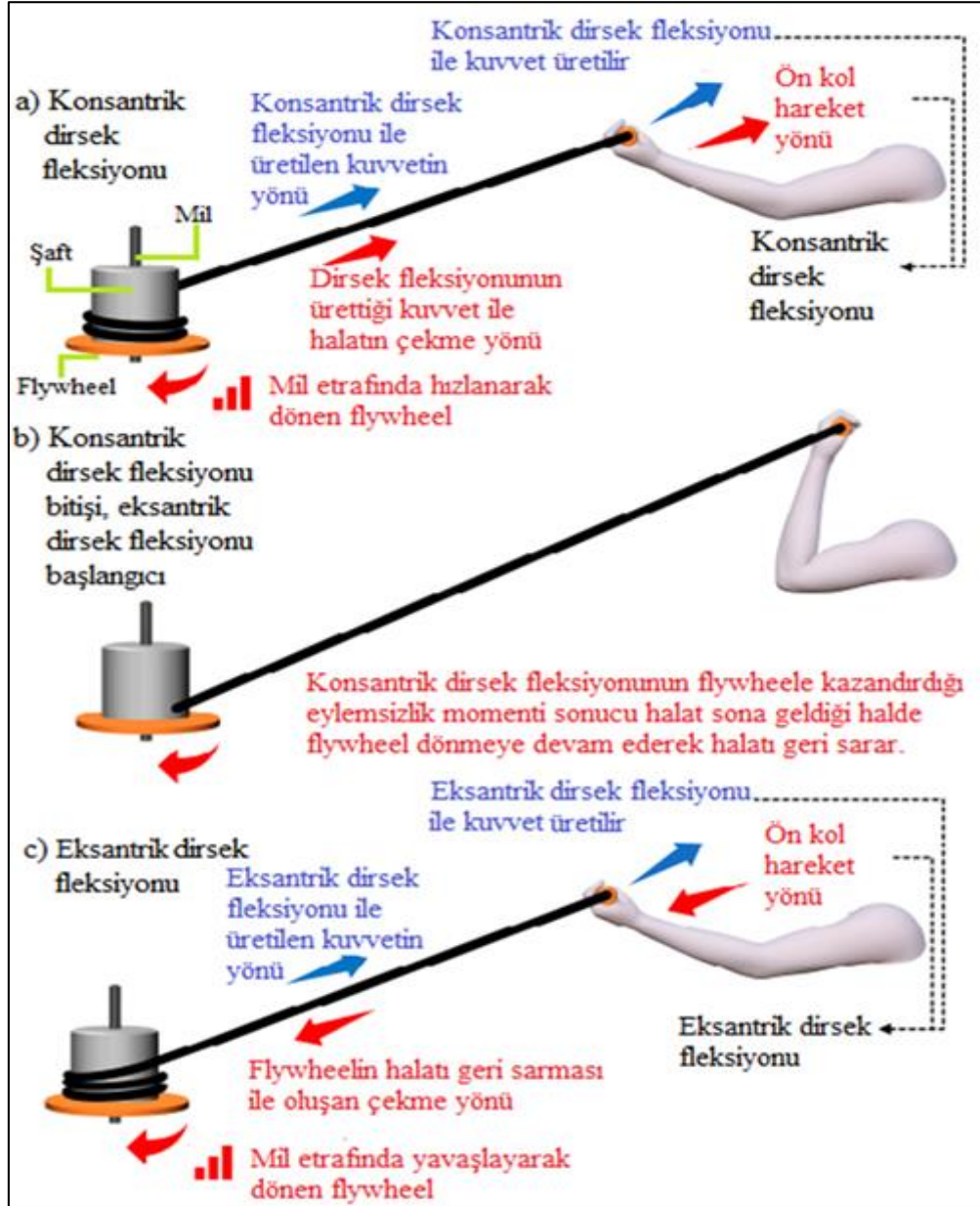


Şekil 2.1. Horizontal silindir (sol) ve vertikal koni (sağ) FW ergometre tasarımları [56]

FW egzersizine başlamadan önce FW ergometre platformu üzerinde pozisyon alınır. İstenilen hareket açıklığına göre ergometrenin halat boyu ayarlanır. Ergometre halatı yelek, kemer, tutma veya sarma aparatları ile kişiye sabitlenir. Genelde egzersizlere konsantrik faz ile başlanır ve ergometre halatı çektilir. Halat çekilirken FW ergometresinin şaftını hızlandırarak döndürmeye, şaft ise açısal hız ve eylemsizlik momenti kazanmaya başlar. Konsantrik faz bittiğinde halat en uzun pozisyonundadır; bu andan sonra disk egzersizin konsantrik fazında kazandığı eylemsizlik momenti ile dönmeye devam eder, halat geri çekilmeye başlar ve halat kısalır. Ergometre geri sararken sporcu halatın uyguladığı çekme gücüne direnç gösterir; bu esnada disk yavaşlayarak durur ve egzersizin eksantrik fazı tamamlanmış olur. Bir sonraki tekrar için sporcu konsantrik fazla yeniden başlar. Konsantrik fazda ne kadar hızlı çekilir ise ergometre daha fazla eksantrik çekme uygular. Hareket başlangıcında halatı çekerken konsantrik çalışan kaslar, ergometre halatı sarmaya başladığında buna direnerek eksantrik kasılır.

Klinisyenlerin egzersizleri FW ergometresi ile yaptırmasının iki ana nedeni vardır. Bunlar, konsantrik fazdan eksantrik faza hızlı geçişler ve uzayarak kasılma döngüleri özellikle sporcular için fonksiyona daha özgü olması [14] ve serbest ağırlıklar veya ağırlık makinaları

ile yapılan egzersizlere göre eksantrik fazın daha büyük dirençler sağlayabilmesidir (Şekil 2.2) [55-59].



Şekil 2.2. Flywheel ergometresi çalışma şeması [59]

Eylemsizlik momenti

FW ergometrelerinde egzersiz yoğunluğunu belirleyen faktörlerden birisi dönen disklerin eylemsizlik momentleridir. Silindirik cisimler kendi etraflarında veya bir mil etrafında döndürülmek istendiğinde bir direnç göstermekte ve bu direnç cismin kütlesi ve çapı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Sembolü I (*Inertia*) ve birimi kg.m^2 olan eylemsizlik momenti, silindirik şekilli cisimler için aşağıdaki formül ile hesaplanır. Eylemsizlik momenti, FW

ergometresinde mil etrafında dönen silindirik diskin ağırlığı ve yarıçapının karesi ile doğru orantılıdır.

$$I=1/2.m.r^2 \quad (2.1)$$

I Eylemsizlik momenti, m: Disk ağırlığı, r^2 : Yarıçapın karesi [60].

Çalışmalarda eylemsizlik momenti 0.008-0.4 kg.m² aralığında değişmektedir [55, 56]. 0.01-0.05 kg.m² küçük eylemsizlik momenti, 0.05 kg.m² ve üzeri ise büyük eylemsizlik momenti olarak çalışmalarda sınıflandırılmıştır [57, 58, 60, 61]. Dönen diskin çapı, ağırlığı ve dönme hızı flywheel egzersizlerinde yüklenme ve direnç oluşturmanın kilit noktasıdır [60,61]. Ergometrenin tasarım modeline göre çalışmalarda kullanılan eylemsizlik momentlerinin büyüklüğü değişmektedir. Vertikal konik tasarımlı ergometrelerde genellikle daha yüksek eylemsizlik momentleri ile yapılan egzersizler raporlanmıştır [55]. Egzersizler için eylemsizlik momentini belirlemede önemli olan bir diğer faktör egzersize katılan kas ve eklem sayısıdır. *FW squat, lunge, deadlift, leg press* gibi çok eklemli kapalı kinetik zincir egzersizlerinde harekete katılan kas sayısı daha fazla olduğu için yüksek eylemsizlik momentleri ile daha büyük tepe ve ortalama güç çıktıları tespit edilmektedir. Tek eklemli *FW leg curl, leg ekstansiyon, biceps curl* gibi açık kinetik zincir egzersizlerinde harekete katılan kas sayısı daha az olduğu için orta veya daha düşük eylemsizlik momenti oluşturan disklerde daha yüksek güç çıktıları tespit edilmektedir [62].

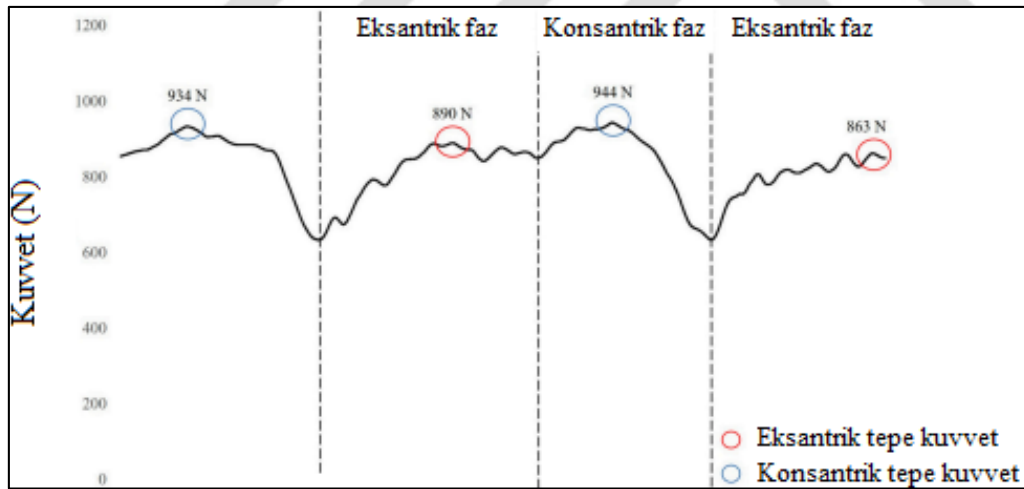
2.1.2. FW egzersizlerinde güç çıktıları

FW egzersizlerinde güç çıktılarını değiştiren unsurlar ergometre tasarımı, eylemsizlik momenti oluşturan diskin çapı ve ağırlığının yanı sıra egzersiz tekniğidir. Egzersizler esnasında oluşturulan kuvvet verileri Newton (N) cinsinden gerçek zamanlı olarak ergometreye yerleştirilen kuvvet platformları sayesinde monitörize edilirken, güç veya hız verileri enkoder sistemi veya potansiyometre ile Watt (W) cinsinden monitorize edilmektedir [55]. Hareket hızı ise metre/saniye, derece/saniye veya devir/saniye cinsinden monitöre edilmektedir [55].

FW egzersizleri esnasında egzersiz temposuna göre egzersizin yoğunluğundan kaynaklı olarak güç çıktıları değişebilmektedir. Literatürde üç farklı tipte FW egzersiz temposu

raporlanmıştır. Geleneksel yöntemle göre eksantrik faza geçişten hemen sonra, yani eksantrik aksiyonun ilk 1/3'lük kısmında yüksek dirençle FW ergometresinin yavaşlatılıp kalan hareket açıklığının daha düşük dirençle ve hızla tamamlanması gerektiği görüşüdür [10]. Bu tempoda eksantrik faz tepe güç çıktıları konsantrik faza göre daha yüksek olmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı ergometre ile egzersiz esnasında koordinasyonun kaybolabilmesi, flywheelin ani direnç sebebiyle durabilmesi, egzersiz tekrarları için FW'nin tekrar döndürülmesi veya sete tekrar başlanması gerekliliğidir. Ayrıca eksantrik aksiyonun başlangıcındaki ani ve yüksek direnç, egzersiz sonrası ilgili eklemlerde ağrı veya ani eksantrik kasılmalar sebebiyle aktive olan kaslarda gerginlik ve ağrı şikayetleri oluşturabilmektedir.

FW egzersizleri için raporlanmış diğer iki farklı tipteki tempo yönteminde konsantrik faz süresi değiştirilerek güç çıktılarına bakılmıştır. Konsantrik ve eksantrik faz yavaş tempoda yapıldığında (yaklaşık ~ 3 saniye [sn]) eksantrik faz çıktıları, konsantrik faz çıktılarından altında kalabilmektedir (Şekil 2.3) [62].



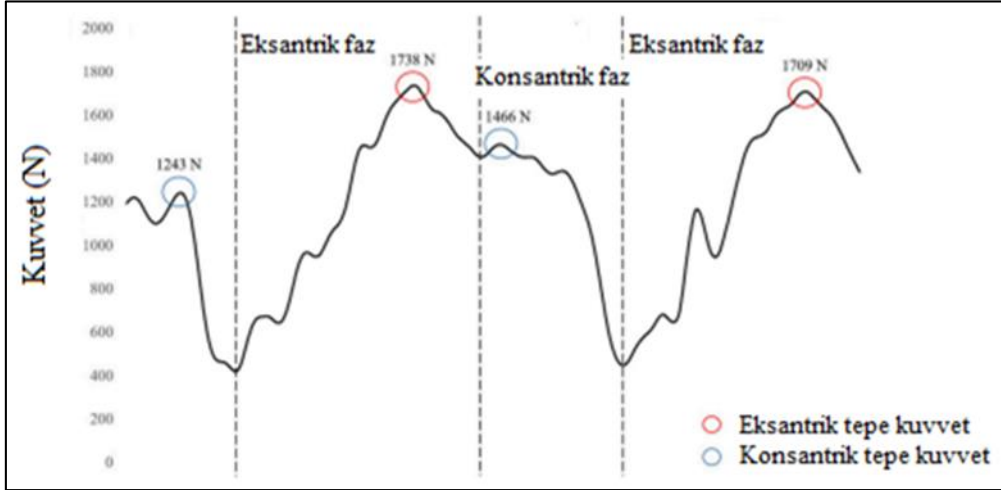
*Not: 0.05 kg/m² eylemsizlik momenti ile 3 sn yöntem ile FW squat egzersizi güç çıktıları

Şekil 2.3. Yavaş tempo FW squat egzersizi esnasında konsantrik ve eksantrik faz kuvvet çıktıları [62]

Konsantrik faz hızlı yapıldığında (<1 sn) egzersizin her iki fazı için yavaş tempoya göre daha fazla güç çıktısı üretilmekle birlikte eksantrik fazda konsantrik faza göre daha yüksek tepe değerler tespit edilmektedir (Şekil 2.4) [62].

Sporcudaki egzersizin eksantrik faz güç çıktılarının artırabilmesi, diğer bir deyişle eksantrik yüklenme amacının gerçekleşmesi için teknik kendisine mutlaka doğru anlatılmalıdır. Diğer

çalışmalarda olduğu gibi FW çalışmalarında da başlamadan önce egzersiz tekniğinin öğrenilebilmesi ve ergometre ile koordinasyona alışılabilmesi için 1 veya 2 hafta, haftada 2-4 gün alıştırma seansları yaptırılması gerekmektedir [63].



*Not: 0.05 kg/m² eylemsizlik momenti ile 1 sn yöntem ile FW squat egzersizi güç çıktıları

Şekil 2.4. Hızlı tempo FW squat egzersizi esnasında konsantrik ve eksantrik faz kuvvet çıktıları [62]

2.1.3. FW egzersiz reçetesi

Takım sporlarında çoğunlukla haftada 1 veya en fazla 2 gün FW egzersizleri yapılabilmekte iken, fiziksel olarak aktif bireyler haftada 3 gün FW programına katılabilmektedir. Takım sporcuları için maç gününden sonra 3. günde FW ergometresi ile kuvvet çalışması veya koruyucu egzersiz çalışmaları, bir sonraki maç öncesi 2. güne kadar da FW ergometresi ile güç çalışmaları yapılması önerilmektedir [64]. Seanslar arası 48 saat, setler arası 90-180 sn dinlenme önerilmektedir. FW ergometresi kullanılarak güç çalışması planlanacaksa küçük eylemsizlik momenti, kuvvet çalışmaları içinse daha büyük eylemsizlik momenti oluşturan disk veya ağırlıklar kullanılır [65].

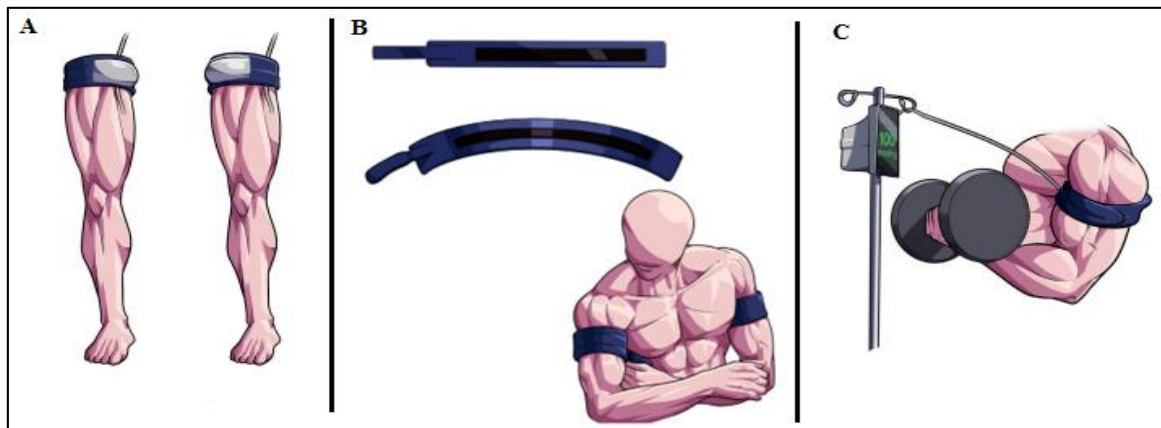
2.2. Kan Akımı Kısıtlamalı Egzersiz Yöntemi

KAK egzersiz; özel tasarlanmış turnike, manşon veya elastik bir sargı vasıtasıyla ilgili ekstremitenin en proksimalinden kan akımını eksternal basınçla kısıtlama yöntemine dayanan bir protokolüdür [20-31, 66-68]. Eksternal basıncın ekstremitenin distalinden venöz dönüşü kısıtlayacak, arteriyel kan akımının devamını sağlayacak kadar uygulanması önerilmektedir [66-68]. KAK uygulamasının amacı, kısıtlama uygulanan ekstremitenin

distalinde kalan bölgede hipoksik ortam ve metabolik birikme oluşturarak lokal ve sistemik değişimler sağlamaktır [66-68].

2.2.1. Manşon materyalleri

Oluşturduğu etkiler bakımından birbirine herhangi bir üstünlüğü raporlanmamış naylon, elastik veya karma materyallerden üretilen manşonların enine genişliği 3-18 cm aralığında iken, uzunluğu yaklaşık 80-90 cm aralığındadır [69-71]. Naylon materyallerde esneme olmayacağı için basınç ayarlaması elastik materyallere göre daha düşük olabilmektedir. Deri yüzeyine denk gelen manşon yüzeyi naylon materyallerde terleme ve distale kayma ihtimalini artırırken sterilizasyonunu kolaylaştırmaktadır. Pamuklu veya polyester materyallerden üretilen manşonlar deri yüzeyi ile daha uyumlu, konforlu ve sabit olsa da sterilizasyonu biraz daha zorlaşmaktadır. Dokulara uygulanan basınç, yöntemine göre 50 -300 mmhg aralığında değişmektedir [71-73]. Geniş manşonlarda basınç uygulanan yüzey artacağı için daha düşük basınçlar kullanılırken, dar manşonlar için daha yüksek basınçlar tercih edilmektedir [72, 73]. Yüksek basınçların dezavantajları manşonun bağlandığı yerde deri altı kanamalar oluşturması, manşonun sıkıştırmasına bağlı oluşan ezilme ağrıları ve geçici uyuşma-karınalanma hissiyatıdır [72, 73]. Geniş manşonların dezavantajları ise yüksek basınçta manşona denk gelen kas dokusunda kas hipertrofisinde yavaşlama ve hareket esnasında kısıtlama oluşturmalarıdır [73, 74].



*Not: A: Karma manşon, B: Düz ve konik kesimli manşonlar, C: Otomatik basınç ayarlayabilen dijital manşon
Şekil 2.5. Şematize edilmiş farklı manşon tipleri [75]

Karma manşonlarda şişirilebilen kısım; alt ekstremite için *arteria (a.) femoralis*, üst ekstremite için ise *a.brachialis* üzerine denk getirilir. Diğer kısımları elastik materyalden olduğundan daha konforlu olduğu söylenebilir, fakat basınç ayarlaması sorun yaratabilir.

Düz ve konik kesimli manşonlarda manşon naylon materyallerden yapılır ve her yere eşit miktarda basınç uygular. Düz manşonlar üst ekstremiteleri daha iyi kavrar; konik kesimliler ise distale doğru ekstremitte çapı azaldığı için alt ekstremiteleri daha iyi kavramaktadır. Otomatik basınç ayarlayabilen dijital manşonların kullanımı özellikle kesiklendirmeli KAK uygulamakta ve pasif KAK uygulamalarında kolaylıklar sağlamaktadır (Şekil 2.5) [75].

2.2.2. Manşonların yerleştirilme bölgeleri

KAK manşonları egzersiz esnasında hareketi kısıtlamayacak şekilde ekstremitelerin en proksimaline yerleştirilir [76, 77]. Üst ekstremiteler için *a.brachialisten* kan akımını kısıtlamak amacıyla *m. deltoideus insertiosu* üzerinden *humerus* uzun eksenine dik olarak pozisyonlanırken, alt ekstremiteler için *a.femoralisten* kan akımını kısıtlamak amacıyla trokanter majör üzerinden *inguinal ligament* paralel (femur uzun eksenine oblik) olacak şekilde pozisyonlanır [76, 77].

2.2.3. Basınç belirleme yöntemleri

Güncel çalışmalarda en sık kullanılan ve güvenilir olarak raporlanan bireyselleştirilmiş basınç belirleme yönteminde arteriyel oklüzyonun sağlandığı, distalde nabız atımının tamamen kesildiği, yani vasküler dopler cihazında görsel ve/veya sesli uyarıların bittiği minimal basınç belirlenir ve bunun belirli bir yüzdesine göre egzersiz anında manşon basıncı ayarlanır. Arteriyel oklüzyon basıncı (AOB) bireye özgüdür ve istirahat kan basıncı, manşon genişliği ve ekstremitte çapına göre değişebilir [76-78]. Bu yöntemle göre çalışmalarda egzersiz basıncı AOB %40-80 aralığında değişmektedir [69, 78].

Algılanan sıkıştırma miktarına göre pratik basınç belirleme yönteminde elastik sargılar kullanılır. KAK için elastik sargılar ekstremitte proksimalinden esnetilerek sarılır ve kişiden elastik sargının uyguladığı basıncı 0 (sıfır) ile 10 (on) üzerinden puanlaması istenir. 0, hiç sıkışma olmadan serbest olarak sarıldığında verilen puanken; 10 ise derinin sıkışmadan dolayı çok acıdığı, hatta uyuşma ve karıncalanmanın olduğu basınç değeridir. Bu yöntemde basınç genelde 10 üzerinden 7 olacak şekilde ayarlanır. Pratik bir yöntem olsa da kişilerin algısına göre ayarlandığı için basıncın doğru ayarlanamama ihtimali oldukça yüksektir [23, 79].

Güncel çalışmalarda çok tercih edilmeyen geleneksel basınç belirleme yöntemine göre istirahat sistolik kan basıncına ve/veya ekstremitte çapına göre egzersiz basıncı belirlenmektedir. Özellikle de alt ekstremitte için yeteri kadar kan akımı kısıtlaması sağlanamamaktadır [80]. Ayrıca sistolik kan basıncı ile AOB arasında zayıf korelasyon bulunmaktadır [81]. Literatürde bu yöntemle ilgili iki farklı formül raporlanmıştır:

$$\text{Egzersiz basıncı} = 0.5 \times (\text{sistolik kan basıncı}) + 2 \times (\text{uyluk çevresi}) + 5 \quad [82] \quad (2.2)$$

$$\text{Egzersiz basıncı} = 1.3 \times (\text{sistolik kan basıncı}) \quad [75] \quad (2.3)$$

2.2.4. KAK Uygulamasının primer etki mekanizmaları

Mekanik gerilim mekanizması

Mekanik gerilim, egzersizin yapıldığı esnada aktive olan liflerde meydana gelen stres olarak tanımlanabilir. Mekanik gerilim, kas hipertrofisi için en temel mekanizmadır [83]. Bu mekanik gerilim stresinin biyokimyasal sinyallere dönüştürülmesi ise mekanotransdüksiyon teorisidir [84-86]. KAK egzersiz ile meydana gelen mekanik gerilim sonucu oluşan biyokimyasal sinyaller yapısal protein sentezi, lokal ve sistemik hormonların üretilip salgılanması, pasif haldeki uydu hücrelerin aktivasyonu [87], egzersize bağlı meydana gelen kas hasarı [88], reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretimi [89], tip II kas liflerinin aktivasyonu [90] sekonder mekanizmalarını da aktive ederek kas hipertrofisi ve kuvvet kazanımlarını artırır (Şekil 2.6). KAK egzersizlerin indüklediği grup III ve grup IV afferentlerin stimülasyonu sonucu oluşan ağrı ve konforsuzluk hissi, ilgili alfa motor nöronda medulla spinalis seviyesinde inhibisyona sebep olmaktadır. Merkezi sinir sistemi tip II kas lifi ateşlemesini artırarak bu duruma müdahale eder [91, 92].

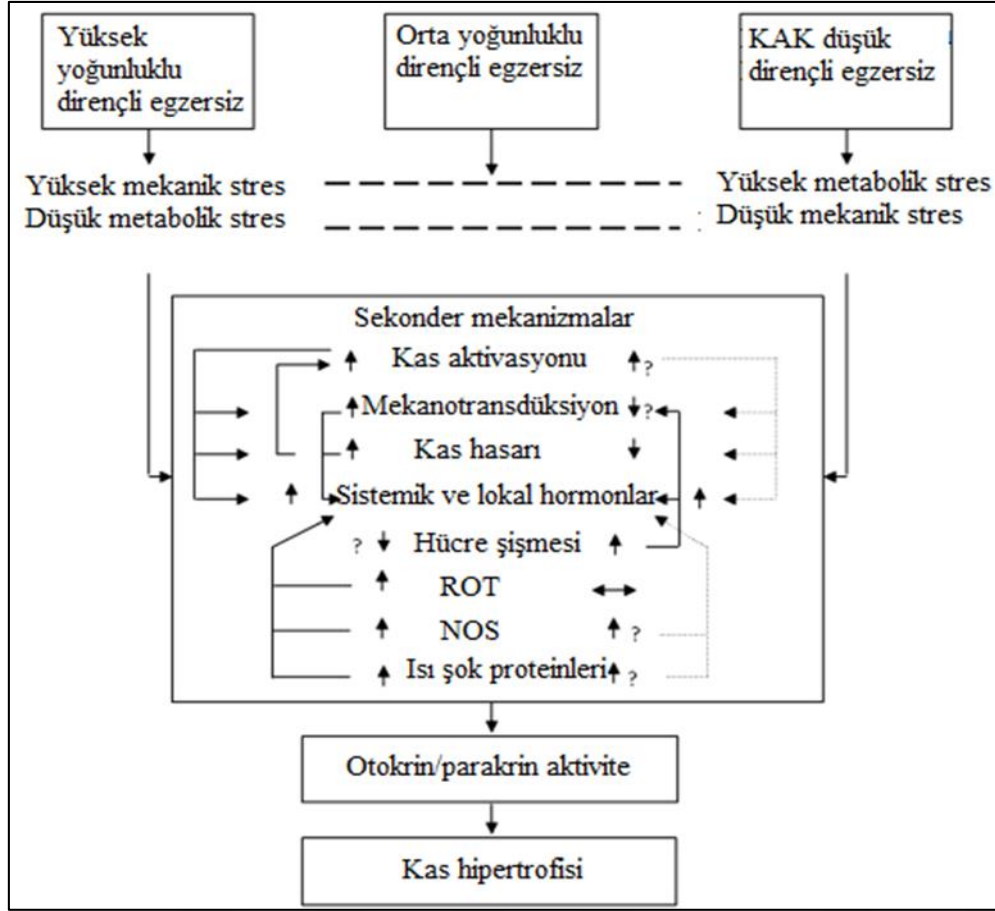
Metabolik stres mekanizması

Egzersiz esnasında mekanik stres çok yüksek değilse metabolik stresin mutlaka oluşması gerekmektedir [84, 93]. KAK düşük yoğunluklu dirençli egzersizler anında da oluşan hipoksik ortamda [94] kas içi laktat, inorganik fosfat (Pi), hidrojen iyonu (H⁺) gibi metabolik artıkların birikmesi kas gelişimi için gerekli metabolik stresini oluşturarak anabolik sinyal yollarının aktifleşmesini sağlar [95]. Egzersiz sonrası hücre şişmesinin de, hücre içi sıvının artmasına neden olan Pi, H⁺ ve laktat birikiminden kaynaklandığı düşünülmektedir

[95]. Hücre şişmesinin, mitojenle aktive edilen protein kinaz (MAPK) yolağını aktive ederek protein sentezini arttırdığı, proteolizi azalttığı bilinmektedir [96-98]. Hücre şişmesinin, uydu hücrelerin çoğalmasını tetikleyebileceği ve hipertrofik miyofibrillerle füzyonunu kolaylaştırabileceği, böylece uzun vadeli hipertrofik adaptasyonları artırabileceği ileri sürülmektedir (Şekil 2.6) [99, 100].

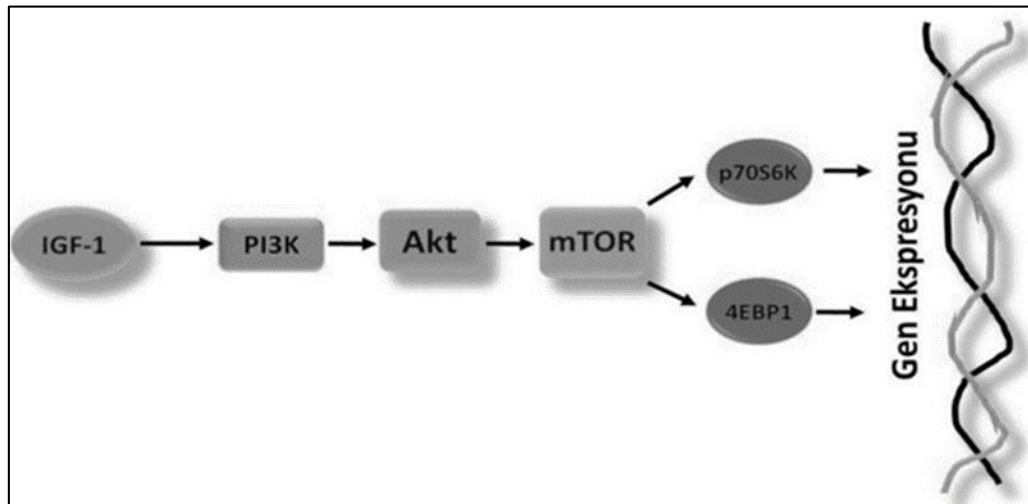
2.2.5. Hücre içi sinyal yolları

KAK egzersizlerin neden olduğu hipertrofi ve kuvvet kazanımlarının altında yatan hücresel mekanizmalar halen tam olarak kanıtlanamamıştır [68, 101]. Büyüme hormonu ailesinden olan insülin benzeri büyüme faktörü 1 (IGF-1), yetmiş amino asidin birleşmesinden meydana gelen özellikle karaciğer, böbrekler ve uzun kemiklerin uçlarındaki büyüme plaklarından üretilen anabolik bir peptittir [102]. IGF-1'in egzersiz sonrasında hücre zarında yer alan reseptörüne bağlanması, fosfoinositid-3 kinaz (PI3K) aktivasyonuna ve böylece sinyalin hücre içersine aktarılmasına neden olur. PI3K tarafından fosforillenen protein kinaz B (akt), bu yolağın diğer bir elemanı olan *mammalian target of rapamycini* (mTOR) aktifleştirerek protein yapım hızını artırır [103, 104]. Bu sinyal yolağı iskelet kası hipertrofisi ve kuvvet kazanımları için zorunludur [103, 104]. KAK egzersizin bu yolağı aktive ettiği, biyopsi çalışmalarında ispatlanmıştır [104]. Ayrıca KAK egzersizlerden sonra büyüme hormonu ve IGF-1 gibi sistemik hormonların kandaki konsantrasyonunun artması yine bu sinyal yolağını aktive etmektedir (Şekil 2.7) [100].



*Not: KAK: Kan akımı kısıtlaması, ROT: Reaktif oksijen türleri, NOS: Nitrik oksit sentezi. Oklar, ortaya çıkan ara sekonder etki mekanizmaların potansiyel aktivasyon derecelerini ve bunların olası ilişkilerini vurgulamaktadır. Devamlı oklar sekonder mekanizmaların potansiyel ilişkilerini temsil eder; kesikli oklar ise sekonder mekanizmaların belirsiz ilişkilerini gösterir. ↑ mekanik veya metabolik stresin sekonder etki mekanizmalarına pozitif yönde aktivasyonu temsil eder; ↓ mekanik veya metabolik stresin sekonder etki mekanizmalarına aşağı yönde aktivasyonu temsil eder; ↔ mekanik veya metabolik stresin sekonder etki mekanizmalarına etki etmediğini gösterir

Şekil 2.6. KAK egzersizlerin iskelet kaslarında hipertrofi sağlayan etki mekanizmaları ve birbirleri ile ilişkilerinin şematizasyonu [100]



Şekil 2.7. IGF1-PI3K-Akt-Mtor sinyal yolağı şematizasyonu [103]

KAK egzersizlerinden sonra biyopsi yapılan farklı bir çalışmaya göre miyotüplerin içine girebilecek şekilde farklılaştırma ve fibroblast gibi kökeninde kas hücresi olmayan hücrelerin kas hücresine çevrilmesi ile ilişkili MyoD proteini, miyotüp formasyonu ile başlayan ve miyoblast füzyonuna yol açan anahtar faktör miyozin proteini ve kas gelişimini negatif yönde düzenleyerek kas dokusu gelişimini ve homeostazı korumada görevli miyostatin proteini konsantrasyonunda değişiklik olmazken; atrofik genlerin transkripsiyonunda önemli rol oynayan ve proteolizi stimüle ederek hızlı atrofiye neden olan *forkhead box O3a* (FOXO3A), anti-hipertrofik etkileri olan *atrogin-1* ve iskelet kas atrofisinde de anahtar role sahip mediyatörlerden *muscle ringe-finger protein-1* (MuRF-1) proteinlerinin salınımı egzersiz sonrası azalmaktadır; yani proteinleri parçalayan preteolitik sinyal yollarının regülasyonu aşağı yöndedir [105].

KAK egzersizlerden sonra biyopsi yapılan diğer bir çalışmaya göre aktivin reseptör düzenleyicisi *follistatin-like related genes* (follistatin [FLST] follistatin-like 3 [FLST-3]) konsantrasyonunun artması, miyostatin reseptörü gibi görev yapan aktivin IIb protein konsantrasyonunun azalması, proteinlerin parçalanmasından sorumlu enzimleri inhibe eden *protein growth and differentiation factor-associated serum protein 1* (GASP-1) konsantrasyonunun artması ve miyostatin sinyallerini hücre içerisinde inhibe eden *MAD-related protein* (SMAD-7) konsantrasyonunun artması, sonuç olarak miyostatin etki mekanizmalarını azaltıp iskelet kaslarının fizyolojik enine kesit alanında artma meydana getiren diğer sinyal yollarıdır [25].

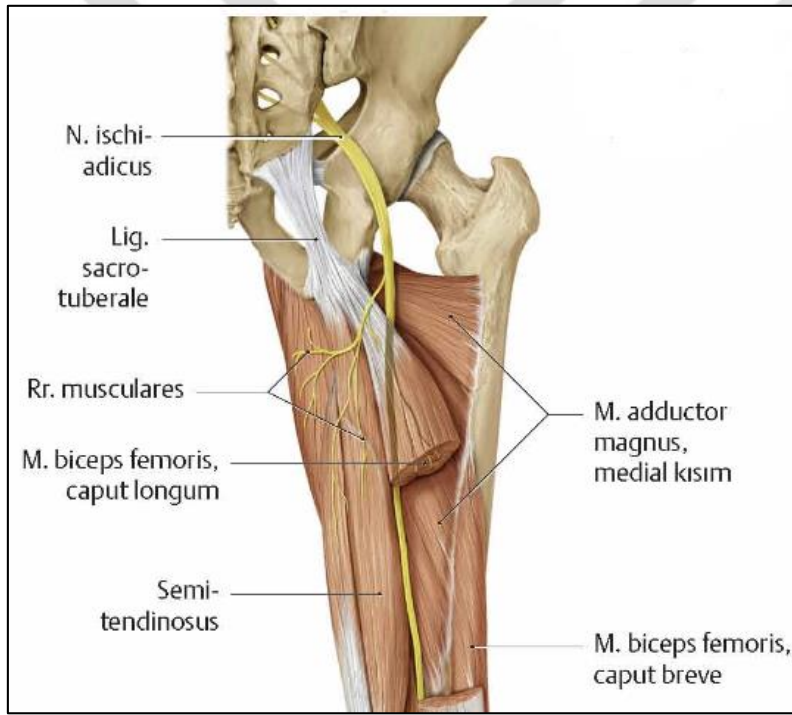
KAK egzersizlerden sonra biyopsi yapılan başka bir çalışmaya göre ise miyojenik kök hücrelerin oluşmasında, sayılarının artmasında ve farklılaşmasında rol oynayan Pax7+ protein konsantrasyonunda artış, miyofibriller başına düşen miyonükleus sayılarında artış, tip I ve tip II liflerin enine kesit alanında artış, hipertrofi meydana getiren başka bir sinyal yolağıdır [26].

2.3. Hamstringler

16. yüzyılda kasap tüccarlar tarafından üretilen ‘*hamstring*’ kelimesi, jambon yapılan et manasındaki domuz hayvanının arka budu olan ‘*ham*’ ve bunları dilimleyebilmek için asıldıkları güçlü tendonlarına denilen ‘*string*’ kelimelerinin birleştirilmesinden oluşturulmuştur [106].

2.3.1. Hamstring kas anatomisi

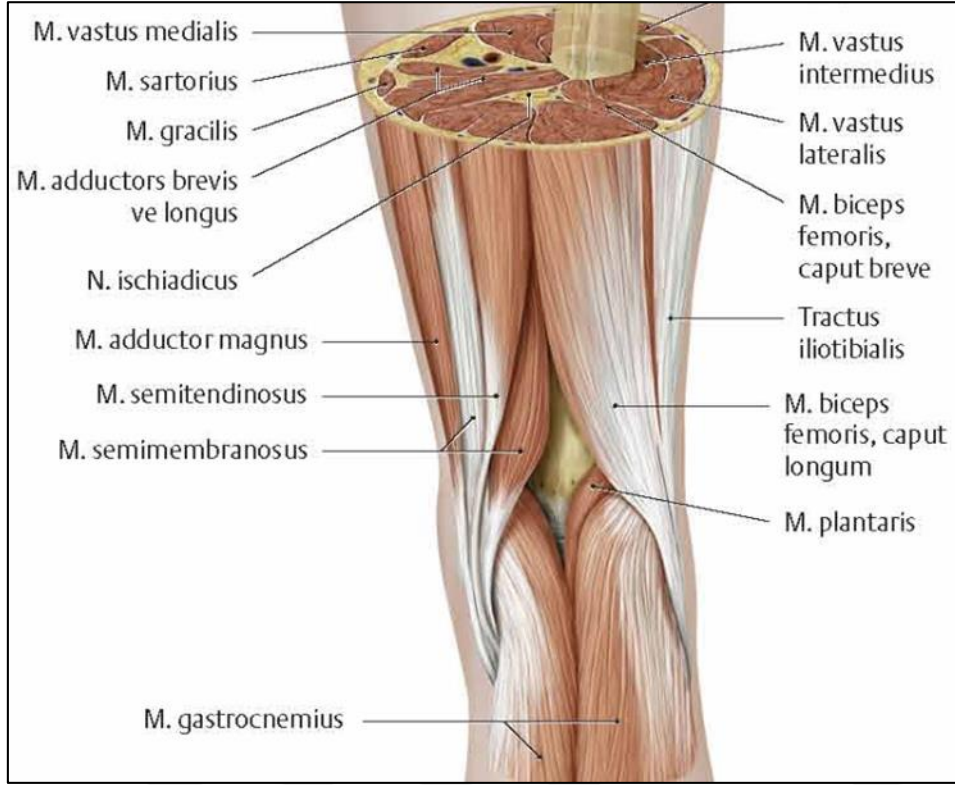
Hamstring, uyluk arka yüz kaslarının *m. semitendinosus* (ST), *m. semimembranosus* (SM) ve *m. biceps femoris* (BF) ortak ismidir. *m. biceps femoris*, *caput longum* (BFcl) ve *caput breve* (BFcb) olmak üzere iki ayrı kasta oluşur. BFcb hariç tuber iskiadikum ortak origolarıdır. SM, tuber iskiadikumun üst ve lateral yüzünden başlarken; ST ise tuber iskiadikumun üst ve medialinden ve BFcl proksimal tendonunun medial kenarından başlar. BFcl ise ST kası gibi tuber iskiadikumun üst ve medial yüzeyinden başlar. BFcb de femur kemiğinin arka yüzündeki linea asperanın distal 1/3 lateralinden ve femur kemiğine ait epikondilus lateralisin üst ve dış tarafında kalan alandan başlar (Şekil 2.3) [107, 108].



Şekil 2.8. Proksimal uyluk arka yüz anatomisi [109]

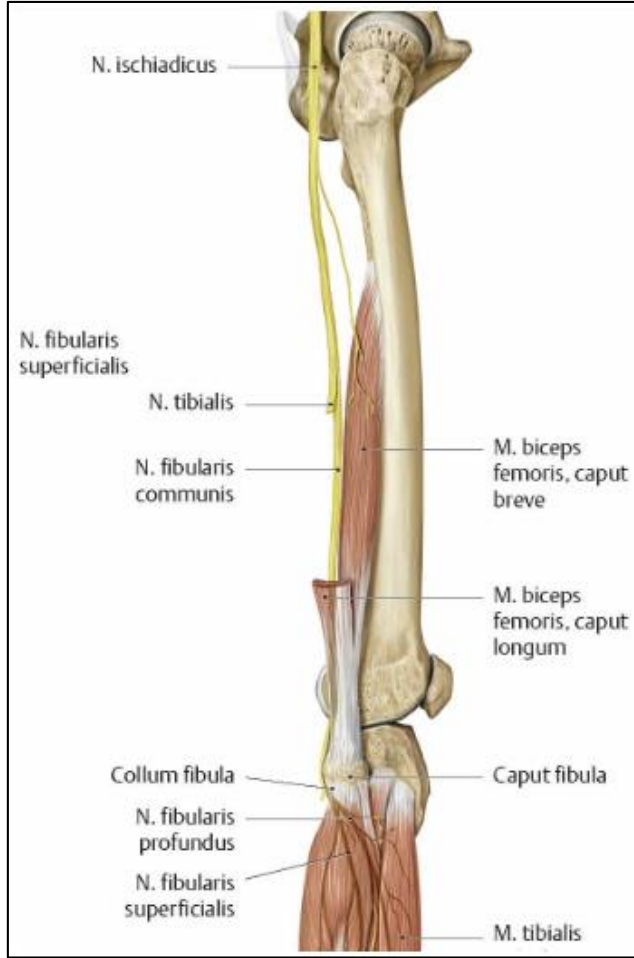
ST, SM ve BFcl femur kemiği boyunca uzanarak *articulatio* (art) *femorasetabularis* ve *art.genus* eklemlerini kat ederler. SM distal tendonunun ana parçası *kondilus tibialis medialis* yapışır. Diğerleri ise tibiyanın medial kenarında sıralanılarak; *ligamentum collaterale medialis* (MCL) hemen arkasına, *popliteal fasciaya*, MCL'nin derininde *kondilus tibialis medialis* arkasındaki oluğun alt kısmına doğru, *ligamentum popliteum obliquum*u oluşturacak güçlü bir uzantıyla sonlanır. ST'nin SM posterior yüzünde ilerleyen uzun ve yuvarlak bir tendonu vardır. Bu tendon, tibiyanın medial kondili etrafında kıvrılır,

MCL'nin üzerinden geçer ve tibiyanın üst kısmının medial yüzüne *pes anserinus*a katılır (Şekil 2.9) [107, 108].



Şekil 2.9. Distal uyluk arka yüz anatomisi [109]

BF distal aponörozu kademeli olarak daralarak tendona dönüşür. Bu tendonun ana parçası *ligamentum collaterale laterale* (LCL) hizasında ayrılır ve *caput fibulaya* yapışır. Kalan kısmı üç laminaya ayrılır. *Intermediate lamina* LCL'ye katılırken, diğerleri bu bağa yüzeysel ve derininden geçerek tibiyanın lateral kondiline katılır. BFcb hariç tüm kasların motor inervasyonu *nervus (n) ischiadicus*tan ayrılan *n.tibialis*dir. BFcb ise *n.peroneus communis* tarafından kontrol edilir. Hamstring kaslarının beslenmesi *a.profunda femoris* tarafından sağlanır (Şekil 2.10) [107, 110].



Şekil 2.10. Uyluk distal dış yüz anatomisi [109]

Hamstring kasları frontal düzlem ve sagittal ekseninde konsantrik kasılma ile diz ekleminde fleksiyon, kalça ekleminde ekstansiyon yaptırırken, eksantrik kasılma ile kalça eklemi fleksiyonunu ve diz eklemi ekstansiyonunu kontrol eder. Ayrıca horizontal düzlem ve aksiyal eksen etrafında bacakta iç veya dış rotasyon meydana getirir. Duruş fazında pelvis kompleksinin stabilizasyonunu ve posterior tiltini sağlar [106-108, 110-112].

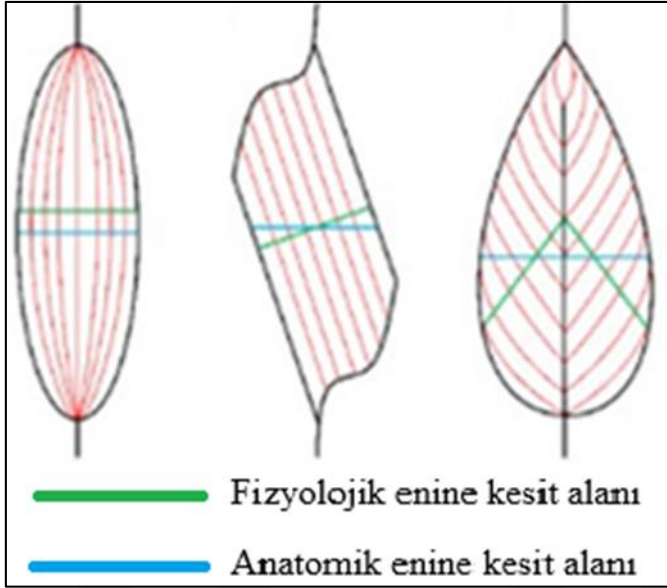
Eksantrik kasılma ile yürüme ve koşmanın terminal salınım fazında alt ekstremitte hızını kontrol eder ve topuk vuruşuna hazırlar. Araştırmacılar sprint gibi çok yüksek hızlı koşular esnasında hamstring kaslarında meydana gelen elektrofizyolojik değişimleri yüzeysel elektromiyografi yöntemi ile incelemiş ve bu esnada kas aktivasyon düzeyinin çok yüksek olduğu, bunun da özellikle BFcl kas tendon bileşkesinde olduğu literatürde raporlanmıştır [40, 113-115].

2.3.2. Hamstring kas mimarisi

Anne karnında miyotomdan köken alan hücreler ilk olarak farklılaşarak miyoblast hücrelerine dönüşürler. Oluşan ilk miyoblast hücreleri art arda mitoz bölünme geçirirler ve kaynaşarak uzun, çok çekirdekli kas liflerini oluştururlar. Kas liflerinin oluşumu öncelikli olarak miyoblastların sıralanmasını, kalsiyum iyonuna (Ca^{+2}) bağımlı tanıma düzeneğiyle yapışmasını ve son olarak da sarkoplazmalarının birleşmesini içerir. Hücreler daha sonra uzamayı sürdürerek silindirik şeklini alırlar [116, 117]. Aynı dönemde hücreler *Insulin Growth Factor* (IGF) etkisiyle yoğun olarak mesajcı ribonükleik asit (mRNA) ve protein sentezi yaparlar. Aktin ve miyozin filamentlerini oluşturmak için troponin ve tropomiyozin gibi kas kasılmasını düzenleyici proteinler sentezlerler. Sentezlenen proteinler miyofibrillerin içine yerleşerek işlevsel birim olan sarkomeri şekillendirir [116, 117]. Sarkoplazmada miyofibrillerin belirmeye başlamasıyla fetusta, üçüncü ayın sonunda iskelet kasları için özgün olan çapraz çizgilenmeler ortaya çıkar. Kas liflerinin tam anlamıyla gelişmesi miyotüp çekirdeğinin kenara göçüyle tamamlanır. Bu aşamadan sonra çok çekirdekli kas lifinin çekirdeği proliferer olmaz. Ancak kas lifi fetusun ve bebeğin hızlı gelişimi nedeniyle büyümesini sürdürür [117, 118].

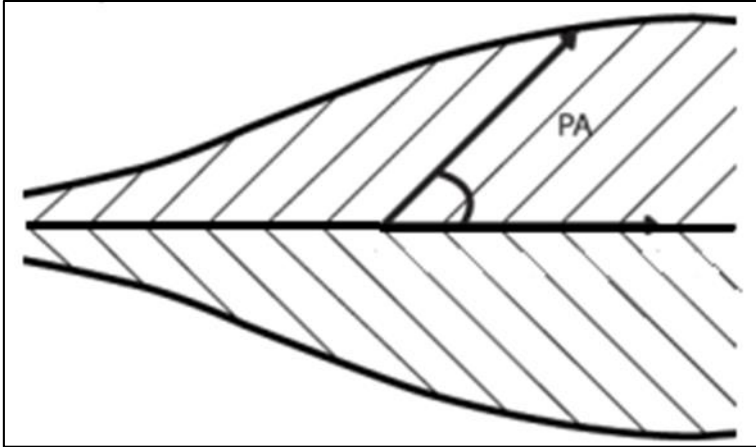
İnsan vücudunun %40'ını oluşturan endokrin ve metabolik bir doku olan ekstremite kasları hareketlere, sürdürülen fonksiyonlara ve maruz kalınan yüklenmelere karşı ömür boyu dinamik bir iç tasarım sürecine sahiptir. Literatürde kas mimarisi, kuvvet oluşturma eksenlerine göre kas liflerinin yapısal dizaynı olarak tanımlanmıştır [119]. Araştırmacıların bu süreç ile ilgili şimdiye kadar belirleyip üzerine yoğunlaştıkları kas mimarisi özellikleri fizyolojik ve anatomik enine kesit alanları, pennasyon açıları, kas lifi uzunlukları, sarkomer uzunlukları ve kas kalınlıklarıdır [120].

Anatomik enine kesit alanı, kasın longitudinal eksenine dik olarak kesit alındığında yüzey alanının santimetrekare (cm^2) cinsinden değeridir. Fizyolojik enine kesit alanı ise kas fasiküllerin longitudinal eksenine dik olarak kesit alındığında yüzey alanının cm^2 cinsinden değeridir. Fizyolojik enine kesit alanı kasın kuvvet oluşturma kapasitesi ile doğru orantılıdır (Şekil 2.6) [121].



Şekil 2.11. Anatomik ve fizyolojik enine kesit alanlarının şematik görünümü [122]

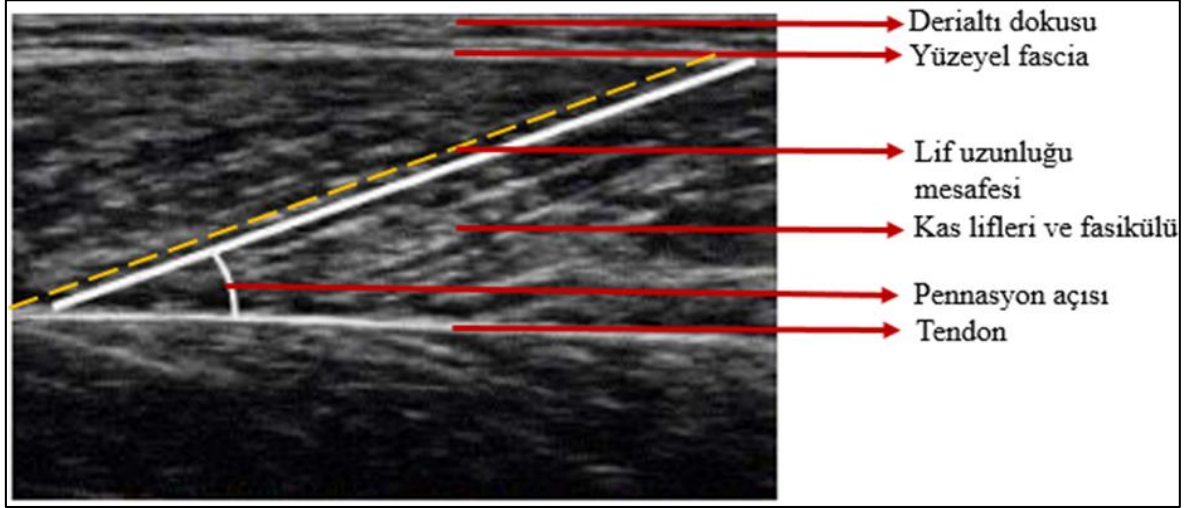
Kas liflerinin tendonlara tutunma yerlerinde lif ve tendon arasında oluşan açının derece cinsinden değeri pennasyon açısıdır (PA). Pennat kaslar için açı, kuvvet oluşturma kapasitesini etkiler. Kasılma ve istirahat halinde liflerin dizilim yönü farklıdır. İzotonik kasılmaların konsantrik fazı açıda artışa, eksantrik fazı açıda azalmaya sebep olur (Şekil 2.7) [121].



Şekil 2.12. Pennasyon açısının (PA) şematik görünümü [123]

Kas liflerinin tendona tutunma yerinden kasın yüzeysel fasyası arası mesafenin liflerin doğrultusunda cm cinsinden değeri, lif uzunluğunu verir. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) veya ultrason (sonogram) görüntüleri üzerinden özel yazılım programlarıyla veya trigonometrik formüllerle hesaplanabilmektedir. Geçirilmiş hamstring yaralanması olan ekstremitelerde lif uzunluğunun diğer ekstremiteye göre daha kısa olduğu [124]; daha az seri

sarkomer sayısına sahip kısalmış kas lifi fasiküllerinin de tekrar yaralanma riskini artırdığı yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Şekil 2.8) [125, 126].



Şekil 2.13. PA ve lif uzunluğunun sonogram görüntüsü [123]

Her miyofibril üzerinde iki Z çizgisinin arasında kalan bölüm sarkomer olarak adlandırılır. 2 adet $\frac{1}{2}$ I bandı ve bir adet A bandından oluşur. Sarkomer sadece yapısal bir bölüm değildir; aynı zamanda işlevsel olarak kasın en küçük kasılma birimidir [127]. I bantlarının ortasındaki Z çizgileri de iki taraftan gelen aktin filamentlerinin bu bölgede dallanarak birbirlerine bağlanmaları ile oluşur [128, 129]. Miyozin filamenti uzunluğu 1.5-1.6 mikrometre (μm) ve aktin filament uzunluğu ise 1.2-2.0 μm aralığındadır. Optimum performans için optimum sarkomer uzunluğu (SU) olduğu varsayılmaktadır. SU'yu sağlayan, aktin ve miyozin köprüleri arasındaki ilişkidir. Kas lifi gerilerek uzayabileceği uç noktaya geldiğinde aktin-miyozin köprüleri teması yoktur. Böylece kas, kasılma özelliği olmayan bağ dokusu yapılarının veya titin gibi yapısal proteinlerin sağladığı elastisite özelliğinin kapasitesi kadar güç üretebilir [130]; aktin ve miyozin çapraz köprüleri temas edemeyeceği için kasılarak güç üretemeyebilir [120, 121]. Kas kısalırsa, SU azaldıkça aktin-miyozin iç içe çok gireceğinden, kayan iplikler hipotezine göre miyofilamentlerin kayacağı yeterli alan kalmayacaktır. Sarkomer uzunluğu 2.2 μm 'ye düşene kadar güç üretimi artar. 2.0-2.2 μm arasında kas kuvveti sabit kalır. Sarkomer uzunluğu azalmaya devam ederse, aktin ve miyozin çapraz köprüleri çok fazla noktada temas eder ve kontraksiyon için miyofilamentlerin yeterli kayması meydana gelmez (Çizelge 2.2) [120, 121, 131].

Çizelge 2.1. Hamstring kas mimarisi değerleri

	Kas kalınlığı (cm) [132]	Pennasyon açısı (derece) [133]	Lif uzunluğu (cm) [133]	Sarkomer uzunluğu (μm) [133]	Fizyolojik enine kesit alanı (cm ²) [133]
ST	2.58 ± 3.7	9,14±3,54	14,87±3,52	2,03±0,23	8,08
SM	3,51±6,2	15,95±2,39	5,43±0,87	1,94±0,17	15,74
BFcl	3.44 ± 4.1	13,46±2,88	7,02±1,28	2,09±0,12	10,06
BFcb	1,99±4,7	13,17±2,6	10,40±1,44	1,5±0,13	2,98

Not: ST: M. semitendinosus, SM: M. semimembranosus, BFcl: M. biceps femoris caput longum, BFcb: M. biceps femoris caput breve, M: Musculus, cm: santimetre.

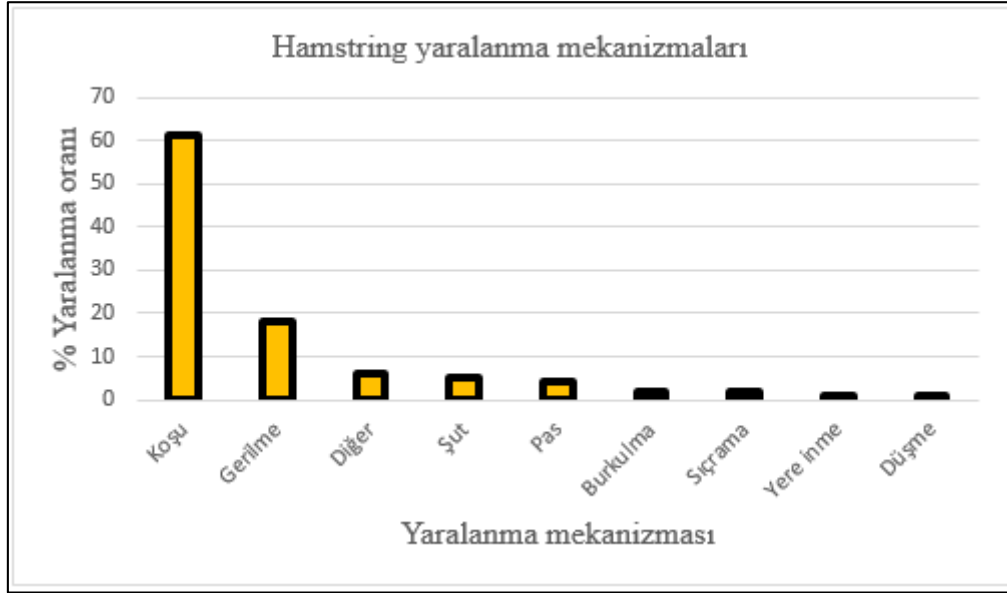
2.3.3. Hamstring kas yaralanmaları ve koruyucu egzersiz programları

Tüm spor branşlarında kazanma ve ödül ile yaralanma riski arasında bir denge vardır. Performansını yaralanma risklerine rağmen fizyolojik kapasitelerinin üst sınırlarına getirebilen ve bu sınırlarda devam ettirebilen sporcular yarışları kazanmaktadır [134]. Risk faktörleri doğru tespit edildiği ve analiz edildiği zaman koruyucu rehabilitasyonun etkinliğide artmaktadır [135].

Kas spazmları [136], egzersizler sonrası gecikmiş kas ağrıları, kas strainleri [137], temas sonrası kontüzyon yaralanmaları, kas krampları ve sonrasındaki ağrılı durumlar [137], kas nodülleri (fibrozitis), sekonder miyozitis ossifikans [138-141], genellikle proksimal tendonlarda görülen fakat nediren distal tendonlarda da görülebilen patolojileri (tam veya kısmi rüptürleri ve inflamatuvar durumları) [142, 143] futbolcularda görülen hamstring kas yaralanmalarıdır.

HKY, futbol yaralanmaları içerisinde en sık tekrarlayan kas yaralanmasıdır [144]. 25 futbolcudan oluşan ve uluslararası müsabakalar oynayan profesyonel bir kulüpte sezonda ortalama 7 HKY meydana gelmektedir [33]. 1000 saatte HKY insidansı antrenman esnasında 2.4-3.9 aralığında, müsabaka esnasında 20.4-36.9 aralığındadır [145, 146]. Araştırmalarda %12-33 aralığında tekrar yaralanma oranları raporlanmıştır [147-149]. Temas sonrası oluşan hamstring yaralanması %7, temassız hamstring yaralanması ise %91 olarak raporlanmıştır. Temassız yaralanmalar %60'tan fazla oranda yüksek hızlı koşu esnasında gelişmekte, %15-20 aralığında ise oyun içerisindeki aksiyon gereği diz ekstansiyonda iken artmış kalça fleksiyonu esnasında gerilme stresi ile gerçekleşmektedir (Şekil 2.2) [42]. Rehabilitasyon döneminde sporcular ortalama 14 gün takım antrenmanlarından uzak kalmakta ve yaklaşık 3 müsabaka kaçırmaktadır [51]. Hamstring kas grubu içerisinde en sık yaralanan kas %80 insidans oranı ile m. BFcl'dir [112, 150].

HKY sporcu ve futbol klüplerine oluşturduğu büyük finansal problemlerde başarısızlıkların başka boyutunu oluşturmaktadır [151].



Şekil 2.14. Hamstring kas yaralanma mekanizmalarının grafiksel özeti [42]

Hamstring kas yaralanmalarının önlenmesine yönelik araştırmacılar tarafından geliştirilen koruyucu egzersiz programları; *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA) (Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği) FIFA 11+ antrenman öncesi ısınma protokolü [152], Nordic hamstring egzersizi [50], Askling L protokolü [153] ve hamstring kas aktivasyonlarının yüzeyel elektromiyografi yöntemleri ile incelendiği özel egzersizlerdir [6, 154-157]. Hamstring yaralanmalarının çoğu, yüksek hızlı koşular esnasında uçuş fazındaki ekstremitenin terminal sallanma fazında meydana geldiği için çalışmalarda genel olarak yaralanma anını simüle eden eksantrik hamstring egzersizlerine odaklanılmıştır.

Tüm bu bilgiler sentezlenerek; eksantrik egzersiz yöntemlerinden olan FW leg curl egzersizinin kan akımı kısıtlaması ile birlikte uygulandığında, futbolcularda en sık yaralanan kas olan BFcl kas mimarisine, hamstring kuvvet kazanımlarına ve fonksiyonel performanslarına yansımalarının randomize ve kontrollü yöntemle objektif ve nicel veriler dahilinde incelenerek literatürde boşluklar bulunan bu alana katkı sağlamaktır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma futbolcularda kan akımı kısıtlamalı flywheel leg curl egzersizinin hamstring kas mimarisi ve fonksiyonel performans üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla Alanyaspor Kulübünde yapılmıştır.

Çalışmaya başlanmadan önce Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'na başvuru yapılmış ve araştırmada etik açıdan bir sakınca olmadığı görülerek 22.06.2023 tarihinde gerekli onay alınmıştır (E-77082166-302.08.01-687649) (EK-1).

Alanyaspor Kulübünde araştırma ile ilgili futbolcuların her biri ile ayrı ayrı görüşülerek bilgilendirilmiş ve çalışmaya katılmaya gönüllü olan sporculara gönüllü olduklarına dair “Aydınlatılmış Onam Formu” (Ek-2) imzalatılmıştır. Çalışmamızın tüm aşamalarında Helsinki Deklarasyonunda belirtilen ilkelere uyulmuştur.

Bireylerin çalışmaya dâhil edilme ve edilmeme kriterleri aşağıdaki gibidir.

Çalışmaya dâhil edilme kriterleri:

- Araştırmaya katılmaya gönüllü olan futbolcular
- 17 yaş ve üzeri futbolcular

Çalışmaya dâhil edilmeme kriterleri:

- Akut bir yaralanması nedeniyle rehabilitasyonu devam eden futbolcular,
- Geçirilmiş arteriyel, venöz hastalık veya cerrahi hikayesi.

3.1. Çalışmanın Dizaynı

Çalışmamız kapsadığı zamana göre prospektif, veri toplama biçimine göre randomize kontrollü ve yarı kör, yapıldığı yere göre ise saha araştırması olarak düzenlenmiştir.

Araştırmaya katılmayı kabul eden ve kriterlere uyan 44 sporcunun eşit sayıda ve rastgele dağılımının sağlanarak iki gruba (“KAK Grubu” ve “Kontrol Grubu”) ayrılabilmesi için

bilgisayar destekli randomizasyon programı kullanılmıştır (<https://www.random.org/>) (Şekil 3.1).

Egzersiz programına başlanmadan önce çalışmaya dâhil edilme kriterlerini karşılayan futbolculara hamstring kaslarına yönelik klinik değerlendirme, m. biceps femoris caput longum kas mimarisi değerlendirmeleri ve fonksiyonel performans testleri uygulanmıştır. İlk değerlendirmeler sonrası KAK grubuna kan akımı kısıtlaması *OcclusionCuffElite®*, *OcclusionCuff*, *Somerset*, *United Kingdom (UK)* marka pnömatik manşon ile uygulanmış; kontrol grubuna ise herhangi bir uygulama olmaksızın 6 hafta süresince haftada 1 gün, rutin takım antrenmanlarına ek olarak düzenli flywheel leg curl egzersiz programı fizyoterapist tarafından bire bir takip edilerek yaptırılmıştır. Egzersiz eğitimi sonrasında m. biceps femoris caput longum kas mimarisi ölçümleri ve fonksiyonel performans testleri yeniden uygulanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

3.2. Değerlendirmeler

3.2.1. Demografik bilgiler

Çalışmaya dâhil edilen tüm sporcuların yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut kütle indeksi (VKİ), dominant ekstremitesi ve antrenman yaşı-yılları değerlendirme formuna kaydedildi (Ek-3).

3.2.2. Hamstring klinik değerlendirmesi

Aktif diz ekstansiyon testi

Sporcu standart fizik tedavi yatağında sırtüstü yatar pozisyonda iken, ölçüm yapılacak taraf ekstremitede kalça ve diz 90° fleksiyona getirilmiştir. Sporcu elleri ile kalça 90° pozisyonunu korurken diz mümkün olan maksimum ekstansiyon pozisyonuna alınmıştır. Gonyometrenin pivot noktası, daha önce lateralden işaretlenmiş diz ekleme eksenine; sabit kolu, daha önce işaretlenmiş femur uzun eksenine; hareketli kolu da daha önce işaretlenmiş fibula eksenine paralel konuma getirilmiştir (Resim 3.1). Ayak bileği de rahat pozisyonda iken, sporcudan dizini maksimum ekstansiyon pozisyonunda 5 sn tutması istenmiştir. Gonyometrenin uyluk ve bacağına paralel olan kolları arasındaki açı, derece cinsinden kaydedilmiştir [158].



Resim 3.1. Aktif diz ekstansiyon testi

3.2.3. Kas mimarisi ölçümleri

Kas mimarisi değerlendirmesi gruplara ve klinik değerlendirme sonuçlarına kör olan, kas iskelet sistemi USG alanında tecrübeli araştırmacı [159-164] tarafından, Aytemiz Alanyaspor Kulübü Sağlık Departmanının fizyoterapi ve rehabilitasyon odasında, karartılmış ortamda ve 25°C oda sıcaklığında yapılmıştır.

USG görüntülerinin (sonogram) alınması

Sonogramların alımı esnasında sporcu standart fizyoterapi yatağında yüzüstü, baş altı yastıkla destekli iken, kalçalar nötral pozisyonda, ayaklar yataktan sarkık, dizler tam ekstansiyonda ve rahat yatış pozisyonunda konumlanmıştır (Resim 3.2) [165].

Görüntüleme alanının tespiti için dominant ekstremitede trokanter majör ve *condylus tibialis lateralis* orta noktasından m. biceps femoris caput longum üzerine denk gelen nokta işaretlenmiştir. Eğitim sonrası aynı bölgeden görüntü alabilmek için bu noktanın tuber iskiadikum ve *fibular heade* olan uzaklıkları kaydedilmiştir [165] (Resim 3.4). Sonogramlar alınmadan önce sporcular literatürde de belirtildiği gibi 10 dk dinlendirilmiştir [166].



Resim 3.2. Tuber iskiadikum ve fibular head işaretlenerek aradaki mesafenin orta noktasının belirlenmesi

Sonogramların alınması için güvenilirliği literatürde yüksek olarak raporlanmış [167], el çantası ile taşınabilen ve kurulumu zaman almayan *MicrUS Ext-1H Ultrasonographic System* (Telemed Medical Systems, Vilnius, Lithuania) lineer transdüser, 5-12 Mhz frekans cihazı kullanılmıştır [167] (Resim 3.3) [168].



Resim 3.3. Çalışmada kullanılan USG cihazı, *MicrUS Ext-1H Ultrasonographic System* [168]

Ölçüm sırasında USG probu ile cilt arasında akustik teması sağlamak için USG başlığına hipoalerjik su bazlı transmisyon jeli sürülmüş ve m. biceps femoris caput longumun longitudinal eksenine paralel olan fasikül planında, yüzeysel ve intermedier aponevrozların birbirine paralel görüldüğü, fasiküllerin devamlı ve intermedier aponevroza tutunma

noktalarının belirgin olduğu en net görüntülenme anında minimal basınçla üç görüntü alınarak işlem tamamlanmıştır (Resim 3.4) [169].



Resim 3.4. M. biceps femoris caput longum USG görüntülerinin alınması

Görüntülerin analizi

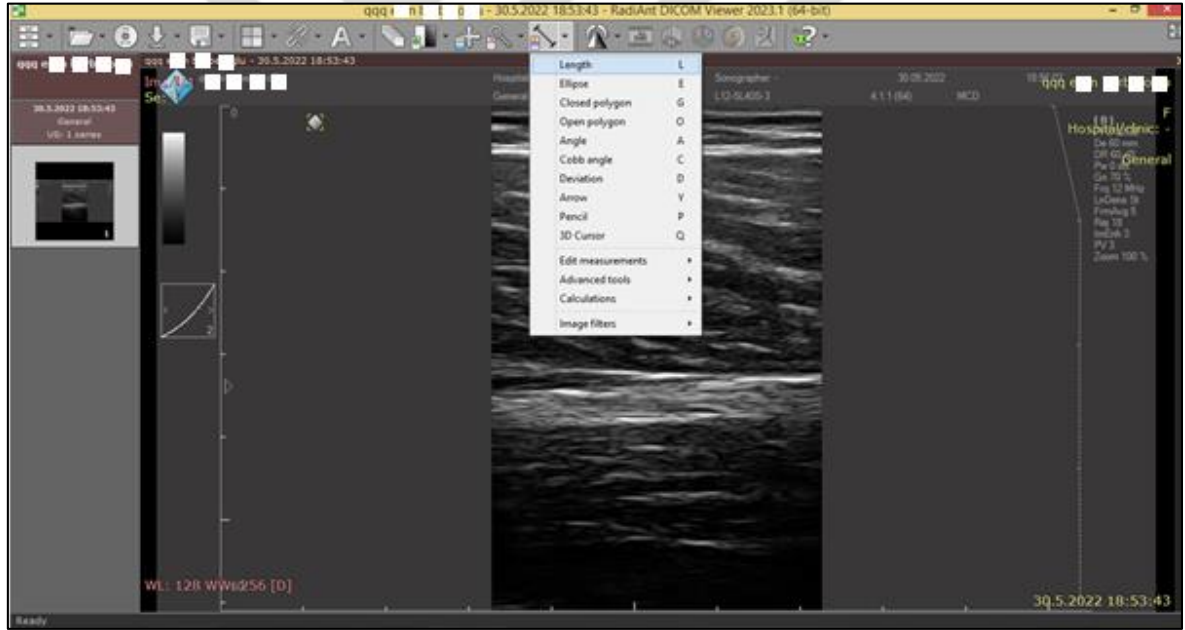
Sonogramlar RadiAnt DICOM Viewer 64 bit 2023.1 versiyon (Medixant, Poznan, Poland) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Kas mimarisi parametrelerinden pennasyon açısı, fasikül uzunluğu ve kas kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır.

Biceps femoris caput longum kas kalınlığı ölçümü

Kas kalınlığı hesaplaması için RadiAnt DICOM Viewer programı açılarak ilgili sonogram yüklendikten sonra '*Measurements and tools*' menüsünden '*Length*' alt menüsü seçilmiştir (Resim 3.5-3.6).

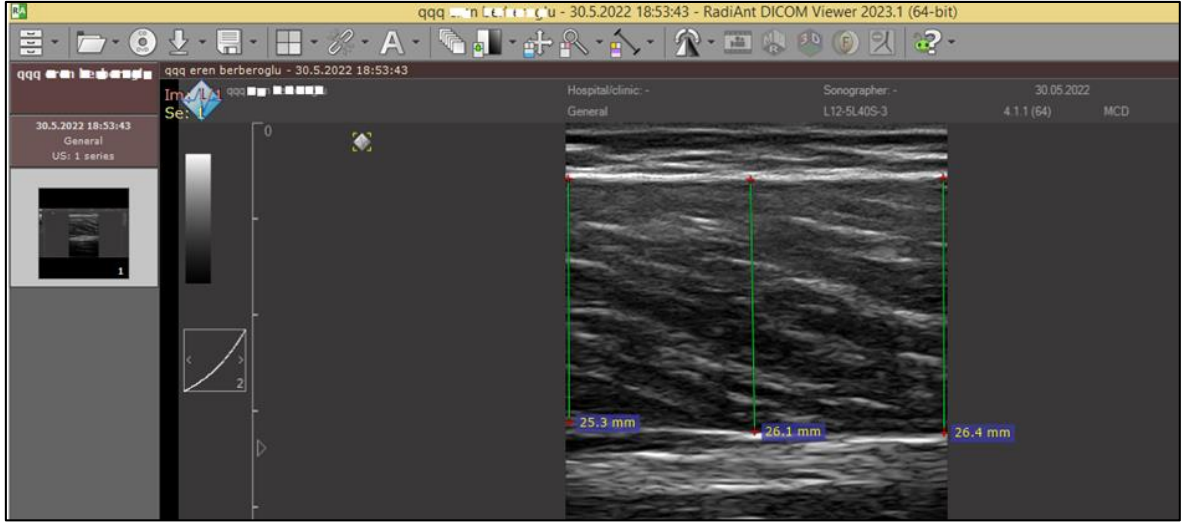


Resim 3.5. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldığında yüzeyel, intermedier aponevroz ve m. biceps femoris caput longum fasikülleri



Resim 3.6. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra 'Measurements and tools' ve 'Length' menülerinin seçimi

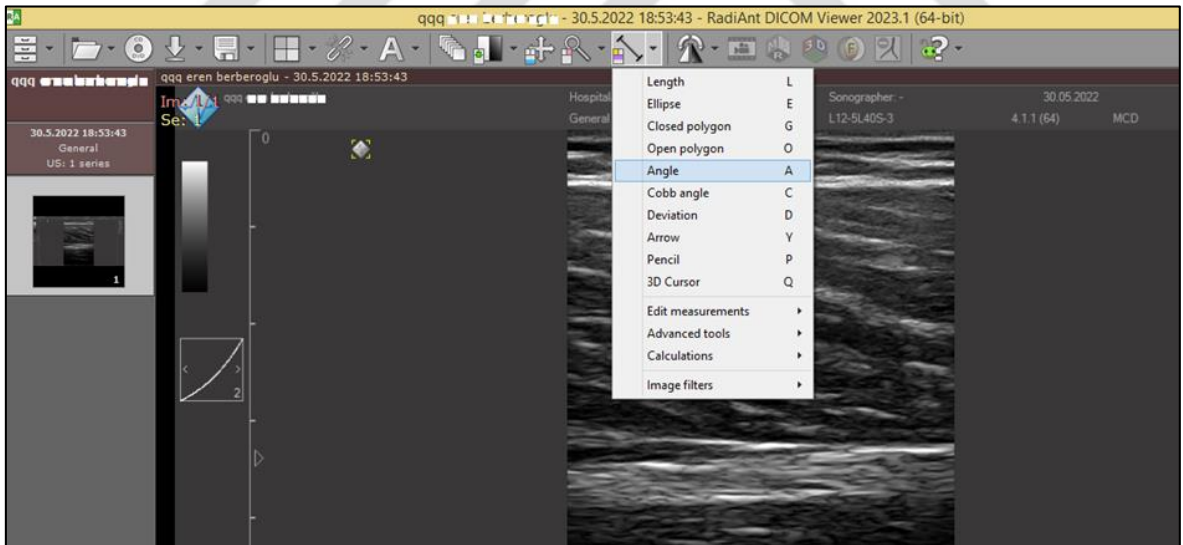
Sonogram görüntüsü üzerinde süperfisyal ve intermedier aponevrozlar arasındaki mesafe üç noktadan ölçülerek ortalaması alınmıştır (Resim 3.7) [165].



Resim 3.7. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile kas kalınlığı hesaplaması

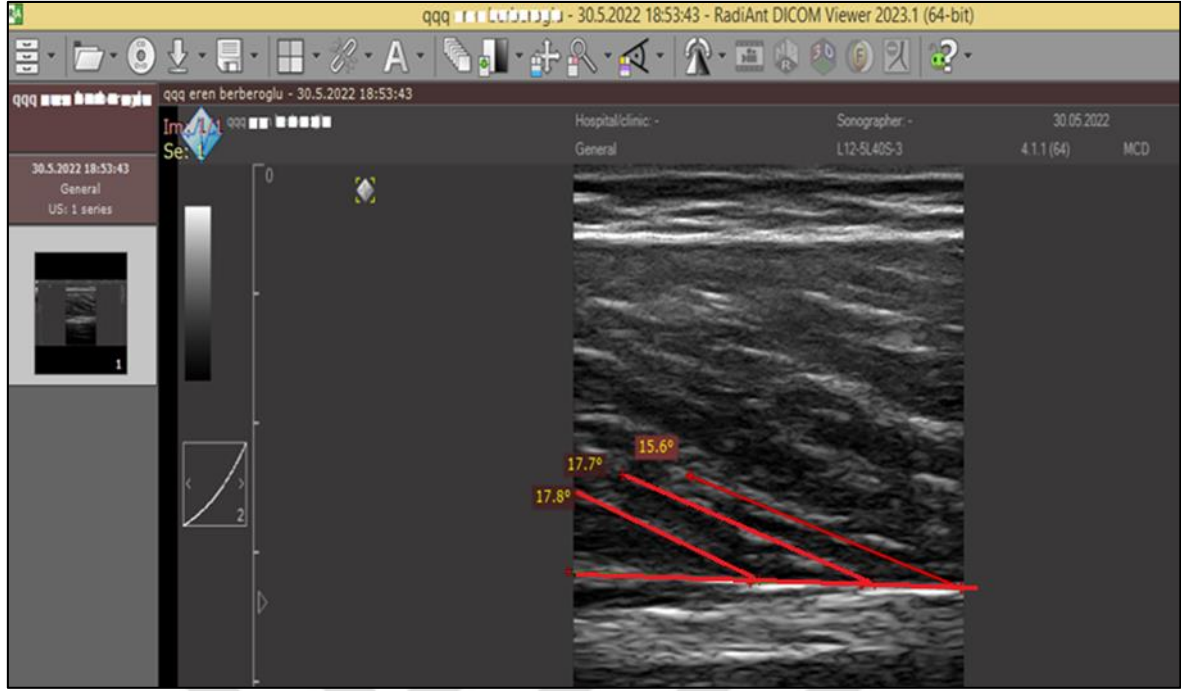
M. biceps femoris caput longum pennasyon açısı ölçümü

Pennasyon açısı ölçümü için ‘Measurements and tools’ menüsünden ‘Angle’ alt menüsü seçilmiştir (Resim 3.8).



Resim 3.8. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra ‘Measurements and tools’ ve ‘Angle’ menülerinin seçimi

Sonogram üzerinde derin aponevroza doğru uzanan ve doğrultuları net olarak fark edilebilen üç fasikülün intermedier aponevroz ile arasındaki açı ölçülerek ortalaması alınmıştır (Resim 3.9) [49, 170].

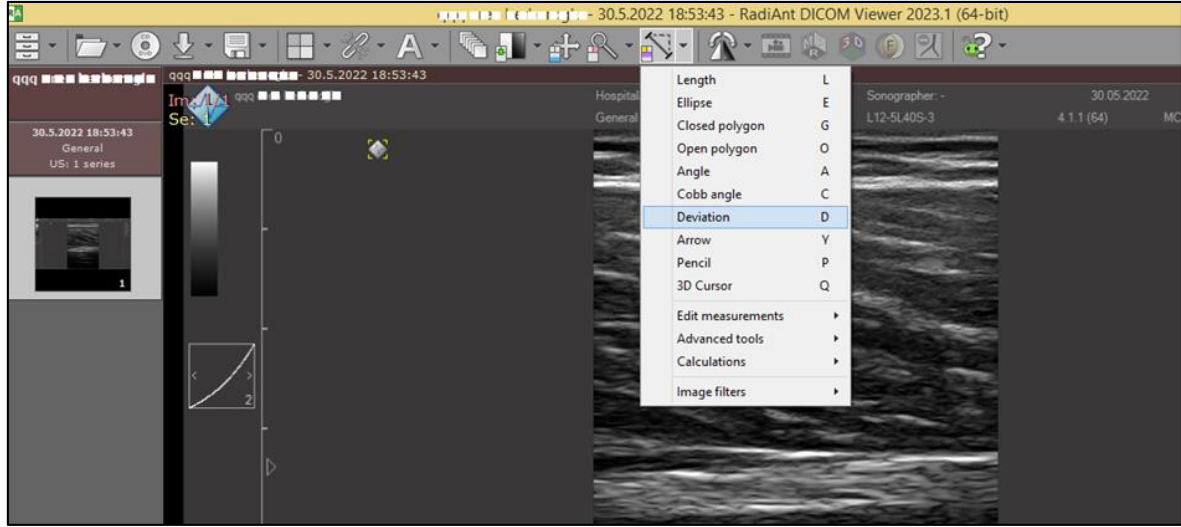


Resim 3.9. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile pennasyon açısı hesaplaması

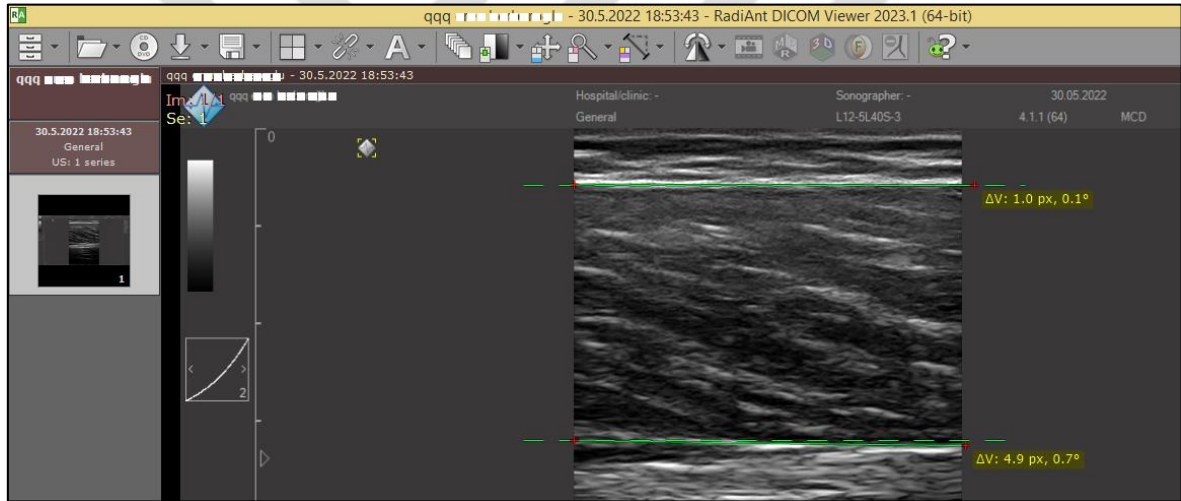
M. biceps femoris caput longum aponevroz açısı

Lif uzunluğunun hesaplanabilmesi için trigonometrik formülde kullanılan aponevroz açısı yüzeyel ve intermedier aponevrozlar arasındaki açı olarak tanımlanmıştır [165, 171]. Aponevroz açısı ölçümü için ‘Measurements and tools’ menüsünden ‘Deviation’ alt menüsü seçilmiştir (Resim 3.10).

Yüzeyel ve intermedier aponevrozlar üzerine çizilen doğruların sagittal eksen ile aralarında oluşan açılar belirlendikten sonra aponevroz açısını bulmak için paralel iki doğru arasındaki açı denklemleri kullanılmıştır (Resim 3.10-3.11).



Resim 3.10. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile açıldıktan sonra ‘Measurements and tools’ ve ‘Deviation’ menülerinin seçimi



Resim 3.11. Sonogramların RadiAnt DICOM Viewer programı ile aponevroz açısı hesaplaması

M biceps femoris caput longum fasikül uzunluğu

Fasikül uzunluğu hesaplaması için literatürde Intra-Class Correlation (ICC) değeri 0.91-0.98 arasında olan [172];

$$\text{Eşitlik 4: } fl = (\sin(90 + aa) * MT / \sin(180 - (aa + 180 - pa)))$$

trigonometrik formülü kullanılmıştır [171].

(aa: Aponevroz açısı; MT: kas kalınlığı; pa: pennasyon açısı)

3.2.4. Hamstring kas kuvveti ölçümleri

İzometrik hamstring kuvvet ölçümü

Hamstring kaslarının izometrik kuvveti, güvenilirliği test edilmiş [173] *ActivForce* (AF; Activbody, San Diego CA) dijital el dinamometresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Katlanabilir tedavi yatağında sporcu yüzüstü, kalçalar nötralde, bacak altında 60°'lik platform varken ve herhangi bir kompensatuar hareket olmaması için lumbo-pelvik bölge Mulligan kemeri ile tedavi yatağına sabitlenerek pozisyonlanmıştır. El dinamometresinin sensörlerinin bulunduğu yumuşak pedi bacağın posteriorunda, malleollerin yaklaşık 5 cm üzerine yerleştirilmiştir. Testin yapılışı açıklandıktan sonra sporcudan, bacağına mümkün olduğunca kuvvetli şekilde 5 sn çekmesi istenmiş, sözel cesaretlendirmeler için tekrarlı 'Çek' emirleri verilmiştir (Resim 3.12). Sonuçlar, test sonrası dinamometre yazılımından kg cinsinden kontrol edildikten sonra kaydedilmiştir.



Resim 3.12. İzometrik hamstring kuvvet ölçümü

Eksantrik diz fleksiyon kuvvet ölçümü:

Hamstring kaslarının eksantrik kuvvetini ölçmek için ICC değerleri 0,83 ile 0,90 arasında olan güvenilir bir yöntem olarak raporlanmış *NordBord® Hamstring Testing System* (Vald Performance NordBord, Version 1.0, Australia) kullanılmıştır (Resim 3.13) [174].



Resim 3.13. NordBord® Hamstring Testing System

Sistem yazılımının olduğu bilgisayara senkronize edildikten sonra sporcu, yumuşak maddeden üretilmiş sistem platformunun üzerinde diz üstü ve lateral malleollerin hemen üzerinden, sensörlerin bağlı olduğu çengeller geçirilerek pozisyonlanmıştır (Resim 3.14).



Resim 3.14. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi için başlangıç pozisyonu

Çengellerin başlangıç için bacağına 90° açı ile bağlanması ve gövdeye paralel olması gerekmektedir. Sporcudan; kalçasının ve belinin pozisyonunu bozmadan, elleri omuzlarında çapraz pozisyonda iken, hamstringlerini kasarak tutabileceği maksimum seviyeye kadar,

mümkün olduğunca yavaş biçimde öne doğru eğilmesi, kontrol edemeyeceği noktada da ellerinin üstüne ön tarafa doğru düşmesi istenmiştir (Resim 3.14).

Bu arada sistem anlık iki ekstremitte için ayrı ayrı hamstringlerin ürettiği torku N cinsinden grafiklerle zenginleştirerek görsel geribildirim olarak vermiştir. Bu değerlendirmede üç maksimal tekrar yapılarak kaydedilmiştir. Nordbord'tan alınan değerler sırasıyla sağ ve sol hamstring kasları için ortalama tork, maksimum tepe tork ve ekstremiteler arasındaki fark olarak belirlenmiştir (Resim 3.15) [174].



Resim 3.15. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi sonucu grafik ve çıktıları

3.2.5. Fonksiyonel performans testleri

Tek bacak hoplama mesafesi testi (TBHM)

Test esnasında sporcu tek ayak üzerinde parmak ucu flaster ile belirlenmiş çizgiye denk gelecek şekilde başlangıç pozisyonuna alınmıştır (Resim 3.16).



Resim 3.16. Mesafeli tek bacak hoplama testi için başlangıç pozisyonu

Sporcudan tek ayağı ile mümkün olduğunca uzağa atlaması ve aynı ayakla dengede kalacak şekilde yere inmesi istenmiştir. Sporculara, sıçrama stratejileri için kollarını istedikleri gibi kullanabilecekleri ve sıçrama öncesi çizgi üzerinde iken istedikleri kadar çömelebilecekleri söylenmiştir. Başlangıç çizgisi ile sıçrama sonrasında topukların yerle temas ettiği ilk nokta arasındaki mesafe cm cinsinden kaydedilmiştir. Sporcu, sıçramalar arası 30 sn dinlendirilmiş ve bu hareket üç kez tekrarlanmıştır. Analiz için üç sıçramadan elde edilen ortalama mesafe baz alınmıştır [175, 176].

Tek bacak hamstring köprü testi (TBHK)

Sporcular sırt üstü yatar pozisyonda ve topukları altında 60 cm'lik kutu varken teste başlanmıştır. Test edilecek ekstremité dizi yaklaşık 20° fleksiyonda pozisyonlanmıştır. Eller göğüs üzerinden çaprazlanarak karşı omuzlara yerleştirilmiştir (Resim 3.17).



Resim 3.17. Tek bacak hamstring köprü testi için başlangıç pozisyonu

Sporculardan yapabildiği maksimum tekrar sayısı kadar kalçalarını yere değdirip tekrar kaldırmaları istenmiştir. Diğer ekstremiteler fleksiyon pozisyonunda bekletilmiştir. Yetersizlik olduğu andaki tekrar sayısı kaydedilmiştir [177].

30 metre sprint testi:

Sporcuların maksimum sprint hızı 30 metrelik sprint testi ile değerlendirilmiştir. Bunun için sporcuların zamanlarını milisaniye cinsinden kaydedecek şekilde 30 metrenin başına (0 metre) ve sonuna dört adet kızılötesi zamanlama kapısı (*Fusion Sport Smart Speed*, Fusion Sport, Avustralya) yerleştirilmiştir (Resim 3.18).



Resim 3.18. Fusion Sport Smart Speed, Fusion Sport, Avustralya fotosel

Sporcular testi, aralarında beş dakikalık dinlenmeler olmak üzere üç kez gerçekleştirmiştir. Testten önce statik pozisyonda duran her sporcu baskın ayağını, ilk kapının 15 cm gerisindeki bir çizgiye koymuştur. Katılımcının bu pozisyondan başlayarak ilk zamanlama kapısını geçmesiyle süre kaydedilmeye başlanmış [178], elde ettikleri ortalama süre veri analizinde dikkate alınmıştır.

3.3. Kan Akımı Kısıtlaması Yöntemi

Çalışmada, egzersizler esnasında kan akımı kısıtlama uygulaması için manşon basınçları sporculara göre tek tek belirlenmiştir. Manşon basıncının belirlenebilmesi için literatürdeki güncel çalışmalarda sık kullanılan yöntemlerden biri olan bireyselleştirilmiş basınç yöntemi kullanılmıştır [30, 66, 73, 179]. Bu yöntemle göre uygulanacak ekstremitenin arteriyel oklüzyon basıncı belirlenmekte ve bu basıncın belirli yüzdesinde eğitimler verilmektedir. Egzersiz esnasında manşonlar belirlenen basınçta sürekli şişik halde kalmış; basıncı artırma, azaltma veya kesiklendirme işlemi yapılmamıştır.

Ekstremiteler arteriyel oklüzyon basıncının belirlenmesi:

Sporcular oda ısısı şartlarında 10 dk dinlendirildikten sonra eğitimin verileceği yüzüstü pozisyonda iken, araştırmalarda daha önce kullanılmış 85x7 cm oklüzyon bant (*Occlusion Cuff Elite®*, Occlusion Cuff, Somerset, UK) manşon ekstremiteler proksimaline sabitlenmiştir (Resim 3.19).



Resim 3.19. Occlusion Cuff Elite®, Occlusion Cuff, Somerset, UK manşonu

Medial malleol ve kalkaneus orta noktasından transmisyon jeli sürüldükten ve *a. tibialis posterior* üzerine denk gelen nokta belirlendikten sonra 8 Mhz vasküler dopler probu (SONOLINE B LCD Fetal Doppler 8 MHz vascular probe, CONTEC, China) 45° ile yerleştirilmiş, oskültatör ses sinyali duyulmaya ve vasküler dopler ekranında nabız sayısı görülmeye başlanmıştır (Resim 3.20) [180].



Resim 3.20. Doppler probe SONOLINE B LCD Fetal Doppler 8 MHz vascular probe, CONTEC, China

Resim 3.23'te görülen elite manşon dopler oskültatör ses sinyali kesilene ve dijital ekranda nabız atımı '0' olana kadar şişirilmiştir; minimum basınç manometre ekranından kaydedilmiştir (Resim 3.21) [76, 181, 182].



Resim 3.21. Görsel ve işitsel oskültasyon sinyalleri kesildiği anda manometre ekranından kaydedilmesi

Egzersiz eğitimi esnasında kullanılan basınç

FW leg curl egzersizi esnasında manşon ekstremite oklüzyon basıncının %60'ına kadar şişirilmiştir [183, 184].

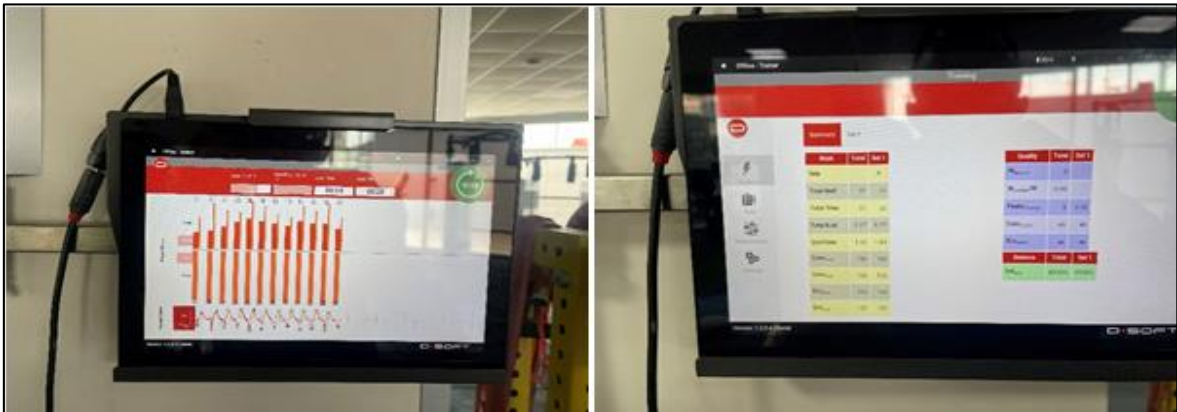
3.4. Flywheel Leg Curl Egzersizi, Alıştırma Seansları ve Egzersiz Protokolünün Uygulanışı

Flywheel egzersizleri için *Desmotec Ergometer* (iso-inertial device V Line, Desmotec, Biella, Italy) sistemi kullanılmıştır. Literatürde hamstring kasları için yüksek yoğunluklu flywheel egzersizi olarak kategorize edilmiş leg curl kullanılmıştır [185]. FW leg curl egzersizine başlamadan önce portatif tedavi masası Desmotec cihazının önüne yerleştirilmiştir. Sporcu yüzüstü pozisyonda iken pelvis Muligan kemeri ile yatağa sabitlenmiştir. Ergometre halatı, sistemin kendi bilek kemeri ile ayak bileğine malleollerin hemen üzerine, sporcuya herhangi bir konforsuzluk oluşturmayacak şekilde sağlam olarak sabitlenmiştir. Topuğun kalçaya doğru hızlıca çekilmesi ve sonrasında ergometre çekişine direnmesi için sözlü talimat verilmiştir [185].



Resim 3.22. Flywheel leg curl egzersizi

Egzersiz esnasında eklem hareket açıklığı sagittal düzlemde yaklaşık 30° - 120° aralığındadır ve yaklaşık 0° - 30° diz fleksiyonu aralığında eksantrik fazdan konsantrik faza geçiş olurken, 120° konsantrik fazdan eksantrik faza geçiş olacak şekilde halat uzunluğu ayarlanmıştır [186]. Bacakta rotasyon olmaması ve kalçada fleksiyon oluşmamasına dikkat edilmiştir (Resim 3.22). Sistem her egzersiz seansı öncesi kalibre edilmiş, egzersizler esnasında son sette üretilen pik ve ortalama tork ise W (Watt) cinsinden egzersiz takip çizelgesine (Ek-3) kaydedilmiştir (Resim 3.23).

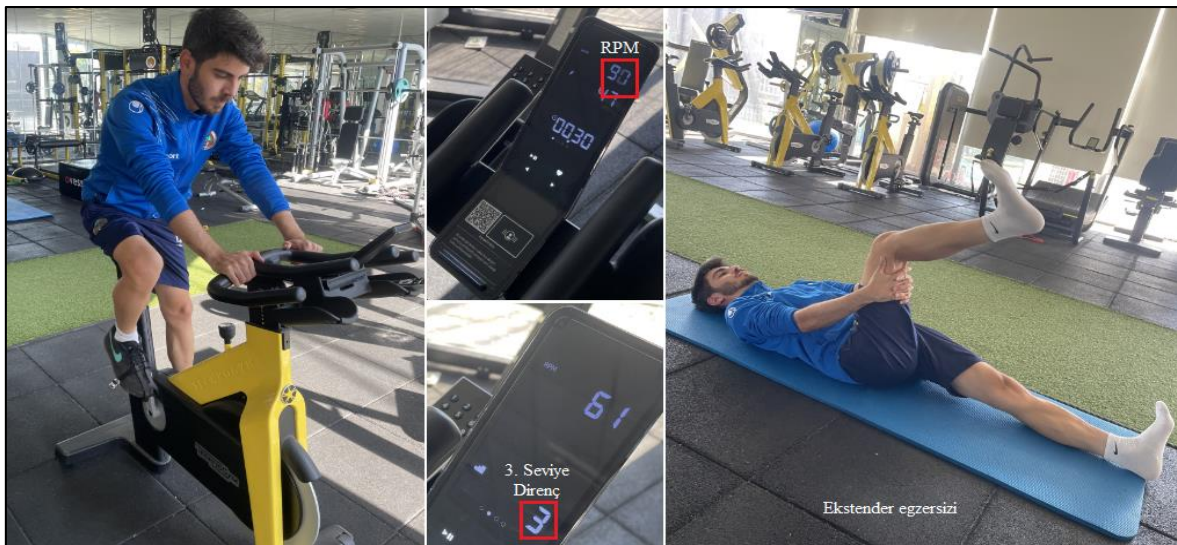


Resim 3.23. Konsantrik ve eksantrik fazlarda pik ve ortalama torklar

FW leg curl alıştırma seansları ve egzersiz protokolünün uygulanışı

FW egzersizleri ile yapılan çalışmalarda egzersizlerin etkinliğini artırmak, ergometre ile koordinasyon, konsantrik fazdan eksantrik faza geçişte dönen diskin hız kaybetmemesi, eksantrik yükleme için tekniğin öğretilmesi amaçlarıyla alıştırma seansı uygulanmasının gerektiği önerilmiştir [63, 187]. Alıştırma seanslarının asıl amacı, katılımcıların söz konusu egzersizi FW ergometresi ile doğru teknikte ve koordineli biçimde yapabilmeleridir. Egzersizin konsantrik fazında hızlanan ergometre, hareket açıklığı sonunda halatı ters yönden geri sarmasıyla aynı hızla eksantrik faza geçip direnç oluşturmaktadır. FW ergometresi halatı geri sarmaya başladığında katılımcı halen konsantrik faza devam ederse FW sistemi zıt kuvvetlerin karşılaşmasından dolayı enerji kaybetmektedir. Kaybedilen enerji, egzersiz temposunu bozmakta ve güç çıktılarını değiştirmektedir. FW ergometresi ile yapılan çalışmalarda eğitim öncesi alıştırma seansı çalışmaları, sonuçları etkileyen faktör olarak belirlenmiştir [63, 187, 188].

Çalışmamızda da eğitim programına başlamadan önce egzersizlerin ergometre ile koordineli biçimde ve doğru teknikte yapılabilmesi için tüm katılımcılara iki seans, 3 set, 5 tekrar ve 0.008 kg.m²'lik eylemsizlik momenti ile alıştırma uygulanmıştır. Alıştırma seansları ve tüm eğitim programı boyunca, 3. Seviye direnç ile standart olarak 5 dk ve 90 RPM (*revolutions per minute*-dakikada pedal devir sayısı) pedal hızında bisiklet ergometresi ve hamstring kaslarına yönelik germe egzersizi ile (Askling L Protokolü'nün ekstender egzersizi [3], 2 set 10 tekrar) ısınma programı sonrasında egzersizler yaptırılmıştır.



Resim 3.24. Isınma protokolü

Egzersiz programına başlanmadan önce tüm sporculara flywheel leg curl egzersizinde “1 hafta, 2 gün, 3 set, 5 tekrar, 0.008 kg.m² (1 Medium disk)” eylemsizlik momenti ile alıştırmaya seansı uygulanmıştır. Ayrıca alıştırmaya seanslarında KAK uygulamasına katılımcıların uyum sağlayabilmeleri amacıyla, 100-110 mmHg aralığında manşon basıncıyla KAK grubu FW egzersizleri yaptırılmıştır. Alıştırma seanslarında KAK grubuna Occlusion Cuff Elite® trokanter majör hizasından, manşonun sibop kısmı dış tarafa gelecek şekilde ekstremite proksimaline yerleştirilmiştir [189]. KAK uygulaması kullanılarak yapılan çalışmalarda tekrarlayan seanslar sonrası AZD’de daha düşük puanlamalar, eğitim esnasında manşon basıncının daha kolay tolere edilebilmesi, daha güvenilir KAK uygulamaları ve oluşabilecek rahatsızlık hissiyatlarını azaltarak tolerasyonu kolaylaştırıp, KAK uygulamasının etkinliği artırmak için alıştırmaya seansları önerilmektedir [190, 191].

6 haftalık FW leg curl egzersiz reçetesi her iki gruba da Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi yaptırılmıştır.

Çizelge 3.1. FW leg curl egzersizi eğitimi programı

Haftalar	Eylemsizlik Momenti	Tekrar Sayıları	Set Sayısı
1.	2M disk 0.017 kg.m ²	8	3
2.	1 L disk 0.020 kg.m ²	10	3
3.	1 L disk 0.020 kg.m ²	12	3
4.	1 L disk 0.020 kg.m ²	10	4
5.	1 L disk 0.020 kg.m ²	12	4
6.	1L 1M disk 0.029 kg.m ²	12	4

M: 0.08 kg.m² eylemsizlik momentine sahip disk, L: 0.020 kg.m²: eylemsizlik momentine sahip disk

3.5. İstatistiksel Analiz

Verilerin analizi, *Statistical Processing For The Social Sciences Software 21.0* (SPSS Inc., Chicago, Illionis) programı kullanılarak yapılmıştır. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu görsel ve analitik yöntemler (Kolmogorov-Smirnov/Shapiro-Wilk testleri) kullanılarak incelenmiştir. Shapiro Wilks testi, Q-Q grafikler, Basıklık-Sivrilik/Çarpıklık-Asimetri, varyasyon katsayısı ve histogramlar ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler ortalama±standart sapma (ort±ss), normal dağılım göstermeyen veriler ortanca (birinci çeyrek değer [Ç1]-üçüncü çeyrek değer [Ç3]) ve kategorik veriler ise yüzde değer (%) şeklinde belirtilmiştir. Bağımsız iki kategorik değişkenin kıyaslanmasında Ki-Kare Testi kullanılırken, gözlerdeki beklenen değerlerin durumuna göre Pearson Ki-Kare ya

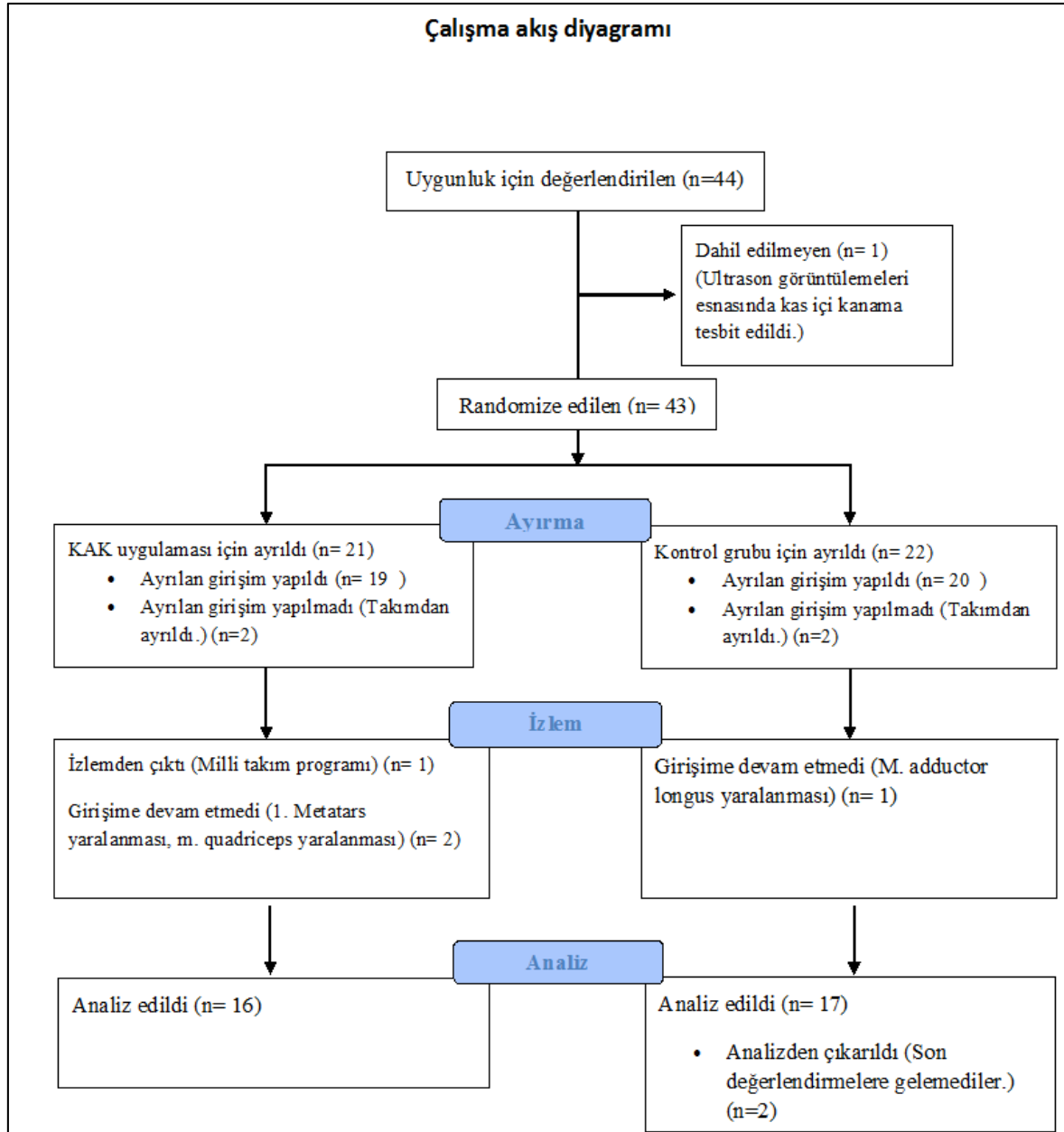
da Fisher'in Kesin Test istatistiklerinden birinin kullanımı tercih edilmiştir. Parametrik değişkenlerin grup içi analizinde “İki Eş Arasındaki Farkın Anlamlılık Testi” (*Paired Samples T Test*), non-parametrik değişkenlerin grup içi analizinde Wilcoxon Testi kullanılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalarda eğitim öncesi ve eğitim sonrası meydana gelen % farkını belirlemek için “ $\% \Delta$: delta (son değer-ilk değer)/ilk değer*100” formülü kullanılarak çevrilmiştir. Parametrik değişkenlerde bağımsız gruplar için T testi (*independent samples t test*), non parametrik değişkenlerde Mann-Whitney U Testi kullanılmıştır. Grup içi ve gruplar arasında oluşan farkların etki büyüklüğü Cohen'in d değeri kullanılarak belirlenmiştir. Cohen'in d değerinin 0,2-0,5 arasında olması düşük, 0,5-0,8 arasında olması orta ve 0,8< olması ise yüksek etki olarak değerlendirilmektedir [192]. P değerinin 0,05'ten küçük olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Post-hoc güç analizi için *G* Power* programı (versiyon 3.1.9 Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Almanya) kullanılmıştır. KAK grubuna ait biceps femoris kas lifi uzunluğu değişkenlerinin tedavi öncesi ve tedavi sonrası değerleri post-hoc güç analizinde kullanılmıştır. Alfa'nın istatistiksel anlamlılığı %5 ve örneklem genişliğinin 16 olduğu, tedavi öncesi-sonrası kıyaslamaların yapıldığı analizler için post-hoc güç (1- β) sırasıyla %93.8 olarak tespit edilmiştir [193].



4. BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 44 sporcu, çalışmadan ayrılan sporcular ve çalışma akış diyagramı şekil 4.1.'de görüldüğü gibidir. Çalışmamız KAK grubu 16 ve kontrol grubu 17 katılımcı olacak şekilde toplamda 33 sporcu ile tamamlanmıştır.



Kısaltmalar: KAK: Kan akımı kısıtlaması, n: sporcu sayısı.

Şekil 4.1. Çalışma akış diyagramı ve katılımcılar

4.1. Demografik Bulgular

Çalışmaya dahil edilen ve randomize olarak KAK ve kontrol grupları olarak ayrılan sporcuların demografik ve klinik bulguları karşılaştırıldığında; yaş, boy, kilo, VKİ, antrenman yaşı-yılı, spordan ayrı kaldığı zamanda geçen rehabilitasyon süresi, spora dönüş sonrası geçen süre, uyluk çevresi ölçümü, aktif diz ekstansiyon testi, dominant ekstremit ve yaralanma hikayesi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$) (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çalışmada yer alan sporcuların demografik ve klinik özelliklerinin karşılaştırması

		KAK Grubu (n:16)	Kontrol Grubu (n:17)	p
Yaş (yıl)		18,5 (18,0/ 22,5)	19,0 (18,0/ 22,0)	0,929 ^a
Boy (cm)		183,9±8,0	180,0±4,79	0,104 ^b
Vücut Ağırlığı (kg)		74,5±7,2	72,0±5,5	0,257 ^b
VKİ (kg/m ²)		22,0±1,0	22,2±1,3	0,631 ^b
Antrenman yaş yılı (sezon)		7,9±2,6	7,4±1,8	0,566 ^b
Uyluk çevresi (cm)		58,71±3,3	58,58±4,0	0,921 ^b
ADET (derece)		155,0 (152,2/ 162,0)	162,0 (152,5/ 165,0)	0,157 ^a
Dominant taraf n (%)	Sağ	15 (94)	11 (65)	0,085 ^c
	Sol	1 (6)	6 (35)	0,085 ^c

Kısaltmalar: Değerler: Ortalama±Standart sapma veya ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek), (a): Mann-Whitney test, (b): Independent Samples test, (c): Fisher's Exact Test, p: anlamlılık düzeyi, ADET: Aktif diz ekstansiyon testi, KAK: Kan akımı kısıtlaması, VKİ: Vücut Kütle İndeksi, cm: santimetre, m²: metrekare, kg: kilogram, %: yüzde, n: sporcu sayısı.

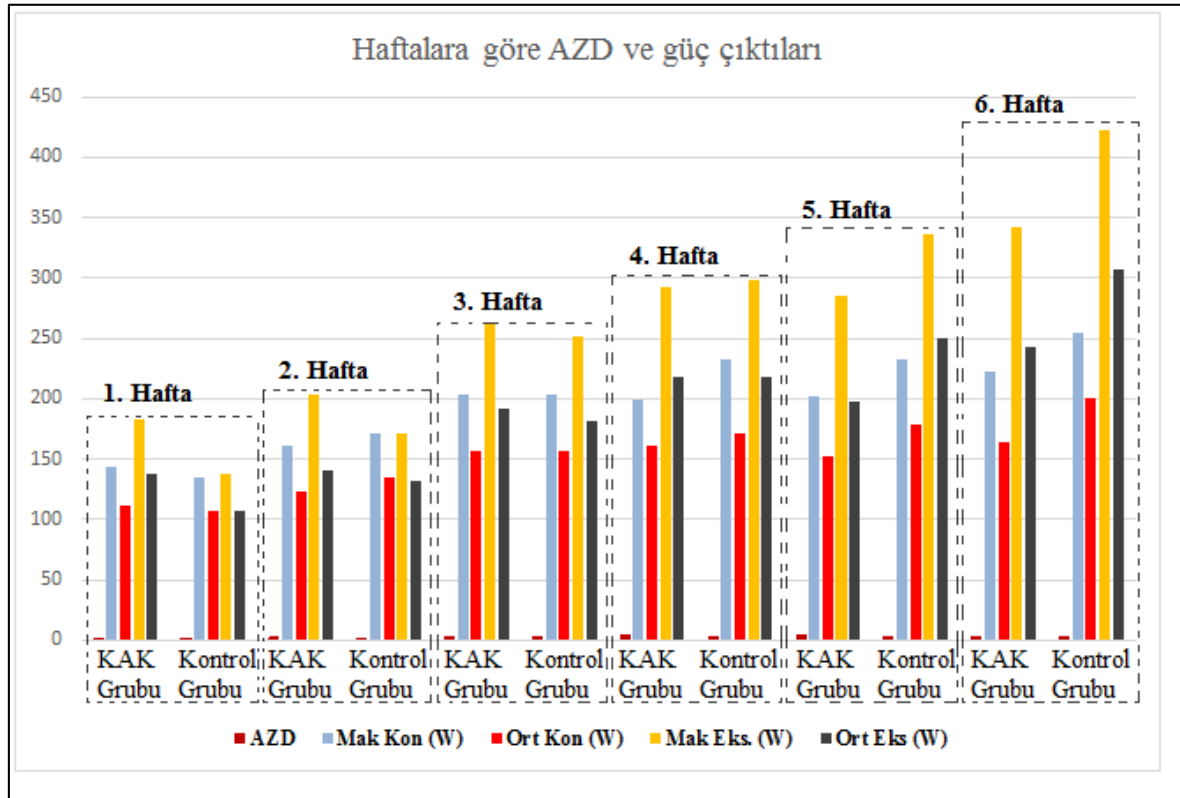
4.2. KAK Uygulaması için Bireyselleştirilmiş Basınç Bulguları

KAK grubu için sporcuların arteriyel oklüzyon basıncı (AOB) ve bu basıncın %60'ı ile FW leg curl egzersizi esnasında uygulanan manşon basıncı verileri sırasıyla 246,8±24,1 mmhg ve 149,3±13,4 mmhg olarak bulunmuştur. KAK grubu için AOB ve egzersiz esnasında manşon basıncı arasında çok yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p<0,001$ ve $d:5$).

4.3. Egzersiz Esnasında Algılanan Zorluk Dereceleri ve Güç Çıktıları Bulguları

Eğitim süresince her iki grupta yer alan güç çıktıları Watt (W) cinsinden Çizelge 4.3'te sunulmuştur. 6 haftalık eğitim süresinin tamamında her iki grupta yer alan sporcuların, egzersiz sırasında algılanan zorluk dereceleri (AZD) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir ($p>0,05$ ve $d<0,8$) (Çizelge 4.3). İlk 4 haftalık eğitim süresince her iki grupta

yer alan sporcuların güç çıktılarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$ ve $d<0,8$) (Çizelge 4.3). Beşinci haftada kontrol grubunda yer alan sporcuların ortalama eksantrik faz güç çıktılarında yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($p<0,05$ ve $d: 0,808$). Kontrol grubunun eksantrik faz güç çıktılarının daha fazla olduğu görülmüştür. Altıncı haftada ise kontrol grubunda yer alan sporcuların güç çıktılarının tamamında orta veya yüksek etki büyüklükleri ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($p<0,05$ ve sırası ile maksimum konsantrik, ortalama konsantrik, maksimum eksantrik ve ortalama eksantrik faz $d: 0,756, 0,815, 0,749$ ve $0,764$) (Çizelge 4.3). Kontrol grubunun güç çıktılarının KAK grubundan daha fazla olduğu görülmüştür.



Kısaltmalar: KAK: Kan akımı kısıtlaması, AZD: Algılanan zorluk derecesi, Mak: Maksimum, Ort: Ortalama, Eks: Eksantrik, Kon: Konsantrik.

Şekil 4.2. KAK ve kontrol grubunun AZD ve güç çıktıları grafiği.

Çizelge 4.2. Haftalara göre AZD ve güç çıktılarının gruplar arası karşılaştırması

Eğitim süreci		KAK Grubu	Kontrol Grubu	d	p
1. Hafta	AZD	2,0(1,25/3,75)	2,0(1,0/2,0)	0,470	0,168 ^a
	Mak Kon (W)	143,2±42,4	135,4±51,7	0,164	0,641 ^b
	Ort Kon (W)	111,3±29,2	107,3±42,8	0,109	0,757 ^b
	Mak Eks. (W)	182,3±79,7	137,4±52,9	0,663	0,064 ^b
	Ort Eks (W)	138,0±56,1	106,8±37,0	0,656	0,067 ^b
2. Hafta	AZD	3,0(2,0/4,75)	2,0(2,0/4,0)	0,363	0,292 ^a
	Mak Kon (W)	161,6±34,9	171,2±45,6	0,236	0,504 ^b
	Ort Kon (W)	122,6±26,5	135,4±33,1	0,426	0,232 ^b
	Mak Eks (W)	203,2±75,4	170,6±41,2	0,536	0,130 ^b
	Ort Eks (W)	141,0±39,3	132,1±29,2	0,257	0,465 ^b
3. Hafta	AZD	3,5(2,25/4,75)	3,0(2,0/4,0)	0,470	0,176 ^a
	Mak Kon (W)	204,0±30,6	203,1±56,4	0,019	0,953 ^b
	Ort Kon (W)	156,5±25,2	156,1±39,1	0,012	0,974 ^b
	Mak Eks (W)	261,1±94,2	251,5±74,4	0,113	0,747 ^b
	Ort Eks (W)	191,0±62,7	182,1±52,8	0,153	0,663 ^b
4. Hafta	AZD	4,5(3,0/5,0)	4,0(3,0/5,0)	0,337	0,320 ^a
	Mak Kon (W)	198,9±41,0	233,1±74,7	0,567	0,113 ^b
	Ort Kon (W)	161,3±42,5	170,8±44,9	0,217	0,535 ^b
	Mak Eks (W)	292,1±81,3	298,5±100,5	0,070	0,841 ^b
	Ort Eks (W)	217,7±65,7	217,9±71,9	0,002	0,994 ^b
5. Hafta	AZD	5,0(3,0/6,0)	4,0(3,0/4,0)	0,653	0,068 ^a
	Mak Kon (W)	202,1±54,2	232,0±67,3	0,489	0,173 ^b
	Ort Kon (W)	151,6±42,4	178,9±56,4	0,547	0,129 ^b
	Mak Eks (W)	284,5±51,6	336,4±105,5	0,624	0,086 ^b
	Ort Eks (W)	197,9±33,0	249,7±84,4	0,808	0,029^{*b}
6. Hafta	AZD	4,0(3,25/5,75)	4,0(3,0/6,0)	0,069	0,840 ^a
	Mak Kon (W)	221,7±42,5	255,2±46,0	0,756	0,038^{*b}
	Ort Kon (W)	163,6±34,5	200,4±53,7	0,815	0,027^{*b}
	Mak Eks (W)	342,3±86,0	422,0±123,3	0,749	0,040^{*b}
	Ort Eks (W)	242,7±66,0	307,4±100,7	0,764	0,038^{*b}

Kısaltmalar: Değerler: Ortalama±Standart sapma veya ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); (a): Mann-Whitney test; (b): Independent Samples test; KAK: Kan akımı kısıtlaması; (*): p<0,05; AZD: Algılanan zorluk derecesi; d: Cohen d değeri; Mak: Maksimum; Ort: Ortalama; Kon: Konsantrik faz; Eks: Eksantrik faz; W: Watt.

4.4. Kas Mimarisi Bulguları

Biceps femoris kas mimari değerlendirmesi sonucu eğitim öncesi ve sonrası belirlenen kas kalınlığı, pennasyon açısı ve lif uzunluğu değerleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Altı haftalık eğitim sonucunda kas kalınlığında her iki grupta da istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir (sırasıyla KAK grubu ve Kontrol grubu p>0,05, d:0,60 ve p>0,05, d:0,35) (Çizelge 4.4). Kas kalınlığı bakımından; KAK grubunda eğitim sonucu ortalama 0,1 cm azalma meydana gelmiş, kontrol grubunda ise değişiklik meydana gelmemiştir. Her iki grupta da eğitimler sonucunda pennasyon açısında çok yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla KAK grubu ve kontrol grubu; p<0,001, d:1,17 ve p<0,001, d:2,45) (Çizelge 4.4). Her iki grupta da pennasyon açısında anlamlı azalma meydana gelmiştir. Lif uzunluğunda ise her iki grupta da yüksek etki büyüklüğü ile

istatistiksel olarak anlamlı artışlar meydana gelmiştir (sırasıyla KAK grubu ve Kontrol grubu; $p<0,001$, $d:1,55$ ve $p<0,001$, $d:1,77$) (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. Kas mimarisi bulgularının grup içi karşılaştırması

	KAK Grubu				Kontrol Grubu			
	EÖ	ES	p^a	d	EÖ	ES	p^a	d
Kas Kalınlığı (cm)	2,3±0,2	2,2±0,2	0,083	0,60	2,3±0,3	2,3±0,3	0,158	0,35
Pennasyon Açısı (derece)	15,3±2,6	13,3±1,8	<0,001*	1,17	15,5±2,2	12,7±1,8	<0,001*	2,45
Lif Uzunluğu (cm)	9,4±1,3	10,9±1,3	<0,001*	1,55	9,9±1,9	11,5±1,7	<0,001*	1,77

Kısaltmalar: (a): Paired samples test; Değerler: Ortalama±Standart sapma; KAK: Kan akımı kısıtlaması; EÖ: Egzersizler öncesi; ES: Egzersizler sonrası; (*): $p<0,05$; d: Cohen d değeri; cm: Santimetre.

Kas kalınlığı, pennasyon açısı ve lif uzunluğu verilerinde eğitim sonucu meydana gelen % Δ (Delta) değerleri Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Gruplar arası kas kalınlığı, pennasyon açısı ve lif uzunluğunda meydana gelen değişimlerde düşük veya orta etki büyüklükleri ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktur ($p>0,05$ ve kas kalınlığı, pennasyon açısı ve lif uzunluğu etki büyüklükleri sırası ile $d:0,00$, $0,53$ ve $0,11$) (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4. Kas mimarisi bulgularının gruplar arası karşılaştırması

	KAK Grubu (% Δ)	Kontrol Grubu (% Δ)	p^a	d
Kas kalınlığı	-1,8 (-7,0/-0,01)	-3,5 (-8,2/-0,9)	1,000	0,00
Pennasyon açısı	-13,0 (-19,9/-7,6)	-18,6 (-23,0/-11,5)	0,146	0,53
Lif uzunluğu	+13,7 (7,9/21,3)	+14,6 (7,6/25,1)	0,746	0,11

Kısaltmalar: (a): Mann-Whitney test; Değerler: Ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); KAK: Kan akımı kısıtlaması; p: Anlamlılık düzeyi; d: Cohen d değeri; - değer azalma; + değer artma. Not: Grupların eğitim öncesi kas mimarisi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

4.5. İzometrik Kas Kuvveti Bulgular

4.5.1. İzometrik kas testi bulguları

Eğitim öncesi ve sonrası belirlenen izometrik kas testi sonucu pik ve ortalama değerleri kg cinsinden Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Eğitimler sonucunda izometrik kas testi verilerinde KAK grubunda pik değerlerde orta etki büyüklüğü; ortalama değerlerde çok yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık belirlenmiştir ($p<0,001$; pik ve ortalama değer $d: 0,677$, $1,472$) (Çizelge 4.6). Kontrol grubunun ise hem pik hem de ortalama değerlerinde çok yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmüştür ($p<0,001$; pik ve ortalama değer $d:1,454$, $1,691$) (Çizelge 4.6). Eğitim sonucu her iki grupta da izometrik hamstring kas kuvvetinde artma meydana gelmiştir.

Çizelge 4.5. İzometrik kas testi bulgularının grup içi karşılaştırması

	KAK Grubu				Kontrol Grubu			
	EÖ (kg)	ES (kg)	p ^a	D	EÖ (kg)	ES (kg)	p ^a	d
Pik Değer	33,8±3,0	36,8±5,5	<0,001 *	0,677	33,5±6,4	41,1±3,7	<0,001 *	1,454
Ort. Değer	28,5±3,3	35,0±5,3	<0,001 *	1,472	28,8±5,2	37,1±4,6	<0,001 *	1,691

Kısaltmalar: (a): Paired samples test; Değerler: Ortalama±Standart sapma; KAK: Kan akımı kısıtlaması; EÖ: Egzersizler öncesi; ES: Egzersizler sonrası; Ort: Ortalama; (*): p<0,05; d: Cohen d değeri; kg: Kilogram.

Pik ve ortalama izometrik kas testi verilerinde eğitim sonucu meydana gelen %Δ değerleri Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Pik ve ortalama izometrik kas testinde meydana gelen değişimlerde gruplar arası anlamlı farklılık yoktur (p>0,05; pik ve ortalama değer için sırası ile d: 0,202 ve 0,164).

Çizelge 4.6. İzometrik kas testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması

	KAK Grubu (% Δ)	Kontrol Grubu (% Δ)	p ^a	d
Pik Değer	+15,3 (7,7/ 32,8)	+15,8 (9,5/ 36,3)	0,581	0,202
Ort. Değer	+20,5 (7,0/ 37,9)	+19,0 (10,5/ 52,5)	0,640	0,164

Kısaltmalar: (a): Mann-Whitney test; Değerler: Ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); KAK: Kan akımı kısıtlaması; Ort: Ortalama; p: Anlamlılık düzeyi; d: Cohen d değeri; +: % değerinde eğitim sonucu artma. Not: Grupların eğitim öncesi izometrik kas testi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

4.5.2. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi (Nordic testi) bulguları

Eğitim öncesi ve sonrası belirlenen eksantrik diz fleksiyon testi sonucu pik ve ortalama değerleri Newton (N) cinsinden Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Her iki grupta da eğitimler sonucunda pik ve ortalama eksantrik hamstring kuvvetinde orta etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir (p<0,001; KAK ve kontrol gruplarında sırası ile pik ve ortalama değer d: 0,643, 0,708 ve 0,658, 0,678) (Çizelge 4.8). Eğitim sonucu her iki grupta da pik ve ortalama eksantrik diz fleksiyon kuvvetinde artma meydana gelmiştir.

Çizelge 4.7. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi bulgularının grup içi karşılaştırması

	KAK Grubu				Kontrol Grubu			
	EÖ (N)	ES (N)	p ^a	d	EÖ (N)	ES (N)	p ^a	d
Pik Değer	340,6± 89,5	389,5± 59,5	0,027*	0,643	359,5± 86,5	407,1± 79,0	0,003*	0,658
Ort. Değer	311,4± 81,7	367,0± 60,0	0,009*	0,708	336,6± 83,7	388,3± 74,0	<0,001 *	0,678

Kısaltmalar: (a): Paired samples test; Değerler: Ortalama± Standart sapma; KAK: Kan akımı kısıtlaması; EÖ: Egzersizler öncesi; ES: Egzersizler sonrası; (*): p<0,05; d: Cohen d değeri; N: Newton.

Pik ve ortalama eksantrik hamstring kuvvetinde eğitim sonucu meydana gelen % Δ değerleri Çizelge 4.9’da sunulmuştur. Gruplar arasında pik ve ortalama eksantrik hamstring kuvvetinde meydana gelen değişimlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktur ($p>0,05$; pik ve ortalama değer için sırası ile d: 0,088 ve 0,100) (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.8. Eksantrik diz fleksiyon kuvvet testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması

	KAK Grubu (% Δ)	Kontrol Grubu (% Δ)	p ^a	d
Pik Değer	+9,2 (-2,4/ 32,4)	+11,1 (2,6/ 22,7)	0,599	0,088
Ort. Değer	+17,1 (0,9/ 29,5)	+18,4 (2,8/ 26,0)	0,520	0,100

Kısaltmalar: (a): Mann-Whitney test; Değerler: Ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); KAK: Kan akımı kısıtlaması; Ort: Ortalama; p: Anlamlılık düzeyi; d: Cohen d değeri; +: % değerinde eğitim sonucu artma. Not: Grupların eğitim öncesi pik ve ortalama eksantrik diz fleksiyon testi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

4.6. Fonksiyonel Performans Testleri

4.6.1. Tek bacak hamstring köprü testi (TBHK) ve tek bacak hoplama mesafesi testi (TBHM) bulguları

Eğitim öncesi ve sonrası belirlenen TBHK testi ve TBHM testi değerleri Çizelge 4.10’da sunulmuştur. Her iki grupta da eğitimler sonucu TBHK testi değerlerinde çok yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık mevcuttur ($p<0,001$; sırası ile KAK grubu ve kontrol grubu d: 2,8 ve 2,3). Eğitim sonrasında her iki grupta da TBHK testi tekrar sayısında artma meydana gelmiştir. TBHM testi değerlerinde yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($p<0,001$; sırası ile KAK grubu ve kontrol grubu d: 1,040 ve 0,954). Eğitim sonrasında her iki grupta da TBHM testi mesafesinde artma meydana gelmiştir.

Çizelge 4.9. TBHK ve TBHM testi bulgularının grup içi karşılaştırması

	KAK Grubu				Kontrol Grubu			
	EÖ	ES	p ^a	d	EÖ	ES	p ^a	d
TBHK (tkrr)	38,4± 10,7	64,5± 7,7	<0,001*	2,8	40,6± 11,8	67,2± 11,1	0,004*	2,3
TBHM (cm)	194,0± 16,3	210,9± 16,2	0,002*	1,04	189,0± 17,5	204,2± 14,2	<0,001*	0,954

Kısaltmalar: (a): Paired samples test; Değerler: Ortalama±Standart sapma; KAK: Kan akımı kısıtlaması; EÖ: Egzersizler öncesi; ES: Egzersizler sonrası; TBHM: Tek bacak hoplama mesafesi testi; TBHK: Tek bacak hamstring köprü testi; (*): $p<0,05$; d: Cohen d değeri; cm: Santimetre.

TBHK ve TBHM test verilerinde eğitim sonucu meydana gelen % Δ değerleri Çizelge 4.11’de sunulmuştur. TBHK ve TBHM testlerinde meydana gelen değişimlerde gruplar arası anlamlı farklılık yoktur ($p>0,05$; sırası ile TBHK ve TBHM testi d:0,031 ve 0,157).

Çizelge 4.10. TBHK ve TBHM testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması

	KAK grubu % Δ değişim	Kontrol Grubu % Δ değişim	p ^a	d
TBHK (tekrar)	70,0 (45,2/ 83,6)	60,0 (43,1/ 94,9)	0,928	0,031
TBHM (cm)	8,2 (3,6/ 12,9)	7,5 (3,1/ 11,2)	0,652	0,157

Kısaltmalar: (a): Mann-Whitney test; Değerler: Ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); KAK: Kan akımı kısıtlaması; p: Anlamlılık düzeyi; d: Cohen d değeri; TBHM: Tek bacak hoplama mesafesi testi; TBHK: Tek bacak hamstring köprü testi. Not: Grupların eğitim öncesi TBHM ve TBHK değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

4.6.2. 30 m sprint testi bulguları

Eğitim öncesi ve sonrası belirlenen 30 m sprint test verileri Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Her iki grupta da eğitimler sonucu 30 m sprint testi süresinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,001$; KAK ve kontrol grubu için sırasıyla d: 1,0 v 0,632). Her iki gruptaki sporcular eğitim sonrasında 30 m mesafeyi daha hızlı koşmakla birlikte, bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Çizelge 4.11. 30 m sprint testi bulgularının grup içi karşılaştırması

	KAK Grubu				Kontrol Grubu			
	EÖ	ES	p ^a	d	EÖ	ES	p ^a	d
30 m sprint (sn)	4,4 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,1	0,109	-1,0	4,4 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,2	0,498	-0,632

Kısaltmalar: (a): Paired samples test; Değerler: Ortalama $\pm$ Standart sapma; KAK: Kan akımı kısıtlaması; EÖ: Egzersizler öncesi; ES: Egzersizler sonrası; (*): $p<0,05$; d: Cohen d değeri; sn: Saniye.

30 m sprint test verilerinde eğitim sonucu meydana gelen % Δ değerleri Çizelge 4.13’te sunulmuştur. 30 m sprint testinde meydana gelen değişimlerde gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktur ($p>0,05$; d:0,113).

Çizelge 4.12. 30 m sprint testi bulgularının gruplar arası karşılaştırması

	KAK grubu % Δ değişim	Kontrol Grubu % Δ değişim	p ^a	d
30 m sprint (sn)	-2,7 (-5,2/ -0,1)	-2,0 (-7,9/ 5,0)	0,746	0,113

Kısaltmalar: (a): Mann-Whitney test; Değerler: Ortanca (1. Çeyrek/3. Çeyrek); KAK: Kan akımı kısıtlaması; p: Anlamlılık düzeyi; d: Cohen d değeri; -: % değerinde eğitim sonucu azalma. Not: Grupların eğitim öncesi 30 m sprint testi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

5. TARTIŞMA

Literatürde ilk defa yapılan bu çalışmada, futbolcularda rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün uygulanan FW leg curl egzersizinin KAK ile birlikte uygulandığı zaman kontrol grubuna göre dominant ekstremitede BFcl kas mimarisi parametreleri ve fonksiyonel performans testlerinde üstünlük sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre hem KAK grubunda hem de kontrol grubunda 6 hafta sonunda grup içi karşılaştırmada kas mimarisi parametrelerinden kas lifi uzunluğunda anlamlı artış ve pennasyon açısından anlamlı azalma meydana gelirken, kas kalınlığında anlamlı bir değişiklik olmamıştır. Performans testlerinden pik ve ortalama izometrik kas kuvveti, pik ve ortalama eksantrik diz fleksiyon kuvveti, tek bacak hamstring köprü (TBHK) testi tekrar sayısı ve tek bacak hoplama mesafesi (TBHM) testi sonuçlarında 6 haftalık aralıksız program sonunda her iki grupta da anlamlı artış meydana gelirken, 30 m sprint testinde meydana gelen gelişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Randomize olarak gruplara ayrılan ve tüm eğitim öncesi değerleri istatistiksel olarak birbirinden farksız olan futbolcularda genişliği 7 cm olan manşonla ve arteriyel oklüzyon basıncının %60'ı kadar basınçla KAK grubu aynı egzersiz hacmi, frekansı ve yoğunluğu ile normal FW leg curl egzersizi yapan kontrol grubuna kıyasla dominant ekstremitede BFcl kas mimarisi parametrelerinde, hamstring kuvvet gelişiminde ve fonksiyonel performans testlerinde üstünlük sağlamamaktadır.

Alıştırma seansları: Taus Fajardo ve arkadaşları (ark.) 2006 yayımladıkları çalışmada FW ergometresi ile iki seanstan az tecrübesi olan sporcuları bir gruba, beş seanstan fazla tecrübesi olan sporcuları farklı gruba ayırarak kas aktivasyonunu ve güç çıktılarını takip etmişlerdir. İki farklı eylemsizlik momenti ile güç çıktısı ve kas aktivasyonunun incelendiği çalışmada tecrübesiz katılımcılarda artan eylemsizlik momenti ile hem güç çıktısında hem de kas aktivasyonunda azalma belirlenmiştir [5]. Piqueras Sanchiz ve ark. (2020) yayımladıkları çalışmada, FW leg curl egzersizinin 4 farklı eylemsizlik momentleri ile (0.083, 0.132, 0.182, 0.266 ve 0.350 kg.m²) 8'er tekrar yapıldığı zaman kadın ve erkek üniversite öğrencisi atletlerde güç çıktılarının seans içi-tekrarlar arası güvenilirliğini incelemiştir. Tüm seanslarda her iki fazda da tekrarlar arası güç çıktılarında yüksek veya çok yüksek tutarlılık tespit edilse de dördüncü oturumda hem erkek hem de kadın atletlerde en yüksek (Cronbach- α >0.9) güvenilirlik puanlarını belirlemişlerdir. Güvenilir ve istikrarlı çıktılar elde etmek için FW leg curl egzersizi ile deneyimsiz kişilerle dört seans alıştırma yapılmasını önermişlerdir [194]. Carlos Galliano ve ark. (2021) yayımladıkları çalışmada, tecrübeli ve tecrübesiz katılımcıların iki farklı tasarıma

sahip FW ergometresi (horizontal silindirik ve vertikal konik) ile aynı eylemsizlik momentlerinde yaptıkları FW squat egzersizi esnasında hareket açıklıklarını, hareket hızlarını ve güç çıktılarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre farklı ergometre tasarımı ve tecrübe kinetik ve kinematik farklılıklar oluşturmaktadır; tecrübeli katılımcılar daha geniş hareket açıklığında daha yüksek güç çıktıları üretebilmektedir [195]. Çalışmamızda da eğitim programına başlamadan önce egzersizlerin ergometre ile koordineli biçimde ve doğru teknikle yapılabilmesi için tüm katılımcılara iki seans, 3 set, 5 tekrar ve 0.008 kg.m²'lik eylemsizlik momenti ile alıştırmaya uygulanmıştır. Ayrıca alıştırmaya seanslarında KAK uygulamasına katılımcıların uyum sağlayabilmeleri amacıyla, 100-110 mmhg aralığında manşon basıncıyla FW egzersizleri yaptırılmıştır. Bu basınç (100-110 mmhg), çalışmamızda ortalama AOB'nin yaklaşık %40'ına denk gelmektedir. Literatürde KAK uygulaması kullanılarak yapılan çalışmalarda tekrarlayan seanslar sonrası AZD'de daha düşük puanlamalar, eğitim esnasında manşon basıncının daha kolay tolere edilebilmesi, daha güvenilir KAK uygulamaları ve oluşabilecek rahatsızlık hissiyatlarını azaltarak tolerasyonu kolaylaştırıp, KAK uygulamasının etkinliği artırmak için alıştırmaya seansları önerilmektedir [190, 191]. Bizde çalışmamızda hem FW egzersizleri için koordinasyon hemde KAK uygulaması için adaptasyon amacıyla çalışmamıza başlamadan önce futbolcularla alıştırmaya seanslarını tamamladık.

KAK uygulamasında manşon basınçları: Literatürde yapılan çalışmalarda KAK için bireysel basınç belirleme yöntemine göre AOB'nin %40-80'i aralığında uygulanan basınçlar, miyoelektrik ve nöromusküler aktiviteyi artırarak kuvvet ve hipertrofik kazanımlar sağlamaktadır [72]. Ryan J Wortman ve ark. (2021) yılında sporcularla yapılmış KAK uygulamalı çalışmaların analiz edildiği sistematik derlemede manşon basıncının 110-240 mmhg aralığında olduğunu raporlamıştır [196]. Tomohiro Yasuda ve ark. (2012) [28] yayımladıkları çalışmalarında, 3 cm genişliğindeki manşonun basıncını her seans düzenli olarak artırarak 6 haftalık eksantrik biceps curl egzersizi programı için 10 mmhg'den 160 mmhg'ye çıkarmışlardır [28]. Jakop Lauver ve ark. ise 2017 ve 2020 yıllarında KAK eksantrik egzersizlerin akut çıktılarını inceledikleri iki çalışmada da 6 cm genişliğindeki manşonun basıncını izokinetik sistemde eksantrik leg ekstansiyon egzersizi için SKB'nin %130'una göre ayarlamışlardır [197, 198]. Michael Behringer ve ark. (2018) da yayımladıkları çalışmalarında, KAK uygulaması için 13 cm genişliğinde manşon ile 20 erkek katılımcı için ortalama 197± 33.7 mmhg basınçla orta yoğunluklu eksantrik egzersizlerden sonra kan değerlerindeki inflamatuvar belirteçleri kontrol grubu ile farksız olarak raporlayıp, KAK orta yoğunluklu eksantrik egzersizleri güvenilir olarak yorumlamışlardır [199]. Çalışmamızda FW leg curl egzersizi için 7 cm genişliğindeki manşon

ile AOB'nin %60'ına göre ayarlama yapılarak, 16 katılımcı için ortalama 149.3 ± 13.4 mmHg manşon basıncı uygulanmıştır.

KAK kısıtlanmalı FW leg curl egzersizi, güç çıktıları ve eylemsizlik momenti: Literatürdeki genel görüş, FW egzersizlerinin eksantrik aşırı yüklenme (*eccentric overload training*) sağladığı yönünde olsa da çalışmalarda pik ve ortalama güç çıktılarının konsantrik faz lehine olduğu da raporlarda mevcuttur [55]. FW egzersizlerinin eksantrik yükleme sağlayıp sağlayamayacağını belirleyen temel faktör teknik ve direnç oluşturan eylemsizlik momentinin büyüklüğüdür [55, 56, 62]. Suchomel TJ ve ark. (2019) eksantrik egzersizler ile ilgili yayımladıkları derlemelerinde, FW egzersizlerinde farklı tekniklerin güç çıktılarını nasıl değiştirdiğini detaylı olarak incelemiştir [62]. Egzersiz tekniğinde konsantrik faz hızlı yapıp eksantrik faz bilinçli olarak uzatılmadığında ve konsantrik fazdan eksantrik faza geçişte FW yavaşlatılmadığında, eksantrik faz çıktıları konsantrik fazdan daha yüksek olmakta ve eksantrik yüklenme gerçekleşmektedir [62]. FW egzersizlerinin kazanımlarını en üst düzeye çıkarabilmek için en uygun eylemsizlik yükünün belirlenmesi gerekmektedir; çünkü atletik performansı artırabilmede en etkili yöntem, en yüksek güç çıktıları sağlayan yüklerle egzersizlerin yapılmasıdır [64, 184, 195, 200, 201]. Literatürde aynı egzersizde, aynı eylemsizlik momenti ile aynı katılımcılarla farklı FW ergometresi tasarımlarında (horizontal silindir veya vertikal konik) farklı güç çıktıları raporlanmıştır [56]. FW leg curl, leg ekstansiyonu, biceps curl gibi tek eklemlilerde harekete katılan kas sayısı FW squat, lunge veya romanian dead lift gibi çok eklemlilerde harekete katılan kas sayısından daha azdır [62]. Dolayısıyla FW leg curl, leg ekstansiyonu, biceps curl gibi tek eklemlilerde büyük eylemsizlik momentleri ile yapıldığı zaman katılımcılar eksantrik fazda ergometrenin oluşturduğu yüksek dirence karşı egzersizi doğru teknikle yapamamaktadır [61-64, 194]. FW ergometresinin oluşturduğu yüksek dirence karşı katılımcılar eksantrik fazı daha uzun sürede yapmakta, eksantrik faz güç çıktıları konsantrik fazdan daha düşük olmakta ve eksantrik yüklenme gerçekleşmemektedir [61-64]. Çalışmamızda 6 hafta boyunca KAK grubunun hem pik hem de ortalama eksantrik faz güç çıktıları konsantrik fazdan daha yüksektir. Kontrol grubunda sadece ilk 2 haftada ortalama eksantrik faz güç çıktıları konsantrik fazdan düşük olsa da pik güç çıktıları 6 hafta boyunca eksantrik faz lehinedir. FW ergometresi ile leg curl egzersizinde doğru tekniğin, futbolcular tarafından alıştırma seanslarımız esnasında kavrandığı düşünülmektedir.

KAK grubu ile kontrol grubu arasında güç çıktılarındaki ilk 4 haftada anlamlı farklılık oluşmasa da bu değerler kontrol grubu lehine daha yüksektir, 5. haftada ortalama eksenrik faz güç çıktıları ve 6. Haftada ise güç çıktılarının tamamı kontrol grubu lehine anlamlı olarak daha yüksektir. Egzersiz hacmi ve yoğunluğu arttıkça KAK uygulamasının ekstremitelerde proksimalinde oluşturduğu basınç ve ağrı hissiyatının güç çıktılarındaki etkilediği tahmin edilmektedir. Bu çalışmada eğitim amacıyla hamstring kaslarını yüksek kas aktivasyonu ile izole olarak çalıştıran FW leg curl egzersizi seçilmiştir [185]. FW egzersizlerinde hamstring kas aktivasyonlarının incelendiği SEMG çalışmasında, egzersiz esnasında hamstring kaslarında FW leg curl egzersizi gibi yüksek kas aktivasyonu meydana getiren FW single leg deadlift veya FW Romanian deadlift egzersizleri kullanılmış olması durumunda daha yüksek eylemsizlik momentleri ile çalışılabilecek ve güç çıktılarındaki daha farklı sonuçlar elde edilebilecekti.

Futbolcularda KAK uygulaması ve FW egzersizi: Literatürde hamstringler için FW egzersizlerinin periyotlaması amacıyla yayımlanmış ve kanıtlarla net öneriler sunan çalışma örnekleri bulunmamaktadır [63]. Farklı branşlardan profesyonel ve yarı profesyonel kadın veya erkek sporcularla içeriğinde FW egzersizleri olan çalışmaların özetlendiği bir derlemenin sonucuna göre yazarlar FW egzersiz programının; 6-8 hafta, müsabaka döneminde haftada 1 seans, sezon başı hazırlık döneminde ise haftada 2 seans, 6-8 tekrardan oluşan 1-3 set şeklinde ve eylemsizlik momentlerinin program hedefine göre belirlenerek her zaman en hızlı tempoda yapılması gerektiğini önermişlerdir [64].

Literatürde sporcularla yapılmış KAK uygulamalı çalışmaların ise prospektif izlem süresi 8 gün ile 8 hafta arasında değişmektedir [196]. Yamanaka ve ark. (2012) yılında yayımladıkları çalışmaları kapsamında kolej takımının erkek futbolcularında KAK bench press ve squat egzersizlerini 4 hafta boyunca haftada 3 gün uygulamışlardır [202]. Scott ve ark. (2017) yılında yayımladıkları çalışmaları kapsamında yarı profesyonel erkek futbolcularda KAK düşük dirençli squat egzersizini 5 hafta boyunca haftada 3 gün uygulamışlardır [203]. Luebbers ve ark. (2014) yılında yayımladıkları çalışmaları kapsamında kolej takımının erkek futbolcularında KAK bench press ve squat egzersizlerini 7 hafta boyunca haftada 4 gün uygulamışlardır [204]. Cook ve ark. (2014) yayımladıkları çalışmaları kapsamında yarı profesyonel erkek futbolcularda KAK bench press, leg squat ve pull-ups egzersizlerini 3 hafta boyunca haftada 3 gün uygulamışlardır [205]. Çalışmamızda ise müsabakaların devam ettiği dönemde rutin antrenmanlarına ek olarak futbolcular, 6 hafta boyunca aralıksız şekilde haftada 1 gün egzersiz hacmi ve yoğunluğu ile ilk

hafta 3 set ve 8 tekrarla başlamış, 6. haftaya kadar 4 set ve 12 tekrara kadar ilerletilmiştir. Çalışma boyunca eylemsizlik momenti ise 0.017 kg.m^2 'den 0.029 kg.m^2 'ye yükseltilmiştir. Keijzer ve ark. (2022) yayımladıkları çalışmaları kapsamında 20 amatör futbolcuda üç farklı eylemsizlik momenti ile çalışmamızda da kullanılan FW ergometresini kullanmışlar; 3 set 6 tekrar şeklinde FW leg curl ve FW leg ekstansiyon egzersizlerini tüm katılımcılara uygulamışlar; sonrasında da egzersizler arasında ve farklı eylemsizlik momentlerinde meydana gelen pik güç çıktıları karşılaştırmışlardır [186]. Buna göre FW leg curl egzersizinde eylemsizlik momentlerinde (0.029 kg.m^2 , 0.061 kg.m^2 veya 0.089 kg.m^2) egzersiz esnasında konsantrik ve eksantrik güç çıktılarında istatistiksel olarak farklılık meydana gelmemiştir [186]. Çalışmamızda ise 6. haftada en yüksek değer olarak 0.029 kg.m^2 eylemsizlik momenti ile egzersizler yaptırılmıştır. Bunun gerekçesi, eylemsizlik momentinin daha fazla yükseltilmesi durumunda egzersiz yoğunluğu artacağından, bunun KAK grubu tarafından tolere edilemeyebileceği düşüncesidir.

KAK ile kuvvet gelişimi ve Eksantrik hamstring kuvveti: Literatürde KAK uygulanarak 1 maksimum tekrarın (MT) belirli yüzdeleri kullanılmış çalışmaların sonucuna göre katılımcıların cinsiyetine, çalışmaların süresine, egzersizlerin yoğunluğuna, kullanılan manşon basıncına veya tipine bakılmaksızın kuvvet gelişiminin pozitif yönde etkilendiği görüşü hakimdir [196]. Öyle ki rehabilitasyon döneminde 1 MT %20-30 gibi düşük yüklerle yapılan KAK egzersizleri kuvvet gelişiminde daha etkili, tolerasyonu daha kolay ve potansiyeli yüksek bir rehabilitasyon aracı olarak görülmektedir [196]. Geriatrik yaş grubunda KAK uygulaması ile 1 MT düşük yüzdelerde veya aerobik egzersizler uygulanarak yapılmış çalışmalara göre ise KAK kas kuvveti, kas kütlesi ve fiziksel fonksiyonları geliştirmede etkili bir yöntem olarak raporlanmaktadır [20-22]. Ryan J Wortman ve ark. (2021) tarafından sporcularla yürütülen KAK uygulamalı çalışmaların analiz edildiği sistematik derlemeye göre kuvvet gelişiminin 1 MT, izokinetik dinamometre veya izometrik kuvvet testleri kullanılarak değerlendirildiği KAK çalışmalarının %90'ında kuvvet gelişimi meydana geldiği raporlanmıştır [196]. Bu çalışmaların %78'inde KAK uygulaması kuvvet gelişiminde kontrol grubuna üstünlük sağlarken %22 sinde ise KAK çalışmalarının herhangi bir üstünlük sağlamadığı ve kontrol grubu ile istatistiksel olarak farksız gelişim meydana geldiği raporlanmıştır [196]. Çalışmamızın sonuçlarına göre ortalama eksantrik diz fleksiyon kuvvetinde 6 hafta sonunda KAK grubu için yaklaşık 56 N, kontrol grubu için ise yaklaşık 52 N artış meydana gelmiştir. Eksantrik diz fleksiyon kuvveti testi sonucunda her iki grupta da pik değerlerde yaklaşık %10, ortalama değerlerde ise yaklaşık %20'ye yakın artış tespit edilmiş; gruplar arasında anlamlı farklılık bulunamamıştır. İzometrik kas kuvvetinde ise pik değerlerde %15, ortalama değerlerde ise %20 anlamlı artış meydana

gelmiştir. KAK uygulaması ise eğitim sonunda hamstring kuvveti gelişiminde de kontrol grubuna istatistiksel olarak anlamlı üstünlük sağlayamamıştır.

Literatürde FW egzersiz eğitimi ile hamstring kuvvet gelişimlerinin incelendiği çalışmalara bakacak olursak Stojanovic ve ark. (2021) yayımladıkları çalışmalarında genç basketbol takım oyuncularında 8 haftalık FW Romanian deadlift (RDL) ve FW squat egzersizi yapan basketbolcular ile 1 MT % 80 kadar ağırlıkla squat ve deadlift egzersizi yapan kontrol grubunu karşılaştırmışlar izometrik hamstring kuvvetinde kontrol grubuna göre FW grubunda daha yüksek kuvvet değerleri tespit etmişlerdir [206]. Askling ve ark. (2003) yayımladıkları kontrollü çalışmada, rutin takım antrenmanlarına ek olarak koruyucu rehabilitasyon kapsamında yapılan 10 haftalık FW leg curl egzersizinin hem eksantrik hem de konsantrik hamstring kuvvetinde birbirine benzer biçimde yaklaşık %15-19 artış belirlemiştir [17]. Timmins ve ark. (2021) çalışmalarında elit futbolcularda FW RDL egzersizi ile Nordic hamstring egzersizini müsabakalar öncesi sezon başı hazırlık sürecinde ve müsabakalar başladıktan sonra sezon boyunca düzenli olarak uygulamış ve kuvvet gelişimlerini karşılaştırarak takip etmişlerdir [207]. Hazırlık süreci sonunda ve sezon içerisinde yapılan ara değerlendirmelerde FW RDL egzersizi yapan sporcular ile Nordic hamstring egzersizi yapan sporcular arasında eksantrik kuvvet gelişimde istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir [207]. FW egzersizleri yapan sporcular serbest ağırlıklarla veya sadece takım antrenmanı yapan sporcularla karşılaştırıldığında hamstring kuvvet gelişiminde üstünlük sağlarken NHE veya bizim çalışmamızdaki gibi KAK uygulaması eklendiğinde üstünlük meydana getirmemektedir.

Literatürde eksantrik hamstring kuvveti ile ilgili yapılan çalışmalarının sonuçlarına göre eksantrik hamstring kuvvet yetersizliği ve sonrasında önlem alınmaması, sezon içerisinde hamstring yaralanma riskini artırmaktadır. Timmins ve ark. (2016), 152 profesyonel futbolcu ile yaptıkları prospektif çalışmada eksantrik hamstring kuvveti 4.35N.kg^{-1} veya 337 N altında olan sporcuların, daha kuvvetli olan sporculardan sezon içerisinde 4.4 kat daha fazla hamstring yaralanma riski olduğunu göstermişlerdir [49]. Opar ve ark. (2015), 210 profesyonel futbolcu ile yaptıkları çalışmada sezon başı kamp dönemi öncesinde eksantrik hamstring kuvveti 256 (N), kamp dönemi sonunda ise 279 (N) altında olan sporcuların sezon içerisinde 2.7-4.3 kat daha fazla hamstring yaralanma riski olduğunu göstermişlerdir [47]. Literatürde koruyucu rehabilitasyon kapsamında haftalık düzenli olarak yapılan FW egzersizlerinin hamstring yaralanmalarını azalttığını gösteren çalışmalar da mevcuttur. Askling ve ark. (2003) yayımladıkları kontrollü çalışmada, rutin takım antrenmanlarına ek olarak koruyucu

rehabilitasyon kapsamında yapılan 10 haftalık FW leg curl egzersizinin hem eksantrik hem de konsantrik hamstring kuvvetinde birbirine benzer biçimde yaklaşık %15-19 artış belirlemiş, hamstring yaralanma şiddetindeki ve sıklığındaki azalmaları göstermiştir [17]. De Hoyo ve ark. (2015) yayımladıkları kontrollü çalışmada, rutin takım antrenmanlarına ek olarak koruyucu rehabilitasyon kapsamında yapılan 10 haftalık FW leg curl ve FW squat egzersizleri yapan futbolcuların 1000 saat antrenman ve/veya maç başına düşen hamstring yaralanma sıklığındaki azalmaları ortaya koymuştur [15]. FW leg curl egzersizi futbolcular için sezon içerisinde haftada 1 gün dahi rutin takım antrenmanlarına ek olarak uygulanırsa, KAK gerek olmadan eksantrik diz fleksiyon kuvvetini artırarak hamstring yaralanma riskini azaltacağını düşünmekteyiz.

KAK ve FW leg curl egzersizi ile hamstring kas mimarisi değişimleri: Literatürde araştırmacılar tarafından KAK ile sporcularda kas mimarisine yönelik kas kütlesi değişimleri incelenmiş [196], bu amaçla da ultrason görüntüleri üzerinden kas kalınlığı ve pennasyon açısı ölçümleri [208, 209], MR görüntüleri üzerinden enine kesit alanı hesaplamaları [210-212] ve antropometrik yöntemlerle standardize edilmiş kas çevresi ölçümleri yapılmıştır [213]. Sporcularla yapılan KAK egzersiz uygulamalarının üst ve alt ekstremitelerde farklı kas gruplarındaki kas kütlesi değişimlerinin takip edildiği sekiz çalışmanın dördünde KAK uygulaması kontrol grubuna istatistiksel olarak anlamlı üstünlük sağlarken [202, 208, 210, 212], diğer dört çalışmada anlamlı farklılık tespit edilememiştir [203, 204, 209, 211]. Hamstring kaslarının değerlendirildiği çalışmalarda ise Manimmanakorn ve ark. (2013) yayımladıkları çalışmalarında kadın netbol oyuncuları üzerinde yürüttükleri çalışmalarında, 5 hafta boyunca haftada 3 gün 1 MT %20'si kadar ağırlıkla KAK leg curl egzersiz programı sonucunda, MR görüntülerine göre hamstring kaslarının enine kesit alanında kontrol grubuna kıyasla anlamlı artış raporlamışlardır [210]. Abe ve ark. (2005) yayımladıkları çalışmalarında, erkek kolej atletlerinde 8 gün boyunca günlük 2 seans 1 MT %20'si kadar ağırlıkla KAK squat ve leg curl egzersizi programı sonucunda [208], Behringer ve ark. (2016) ise yayımladıkları çalışmalarında sprint koşucuları ile 6 hafta boyunca haftada 2 gün KAK 6 tekrar, 100 m en iyi sprint performansının %60-70 yoğunlukla sprint programı sonucunda USG ile hamstring kas kalınlığında kontrol grubuna göre anlamlı artış raporlamışlardır [213]. Çalışmamızda ise kas kütlesini değerlendirmeye yönelik USG ile kas kalınlığı ölçümleri yapılmış 6 haftalık düşük yoğunluklu FW leg curl egzersizi sonucunda KAK grubu ve kontrol grubunda kas kalınlığında anlamlı değişiklik görülmemiştir.

Literatürde araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda futbolcularda en çok yaralanan BFcl'de seri sarkomer sayısının azalması sonucu kısalmış kas lifi fasiküllerinin tekrar yaralanma riskini artırdığı belirlenmiştir [49]. Tekrar yaralanma riskini azaltmak için ise seri sarkomer sayısını artırarak kas lifi fasiküllerini uzatan eksantrik hamstring egzersiz programlarının koruyucu rehabilitasyon programı kapsamında uygulanması gerektiği savunulmaktadır [6, 15-17, 46-54, 153-156]. Timmins ve ark. (2015) yayımladıkları çalışmalarında, rekreasyonel olarak aktif ve hamstring kas yaralanması geçirmiş katılımcıların BFcl lifi fasikülü uzunluğunun, yaralanma geçirmemiş kontralateral ekstremitelerinden daha kısa olduğunu raporlamışlardır [125]. Kısalmış BFcl kas lifinin HKY için önemli bir risk teşkil ettiği bilinse de kesin mekanizması henüz tam olarak açıklanabilmiş değildir. NHE'nin koruyucu rehabilitasyon için kullanıldığı birçok çalışmada kas lifi uzunluğunu ve eksantrik hamstring kuvvetini artırdığı ve böylelikle HKY'yi azalttığı literatürde raporlanmıştır [3, 6, 41, 46, 174]. Çalışmamızda BFcl kas lifi uzunluğu hesaplanırken çalışmalarda en sık kullanılan ve literatürde yoğun atıf alan [171], ayrıca yeni model USG sistemleri ile panoramik görüntüler alıp kas lifinin tamamının görüntülenerek ölçümlendiği yöntemlerle de yüksek korelasyon gösteren [165] Blazeovich formülü kullanılmıştır.

Timmins ve ark. (2016) yayımladıkları çalışmalarında, BFcl lif uzunluğu 10.6 cm'den daha kısa olan futbolcuların 4 kat daha fazla HKY riski taşıdığını raporlamıştır [49]. Çalışmamızda BFcl lif uzunluğu KAK grubu için yaklaşık 9.5 cm'den 6 hafta sonunda 11 cm'ye, kontrol grubu için ise başlangıç ölçümü olan 10 cm'den 6 hafta sonunda 11.5 cm'ye uzamış; her iki grup için de yaklaşık 1.5 cm-%14'lük bir artış meydana gelmiştir. Yine Timmins ve ark. (2021) tarafından yayımlanan çalışmada iki gruba ayrılan futbol takımında bir gruba NHE, diğer gruba ise FW RDL egzersizi sezon boyunca koruyucu rehabilitasyon amacıyla uygulanmıştır. Sezon boyu tekrarlanan kas mimarisi ölçümlerinde her iki gruptaki katılımcıların da kas mimarisi parametreleri sezon boyunca değişkenlik göstermekle birlikte sezon sonu ölçümlerinde BFcl lif uzunluğunda her iki grupta da sezon öncesine göre anlamlı artış, pennasyon açısında azalma, kas kalınlığında ise anlamlı değişiklik meydana gelmemiştir [207]. Çalışmamızın sonuçlarına göre ise futbolcularda 6 haftalık KAK FW leg curl egzersizi sonrasında pennasyon açısında anlamlı azalma, lif uzunluğunda ise anlamlı artma meydana gelmiş; meydana gelen değişimlerde ise kontrol grubu ile anlamlı farklılık görülmemiştir. Buna göre çalışmamızda elde edilen sonuçlar, Timmins ve ark.'nın futbolcularla yürütmüş olduğu FW RDL ve NHE çalışma sonuçlarına benzerdir.

Çalışmamızda kullanılan silindirik tasarımlı FW ergometresi Timmins ve ark. tarafından da kullanılmış; RDL egzersizi için ise eylemsizlik momentini $0.05-0.075 \text{ kg.m}^2$ olarak ayarlamışlardır [207]. FW egzersizleri esnasında hamstring kas aktivasyonlarını incelediğimiz çalışmamızın sonuçlarına göre de FW RDL egzersizi de FW leg curl egzersizi gibi hamstring kasları için yüksek yoğunluktadır [204]. Bizim çalışmamızda kullandığımız FW leg curl egzersizi FW RDL egzersizine göre tek eklemli ve açık kinetik zincir egzersizi olduğu için eylemsizlik momentlerinin daha küçük ayarlamamız daha doğru bir yaklaşım olmuştur.

Joel Presland ve ark. (2020), sağlıklı erkek katılımcılara 6 hafta boyunca uyguladıkları FW leg curl egzersizi sonrasında BFel kas kalınlığında artma, pennasyon açısından büyüme, lif uzunluğunda ise artma meydana geldiğini raporlamıştır [214]. Presland ve ark.'nın sağlıklı erkek katılımcılarla yaptıkları çalışma sonuçları çalışmamızda elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında, kas kalınlığı artışı ve pennasyon açısından artışın uygulanan egzersiz yükü ile ilgili olduğu görülmektedir. Presland ve ark. 6 haftada farklı tasarımlı FW ergometresi (YoYo Technology AB, Stockholm, Sweden) ve daha büyük eylemsizlik momenti ile (1 kg.m^2) egzersiz hacmi ve yoğunluğu daha yüksek bir FW programı uygulamışlardır; dolayısıyla uygulanan bu yükün hipertrofi kazanımları sağlarken kas kalınlığını ve pennasyon açısını artırdığı açıktır.

KAK, FW egzersizleri ve performans: Literatürde araştırmacılar tarafından KAK ile sporcularda yapılmış çalışmalarda performansa yönelik sprint testleri, yaylanarak sıçrama (countermovement jump) testi, 505 agility testi, dikey sıçrama (vertical jump) testi, 20-m mekik koşusu (shuttle run) testi kullanılmıştır [196]. Sporcularla yapılan KAK egzersiz uygulamalarının performans değişimlerinin takip edildiği dört çalışmanın üçünde, performans testlerinin en az birisinde KAK uygulamalı program sonrasında kontrol grubuna istatistiksel olarak anlamlı üstünlük sağlanırken [205, 208, 210], diğer bir çalışmada anlamlı farklılık görülmemiştir [203]. Abe ve ark. (2005) yayımladıkları çalışmalarında erkek kolej atletlerinde 8 gün boyunca günlük 2 seans 1 MT %20'si kadar ağırlıkla KAK squat ve leg curl egzersizi programı sonucunda 10 ve 30 m sprint süresinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı gelişim raporlamıştır [208]. Cook ve ark. (2014) yayımladıkları çalışmalarında yarı profesyonel rugby sporcularında 3 hafta boyunca haftalık 3 seans 1 MT %70'i kadar ağırlıkla KAK leg squat, bench press ve pull ups egzersizleri programı sonucunda maksimum sprint süresi ve yaylanarak sıçrama testi sonuçlarında kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı gelişim raporlamıştır

[205]. Manimmanakorn ve ark. (2013) yayımladıkları çalışmalarında, kadın netbol oyuncularında 5 hafta boyunca haftada 3 gün 1 MT %20'si kadar ağırlıkla KAK leg curl egzersiz programı sonucunda 505 agility testi, dikey sıçrama testi, 20 m mekik koşusu testi, 5 m ve 10 m sprint sürelerinde kontrol grubuna göre gelişim raporlamıştır [210]. Scott ve ark. (2017) ise yayımladıkları çalışmalarında yarı profesyonel erkek futbolcularda rutin takım antrenmanlarına ek olarak KAK düşük dirençli squat egzersizini 5 hafta boyunca haftada 3 gün uygulamış; program sonucunda yaylanarak sıçrama ve farklı mesafelerdeki sprint sürelerinde anlamlı değişiklik olmadığını raporlamıştır [203]. Çalışmamızda ise fonksiyonel performansı değerlendirmeye yönelik TBHK ve TBHM testlerinde program sonucunda ilk değerlendirmelere göre her iki grupta da istatistiksel olarak anlamlı gelişim meydana gelmesine rağmen Δ değerlerinde KAK grubunda üstünlük meydana gelmemiştir. 30 m sprint testi süresinde ise her iki grupta da meydana gelen gelişimler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

FW egzersizlerinin futbolcular tarafından düzenli olarak yapıp sprint performanslarının raporlandığı çalışmalarda sonuçlar biraz çelişkilidir [8, 51, 54, 59, 126]. Coratella ve ark. (2019) tarafından yayımlanan çalışmada 8 haftalık FW squat egzersizi sonrasında 10 m ve 30 m sprint performansında değişiklik olmadığı raporlanmıştır [215]. Fiorilli ve ark. (2020) ise sahada futbola özgü fonksiyonel aksiyonları 6 hafta boyunca FW ergometresi ile birlikte uygulamış, sonuç olarak da 60 m doğrusal sprint test performansında artış raporlamıştır [216]. Timmins ve ark. (2021) tarafından yayımlanan çalışmada 35 haftalık FW egzersiz eğitiminden sonra, Suarres Arrones ve ark. (2018) tarafından yayımlanan çalışmada ise 27 haftalık FW egzersiz eğitiminden sonra maksimal ve doğrusal sprint performanslarında artışlar raporlanmıştır [207, 217]. De Hoyo ve ark. (2015) tarafından yayımlanan çalışmada da 0-10 m aralığında sprint performansında değişim olmazken, 10-20 m aralığında sprint performansında artış raporlanmış [15]; Askling ve ark. (2003) tarafından yayımlanan çalışmada 20-30 m arası performans artışının, 0-20 m arası performans artışından daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır [17]. Çalışmamız sonuçlarına göre 30 m sprint süresi her iki grup için de %2'lik bir kısalma meydana gelse de bu değişim istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Çalışmamızda raporlanan kuvvet ve performans çıktılarına göre eğitim öncesine kıyasla futbolcuların 6 hafta sonunda en fazla, tek bacak hamstring köprü (TBHK) performansı gelişim göstermiştir. KAK grubundaki futbolcular eğitim öncesine göre %70, kontrol grubundaki futbolcular ise %60 oranında daha fazla TBHK tekrarı performansı

gösterebilmiştir. Literatürde istemli olarak yapılabilecek maksimum tekrar sayısı ile raporlanan TBHK performansı, posterior uyluk kaslarının ekstremite simetri indekslerini (ESİ) karşılaştırmak [218, 219], fonksiyonel bir klinik test yapmak veya hamstring kaslarını monitörize etmek amaçlarıyla kullanılmıştır [177]. Rey Ezequiel ve ark. (2017) çalışmalarında 10 hafta boyunca, üç gruba ayırdıkları futbolculardan bir gruba NHE, diğer gruba Rus egzersiz kemeri ile gerçekleştirilen deadlift (*Russian belt exercise*) egzersizi yaptırırken, kontrol grubu sadece rutin takım antrenmanları ile takip edilmiş; eğitim sonu değerlendirmelerinde TBHK testi de kullanılmıştır [220]. Kontrol grubunda TBHK testinde değişiklik olmazken, egzersiz gruplarında yaklaşık %18-25 oranında ekstremiteelerde eğitim öncesine göre anlamlı artış belirlenmiş, egzersiz grupları ise birbirine üstünlük sağlayamamıştır [221]. Ben Macdonald ve ark. (2019), iki gruba ayırdıkları futbolcuları 6 hafta boyunca Tek Bacak Romen Sandalyesi Duruşu (*Single Leg Romanian Chair Hold*) egzersizi ve NHE ile takip etmişler ve program sonunda Tek Bacak Romen Sandalyesi Duruşu egzersizi yapan futbolcuların ekstremitelelerinde yaklaşık %16-23 aralığında TBHK testi performansında artış olduğunu, NHE grubunda ise anlamlı değişiklik olmadığını raporlamışlardır [221]. Literatürde TBHK testi, futbolcularda FW leg curl egzersizi eğitimi etkilerini değerlendirmek için ilk defa bizim çalışmamızda kullanılmıştır. Çalışmamızın sonuçlarına göre düşük yoğunluklu FW leg curl egzersizi, sporcunun TBHK performansını geliştirmede etkili bir egzersiz yöntemidir; KAK uygulaması ise bir miktar üstünlük sağlasa da bu üstünlük istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Çalışmamızda kullanılan TBHM testinin geçerli sayılabilmesi için sıçrama gerçekleştirildikten sonra yere inilen bölgede tek ayak üzerinde dengede kalma şartı vardır. Yere inme anından sonra dengenin sağlanabilmesi için merkezi sinir sistemi, vücut ağırlığının neden olduğu momenti kalça ekleminde fleksiyon meydana getirerek, bu kalça fleksiyonunu da hamstring kaslarını eksantrik kasarak kontrol etmektedir [222]. Eksantrik hamstring kuvveti arttıkça kalça ekleminde daha fazla fleksiyon meydana gelmekte ve sıçrama mesafesi de artmakta; eksantrik hamstring kuvveti yeterli olmadığında kalça ekleminde meydana gelen fleksiyon kontrol edilemeyeceği için ya daha küçük kalça fleksiyonu açısıyla daha kısa mesafeye sıçrama yapılmakta ya da denge sağlanamadığından test geçersiz olmaktadır [223]. Lennert Goossens ve ark. (2015), Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü'nde okuyan öğrencilerde yaptıkları çalışmalarının sonuçlarını regresyon analizi ile değerlendirmişler ve düşük eksantrik hamstring kuvveti, yüksek izometrik/eksantrik hamstring kuvveti oranı ve kısa TBHM testi sonuçlarının HKY ile

ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir [224]. Çalışmamızda TBHM performansında eğitim sonrasındaki mesafeler her iki grupta da istatistiksel olarak anlamlı olarak yaklaşık %8 oranında artmıştır. KAK uygulaması TBHM test sonuçlarında kontrol grubu karşısında bir miktar üstünlük sağlasa da bu üstünlük istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Özetle, literatürde 20 tekrarın altındaki TBHK performansı, kısa mesafe TBHM performansı, 280 N altı eksantrik diz fleksiyon kuvveti ve 10 cm'den kısa BFcl lif uzunluğu HKY açısından risk faktörü olarak belirlenmiştir. Futbolcularda sezon içerisinde düşük yoğunluklu FW leg curl egzersizi, rutin takım antrenmanlarına ek olarak KAK uygulaması olmaksızın haftada bir gün uygulansa dâhi bu risk faktörlerini 6 hafta sonunda sınır değerlerin üzerine çıkarabilmekte ve HKY riskini azaltabilmektedir.

5.1. Limitasyonlar

Bu çalışmada rutin takım antrenmanlarına KAK FW leg curl esnasında uygulamak ile ilgili bazı limitasyonlar bulunmaktadır. Çalışmanın birinci limitasyonu, futbolcuların sezon içerisindeki yoğun müsabaka ve antrenman takviminden dolayı akut/kronik iş yükü oranında ani değişimlere sebep olmamak adına, haftada 2 gün veya daha büyük eylemsizlik momentleri ile eğitimler yapılamamasıdır. Bir diğer limitasyon ise farklı yaş gruplarında antrenman yapan futbolcuların antrenman içeriği ile antrenman ve müsabaka takvimlerinin farklı olmasıdır. Futbolcuların o hafta maç oynayıp oynamama durumu ve bazı dönemlerde hafta içi oynanan müsabakalar, FW egzersizlerinin tüm katılımcılar için aynı gün ve saatte yapılmasına imkân tanımamaktadır. Bir diğer limitasyon ise FW leg curl egzersizinin konsantrik kontraksiyonu esnasında kas gövdesinin kısalıp kalınlaşarak proksimale doğru yer değiştirmesi sonucu KAK manşonunun kas gövdesini sıkıştırmak suretiyle egzersiz esnasında konforu azaltmasıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün kan akımı kısıtlama uygulamasıyla birlikte FW leg curl egzersizi yapan futbolcuların, herhangi bir uygulama olmadan aynı programı normal yapan futbolcularla kas mimarisi, hamstring kuvveti ve fonksiyonel performans çıktıları bakımından karşılaştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) FW leg curl egzersizinde teknik düzgün uygulandığı zaman küçük eylemsizlik momentlerinde bile her iki grupta eksantrik faz çıktıları konsantrik faz çıktılarından üzerindedir. FW leg curl egzersizi, eksantrik yüklenme sağlamaktadır. AOB %60 kadar basınçla KAK uygulaması esnasında manşonun meydana getirdiği basınç ve ağrı hissi egzersiz hacmi ve yoğunluğu arttıkça güç çıktıları düşürebilmektedir.
- 2) FW leg curl egzersizi rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün yapıldığında kas kalınlığında anlamlı değişiklik meydana getirmezken kas lifi boyunu artırmakta, pennasyon açısını ise azaltmaktadır. KAK uygulaması ise kas mimarisi değişimlerinde üstünlük sağlamamaktadır.
- 3) FW leg curl egzersizi rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün yapıldığında izometrik hamstring kuvvetinde ve eksantrik diz fleksiyon kuvvetinde anlamlı artışlar sağlamaktadır. KAK uygulaması ise kuvvet kazanımlarında üstünlük sağlamamaktadır.
- 4) FW leg curl egzersizi rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada 1 gün yapıldığında hamstring kas dayanıklılığını artırmakta, horizontal patlayıcı gücü geliştirmekte, 30 m sprint süresini kısaltmaktadır. KAK uygulaması fonksiyonel performans testlerinde üstünlük sağlamamaktadır.
- 5) FW leg curl egzersizi düşük eylemsizlik momentleri ile futbolcularda rutin takım antrenmanlarına ek olarak KAK gerek olmadan haftada bir gün dahi uygulansa, 6 haftada BFcl lif uzunluğunu ve eksantrik hamstring kuvvetini artırarak HKY riskini azaltabilir.

Yukarıdaki sonuçlara göre futbolcularda rutin takım antrenmanlarına ek olarak haftada en az bir gün FW leg curl egzersizi önemli kazanımlar sağlasa da KAK uygulaması üstünlük sağlamamaktadır. Bu sonuçlara göre çalışmanın başında belirlenen hipotezler reddedilmiştir.



KAYNAKLAR

1. O'Brien, J., and Finch, C. F. (2014). The implementation of musculoskeletal injury-prevention exercise programmes in team ball sports: a systematic review employing the RE-AIM framework. *Sports Medicine*, 44, 1305-1318.
2. Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., and McGuigan, M. (2017a). Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review. *Sports Medicine*, 47(5), 917-941.
3. Whyte, E. F., Heneghan, B., Feely, K., Moran, K. A., and O'Connor, S. (2021). The effect of hip extension and Nordic hamstring exercise protocols on hamstring strength: a randomized controlled trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(10), 2682-2689.
4. Lovell, R., Knox, M., Weston, M., Siegler, J. C., Brennan, S., and Marshall, P. W. (2018). Hamstring injury prevention in soccer: before or after training?. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(2), 658-666.
5. Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M., and Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 293.
6. Pedersen, H., Saeterbakken, A. H., Vagle, M., Fimland, M. S., and Andersen, V. (2020). Electromyographic comparison of flywheel inertial leg curl and nordic hamstring exercise among soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(1), 97-102.
7. Berg, H. E., and Tesch, A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviation, space, and environmental medicine*, 65(8), 752-756.
8. Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J., and de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(10), 943-951.
9. Tesch, P. A., Fernandez-Gonzalo, R., and Lundberg, T. R. (2017). Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo™) resistance exercise. *Frontiers in Physiology*, 8, 241.
10. Chiu, L. Z., and Salem, G. J. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 555-562.
11. Naczki, M., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J., Naczki, A., and Adach, Z. (2014). Training effectiveness of the inertial training and measurement system. *Journal of Human Kinetics*, 44, 19-28.
12. Wonders, J. (2019). Flywheel training in musculoskeletal rehabilitation: a clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(6), 994-1000.

13. Gual, G., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Romero-Rodríguez, D., and Tesch, P. A. (2016). Effects of in-season inertial resistance training with eccentric overload in a sports population at risk for patellar tendinopathy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1834-1842.
14. Ruffino, D., Malliaras, P., Marchegiani, S., and Campana, V. (2021). Inertial flywheel vs heavy slow resistance training among athletes with patellar tendinopathy: A randomised trial. *Physical Therapy in Sport*, 52, 30-37.
15. de Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., and Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 46-52.
16. Monajati, A., Larumbe-Zabala, E., Goss-Sampson, M., and Naclerio, F. (2016). The effectiveness of injury prevention programs to modify risk factors for non-contact anterior cruciate ligament and hamstring injuries in uninjured team sports athletes: a systematic review. *PloS One*, 11(5), 0155272.
17. Askling, C., Karlsson, J., and Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(4), 244-250.
18. Hegyi, A., Csala, D., Péter, A., Finni, T., and Cronin, N. J. (2019). High-density electromyography activity in various hamstring exercises. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(1), 34-43.
19. Clark, R., Bryant, A., Culgan, J. P., and Hartley, B. (2005). The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 67-73.
20. Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., and Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 33(1), 34-40.
21. Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y., and Bembien, M. G. (2010). The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 147-155.
22. Patterson, S. D., and Ferguson, R. A. (2011). Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *Journal of Aging and Physical Activity*, 19(3), 201-213.
23. Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., and Naimo, M. A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 3068-3075.

24. Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., and Bemben, M. G. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses*, 78(1), 151-154.
25. Laurentino, G. C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aoki, M. S., Soares, A. G., Manoel Neves, J. R., and Tricoli, V. (2012). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(3), 406-412.
26. Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., and Frandsen, U. (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *The Journal of Physiology*, 590(17), 4351-4361.
27. Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., and Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 61-65.
28. Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., and Abe, T. (2012). Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *Plos One*, 7(12), 52843.
29. Thiebaud, R. S., Yasuda, T., Loenneke, J. P., and Abe, T. (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine and Applied Science*, 5(2), 53-59.
30. Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceição, M. S., Damas, F. R., Lixandrão, M. E., Berton, R. P., and Ugrinowitsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 1071-1076.
31. Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceição, M. S., Damas, F., Cavaglieri, C. R., Chacon-Mikahil, M. P. T., and Ugrinowitsch, C. (2019). Low-intensity resistance training with partial blood flow restriction and high-intensity resistance training induce similar changes in skeletal muscle transcriptome in elderly humans. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(2), 216-220.
32. Dalton, S. L., Kerr, Z. Y., and Dompier, T. P. (2015). Epidemiology of hamstring strains in 25 NCAA sports in the 2009-2010 to 2013-2014 academic years. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2671-2679.
33. Ekstrand, J., Häggglund, M., and Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1226-1232.
34. Askling, C., Saartok, T., and Thorstensson, A. (2006). Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *British Journal of Sports Medicine*, 40(1), 40-44.

35. Opar, D. A., Drezner, J., Shield, A., Williams, M., Webner, D., Sennett, B., and Cronholm, P. F. (2014). Acute hamstring strain injury in track-and-field athletes: A 3-year observational study at the Penn Relay Carnival. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), 254-259.
36. Aiello, F., Di Claudio, C., Fanchini, M., Impellizzeri, F. M., McCall, A., Sharp, C., and Brown, S. J. (2023). Do non-contact injuries occur during high-speed running in elite football? Preliminary results from a novel GPS and video-based method. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 26(9), 465-470.
37. Jokela, A., Valle, X., Kosola, J., Rodas, G., Til, L., Burova, M., and Lempainen, L. (2023). Mechanisms of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: Video Analysis and Magnetic Resonance Imaging Findings. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 33(3), 217-224.
38. Malliaropoulos, N. G. (2012). Non contact Hamstring injuries in sports. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 2(4), 309-311.
39. O'Brien, J. (2017). Enhancing the implementation of injury prevention exercise programmes in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 51(20), 1507-1508.
40. Schache, A. G., Dorn, T. W., Blanch, P. D., Brown, N. A., and Pandy, M. G. (2012). Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(4), 647-658.
41. Bourne, M. N., Duhig, S. J., Timmins, R. G., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., and Shield, A. J. (2017). Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 469-477.
42. Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., and Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36-41.
43. Silvers-Granelli, H. J., Cohen, M., Espregueira-Mendes, J., and Mandelbaum, B. (2021). Hamstring muscle injury in the athlete: state of the art. *Journal of ISAKOS*, 6(3), 170-181.
44. Meeuwisse, W. H. (1994). Assessing causation in sport injury: a multifactorial model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4(3), 166-170.
45. Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., and Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *Br Journal Sports Medicine*, 46 (2), 81–85.
46. Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., Al Najjar, A., and Shield, A. J. (2016). Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports*, 26(6), 666-674.

47. Opar, D. A., Williams, M. D., Timmins, R. G., Hickey, J., Duhig, S. J., and Shield, A. J. (2015). Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(4), 857-865.
48. Orchard, J., Marsden, J., Lord, S., and Garlick, D. (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(1), 81-85.
49. Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., and Opar, D. A. (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1524-1535.
50. Cuthbert, M., Ripley, N., McMahon, J. J., Evans, M., Haff, G. G., and Comfort, P. (2020). The effect of Nordic hamstring exercise intervention volume on eccentric strength and muscle architecture adaptations: a systematic review and meta-analyses. *Sports Medicine*, 50, 83-99.
51. Gérard, R., Gojon, L., Decleve, P., and Van Cant, J. (2020). The effects of eccentric training on biceps femoris architecture and strength: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Athletic Training*, 55(5), 501-514.
52. Mjølunes, R., Arnason, A., Østhaen, T., Raastad, T., and Bahr, R. (2004). A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 311-317.
53. Ekstrand, J., Bengtsson, H., Waldén, M., Davison, M., Khan, K. M., and Hägglund, M. (2023). 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. *British Journal of Sports Medicine*, 57(5), 292-298.
54. Maniar, N., Carmichael, D. S., Hickey, J. T., Timmins, R. G., San Jose, A. J., Dickson, J., and Opar, D. (2023). Incidence and prevalence of hamstring injuries in field-based team sports: a systematic review and meta-analysis of 5952 injuries from over 7 million exposure hours. *British Journal of Sports Medicine*, 57(2), 109-116.
55. Muñoz-López, A., de Souza Fonseca, F., Ramírez-Campillo, R., Gantois, P., Nuñez, F. J., and Nakamura, F. Y. (2021). The use of real-time monitoring during flywheel resistance training programmes: how can we measure eccentric overload? A systematic review and meta-analysis. *Biology of Sport*, 38(4), 639-652.
56. Muñoz-López, A., Galiano, C., Nuñez, F. J., and Floría, P. (2022). The flywheel device shaft shape determines force and velocity profiles in the half squat exercise. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 15-25.
57. Martinez-Aranda, L. M., and Fernandez-Gonzalo, R. (2017). Effects of inertial setting on power, force, work, and eccentric overload during flywheel resistance exercise in women and men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1653-1661.

58. Fernandez-Gonzalo, R, Lundberg, TR, Alvarez-Alvarez, L, and de Paz, JA. (2014). Muscle damage responses and adaptations to eccentric overload resistance exercise in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 1075–1084.
59. Buonsenso, A., Centorbi, M., Iuliano, E., Di Martino, G., Della Valle, C., Fiorilli, G., and di Cagno, A. (2023). A Systematic Review of Flywheel Training Effectiveness and Application on Sport Specific Performances. *Sports*, 11(4), 76.
60. Petrescu, F., Apicella, A., Aversa, R., Petrescu, R. V., Calautit, J. K., Mirsayar, M. M., and Riccio, A. (2016). Something about the mechanical moment of inertia. *American Journal of Applied Sciences*, 13(11), 1085-1090.
61. Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., and Pereyra-Gerber, G. T. (2018). Influence of different inertial loads on basic training variables during the flywheel squat exercise *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13, 482–489.
62. Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., and Stone, M. H. (2019a). Implementing eccentric resistance training—part 1: a brief review of existing methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 38.
63. O'Brien, J., Browne, D., Earls, D., and Lodge, C. (2022). The efficacy of flywheel inertia training to enhance hamstring strength. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(1), 14.
64. Beato, M., Maroto-Izquierdo, S., Hernández-Davó, J. L., and Raya-González, J. (2021). Flywheel training periodization in team sports. *Frontiers in Physiology*, 12, 732802. 242.
65. Beato, M., and Dello Iacono, A. (2020). Implementing Flywheel (Isoinertial) Exercise in Strength Training: Current Evidence, Practical Recommendations, and Future Directions. *Frontiers in Physiology*, 11, 569.
66. Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., and Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine*, 45, 313-325.
67. Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., and König, D. (2019). Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 49, 95-108.
68. Pope, Z. K., Willardson, J. M., and Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926.
69. Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Bell, Z. W., and Loenneke, J. P. (2018). The application of blood flow restriction: lessons from the laboratory. *Current Sports Medicine Reports*, 17(4), 129-134.
70. Kubota, A., Sakuraba, K., Koh, S., Ogura, Y., and Tamura, Y. (2011). Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(2), 95-99.

71. Cook, S. B., Clark, B. C., and Ploutz-Snyder, L. L. (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1708-1713.
72. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., and Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533.
73. Brandner, C. R., May, A. K., Clarkson, M. J., and Warmington, S. A. (2018). Reported side-effects and safety considerations for the use of blood flow restriction during exercise in practice and research. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 114-121.
74. Kacin, A., and Strazar, K. (2011). Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), 231-241.
75. Rolnick, N., Kimbrell, K., and de Queiros, V. (2023). Beneath the cuff: Often overlooked and under-reported blood flow restriction device features and their potential impact on practice—A review of the current state of the research. *Frontiers in Physiology*, 14, 1089065.
76. Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., and Bembien, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2903-2912.
77. Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., and Loenneke, J. P. (2016). The influence of cuff width, sex, and race on arterial occlusion: implications for blood flow restriction research. *Sports Medicine*, 46, 913-921.
78. McEwen, J. A., Owens, J. G., and Jeyasurya, J. (2019). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation?. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39, 173-177.
79. Bielitzki, R., Behrendt, T., Behrens, M., and Schega, L. (2021). Current techniques used for practical blood flow restriction training: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(10), 2936-2951.
80. Brandner, C. R., Kidgell, D. J., and Warmington, S. A. (2015). Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), 770-777.
81. Younger, A. S., McEwen, J. A., and Inkpen, K. (2004). Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet pressures. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 428, 286-293.
82. Van Roekel, H. E., and Thurston, A. J. (1985). Tourniquet pressure: the effect of limb circumference and systolic blood pressure. *Journal of Hand Surgery (Edinburgh, Scotland)*, 10(2), 142-144.
83. Goldberg, A. L., Etlinger, J. D., Goldspink, D. F., and Jablecki, C. (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 185-198.

84. Schoenfeld, B. J., Aragon, A. A., and Krieger, J. W. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 53.
85. Zou, K., Meador, B. M., Johnson, B., Huntsman, H. D., Mahmassani, Z., Valero, M. C., and Boppart, M. D. (2011). The $\alpha 7\beta 1$ -integrin increases muscle hypertrophy following multiple bouts of eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 111(4), 1134-1141.
86. Goldspink, G. (1998). Cellular and molecular aspects of muscle growth, adaptation and ageing. *Gerodontology*, 15(1), 35-43.
87. Adams, G. R. (2002). Invited Review: Autocrine/paracrine IGF-I and skeletal muscle adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 1159-1167.
88. Tatsumi, R., Liu, X., Pulido, A., Morales, M., Sakata, T., Dial, S., and Allen, R. E. (2006). Satellite cell activation in stretched skeletal muscle and the role of nitric oxide and hepatocyte growth factor. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 290(6), 1487-1494.
89. Uchiyama, S., Tsukamoto, H., Yoshimura, S., and Tamaki, T. (2006). Relationship between oxidative stress in muscle tissue and weight-lifting-induced muscle damage. *Pflügers Archiv*, 452, 109-116.
90. Cook, S. B., Murphy, B. G., and Labarbera, K. E. (2013). Neuromuscular function after a bout of low-load blood flow-restricted exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 67-74.
91. Magora, A., Blank, A., and Gonen, B. (1980). Effects of artificially induced ischemia (AII) on the electrophysiological pattern of muscular fatigue in healthy humans. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 20(2), 125-140.
92. Ge, W., and Khalsa, P. S. (2003). Encoding of compressive stress during indentation by group III and IV muscle mechano-nociceptors in rat gracilis muscle. *Journal of Neurophysiology*, 89(2), 785-792.
93. Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., and Tsutsui, H. (2009). Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1119-1124.
94. Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., and Suzuki, Y. (2012). Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 611-617.
95. Sjogaard, G., Adams, R. P., and Saltin, B. (1985). Water and ion shifts in skeletal muscle of humans with intense dynamic knee extension. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 248(2), R190-R196.
96. Lang, F., Busch, G. L., Ritter, M., Volkl, H., Waldegger, S., Gulbins, E., and Haussinger, D. (1998). Functional significance of cell volume regulatory mechanisms. *Physiological Reviews*, 78(1), 247-306.

97. Grant, A. C. G., Gow, I. F., Zammit, V. A., and Shennan, D. B. (2000). Regulation of protein synthesis in lactating rat mammary tissue by cell volume. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1475(1), 39-46.
98. Zhou, X., Naguro, I., Ichijo, H., and Watanabe, K. (2016). Mitogen-activated protein kinases as key players in osmotic stress signaling. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1860(9), 2037-2052.
99. Dangott, B., Schultz, E., and Mozdziak, P. E. (2000). Dietary creatine monohydrate supplementation increases satellite cell mitotic activity during compensatory hypertrophy. *International Journal of Sports Medicine*, 21(01), 13-16.
100. Pearson, S. J., and Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine*, 45, 187-200.
101. Christiansen, T. M., and Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(2), 78-85.
102. Werner, H., Weinstein, D., and Bentov, I. (2008). Similarities and differences between insulin and IGF-I: structures, receptors, and signalling pathways. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 114(1), 17-22.
103. Akin, S., Özerkliğ, B., Türkel, İ., and Demirel, H. (2019). İskelet kas kütlesini düzenleyen moleküler mekanizmalar. *Spor Hekimliği Dergisi*, 54(2), 133-142.
104. Gundermann, D. M., Walker, D. K., Reidy, P. T., Borack, M. S., Dickinson, J. M., Volpi, E., and Rasmussen, B. B. (2014). Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 306(10), 1198-1204.
105. Manini, T. M., Vincent, K. R., Leeuwenburgh, C. L., Lees, H. A., Kavazis, A. N., Borst, S. E., and Clark, B. C. (2011). Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise. *Acta Physiologica*, 201(2), 255-263.
106. van der Horst, N. (2017). *Prevention of hamstring injuries in male soccer: Exercise programs and return to play*. Doctoral Dissertation, Utrecht University, Hollanda Sayfa no 10.
107. Timmins, R., Woodley, S., Shield, A., and Opar, D. (2020). Anatomy of the Hamstrings. *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries*, 1-30.
108. Woodley, S.J., and Mercer, S.R. (2005). Hamstring muscles: architecture and innervation. *Cells Tissues Organs*, 179(3), 125-141.
109. Gilroy, A. M., MacPherson, B. R., Ross, L. M., Broman, J., and Josephson, A. (Eds.). (2008). *Atlas of Anatomy*, Stuttgart: Thieme, 408-430.
110. van der Made, A. D., Wieldraaijer, T., Kerkhoffs, G. M., Kleipool, R. P., Engebretsen, L., Van Dijk, C. N., and Golanó, P. (2015). The hamstring muscle complex. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(7), 2115-2122.

111. Ivan, Z. (2012). Anatomy, physiology and biomechanics of hamstrings injury in football and effective strength and flexibility exercises for its prevention. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(1), 208-217.
112. Bourne, M., Opar, D.A., Williams, M., and Shield, A.J. (2015). Eccentric knee-flexor strength and hamstring 651 injury risk in rugby union: A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2663- 2670.
113. Heiderscheit, B. C., Hoerth, D. M., Chumanov, E. S., Swanson, S. C., Thelen, B. J., and Thelen, D. G. (2005). Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: a case study. *Clinical Biomechanics*, 20(10), 1072-1078.
114. Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., and Pandy, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait & posture*, 29(2), 332-338.
115. Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Best, T. M., Swanson, S. C., and Heiderscheit, B. C. (2005). Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(11), 1931-1938.
116. Buckingham, M., Bajard, L., Chang, T., Daubas, P., Hadchouel, J., Meilhac, S., Montarras, D., Rocancourt, D., and Relaix, F. (2003). The formation of skeletal muscle: from somite to limb. *Journal of Anatomy*, 202(1), 59-68.
117. Hammond, J. D. (2023). Essentials of Embryology for the Musculoskeletal System. In *Orthopaedics for the Newborn and Young Child: A Practical Clinical Guide*. Cham: Springer International Publishing, 3-17.
118. Hirasawa, T., and Kuratani, S. (2015). Evolution of the vertebrate skeleton: morphology, embryology, and development. *Zoological Letters*, 1(1), 1-17.
119. Sammer, D. M., and Chung, K. C. (2009). Tendon transfers part I: principles of transfer and transfers for radial nerve palsy. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 123(5), 169-177.
120. Firat, T. (2020). *Architecture of muscle tissue and its adaptation to pathological conditions*. Comparative Kinesiology of the Human Body: Elsevier, 101-13.
121. Firat, T. (2019). Fizyoterapide kas mimari temelli yaklaşımlar. In F. Erbahçeci (Ed.). *Temel fizyoterapi rehabilitasyon*. Ankara: Türkiye: Hipokrat Yayınevi, 957-965.
122. Jorgenson, K. W., Phillips, S. M., and Hornberger, T. A. (2020). Identifying the structural adaptations that drive the mechanical load-induced growth of skeletal muscle: a scoping review. *Cells*, 9(7), 1658.
123. Lee, D., Li, Z., Sohail, Q.Z., Jackson, K., Fiume, E., and Agur, A. (2015). A three-dimensional approach to pennation angle estimation for human skeletal muscle. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 18(13), 1474-1484.
124. Randell, R. K., Clifford, T., Drust, B., Moss, S. L., Unnithan, V. B., De Ste Croix, M. B., and Rollo, I. (2021). Physiological characteristics of female soccer players and health and performance considerations: a narrative review. *Sports Medicine*, 51, 1377-1399.

125. Timmins, R., Shield, A., Williams, M., Lorenzen, C., and Opar, D. (2015). Biceps femoris longhead architecture: a reliability and retrospective injury study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(5), 905-913.
126. Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., and Opar, D. A. (2016). Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1467-1472.
127. Gaspar, B. L., Vasishta, R. K., Radotra, B. D., Gaspar, B. L., Vasishta, R. K., and Radotra, B. D. (2019). Introduction to Normal Skeletal Muscle: Anatomy, Physiology, Histology, and Ultrastructure. *Myopathology: A Practical Clinico-pathological Approach to Skeletal Muscle Biopsies*, 1-10.
128. Chen, H. H., Chen, W. P., Yan, W. L., Huang, Y. C., Chang, S. W., Fu, W. M. Su, M.J., Yu, S., Tsai, T.C., Yan, Y.T., Tsao, Y.P., and Chen, S. L. (2015). NRIP is newly identified as a Z-disc protein, activating calmodulin signaling for skeletal muscle contraction and regeneration. *Journal of Cell Science*, 128(22), 4196-4209.
129. Fridén, J., and Lieber, R. L. (1998). Segmental muscle fiber lesions after repetitive eccentric contractions. *Cell and Tissue Research*, 293, 165-171.
130. Linke, W. A. (2018). Titin gene and protein functions in passive and active muscle. *Annual Review of Physiology*, 80, 389-411.
131. Lieber, R. L., and Fridén, J. (2001). Clinical significance of skeletal muscle architecture. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 383, 140-151.
132. Cronin, K., Foley, S., Cournane, S., De Vito, G., and Delahunt, E. (2022). Hamstring muscle architecture assessed sonographically using wide field of view: A reliability study. *PloS One*, 17(11), e0277400.
133. Kellis, E., Galanis, N., Kapetanios, G., and Natsis, K. (2012). Architectural differences between the hamstring muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 520-526.
134. Schiphof-Godart, L., and Hettinga, F. J. (2017). Passion and pacing in endurance performance. *Frontiers in Physiology*, 8, 83.
135. Saragiotto, B. T., Di Pierro, C., and Lopes, A. D. (2014). Risk factors and injury prevention in elite athletes: a descriptive study of the opinions of physical therapists, doctors and trainers. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 18(2), 137-143.
136. Palmer, W. E., Kuong, S. J., and Elmadbouh, H. M. (1999). MR imaging of myotendinous strain. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 173(3), 703-709.
137. Mueller-Wohlfahrt, H. W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., and Ueblicher, P. (2013). Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 342-350.

138. Brandser, E. A., El-Khoury, G. Y., Kathol, M. H., Callaghan, J. J., and Tearse, D. S. (1995). Hamstring injuries: radiographic, conventional tomographic, CT, and MR imaging characteristics. *Radiology*, 197(1), 257-262.
139. Beggs, I. (2003). Sonography of muscle hernias. *American Journal of Roentgenology*, 180(2), 395-399.
140. Miller, T. M., and Layzer, R. B. (2005). Muscle cramps. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 32(4), 431-442.
141. Windisch, A., Reitingner, A., Traxler, H., Radner, H., Neumayer, C., Feigl, W., and Firbas, W. (1999). Morphology and histochemistry of myogelosis. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, 12(4), 266-271.
142. Schmikli, S. L., De Vries, W. R., Inklaar, H., and Backx, F. J. (2011). Injury prevention target groups in soccer: injury characteristics and incidence rates in male junior and senior players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 199-203.
143. Ekstrand, J., Timpka, T., and Häggglund, M. (2006). The risk for injury when playing elite football on artificial turf versus natural grass-a prospective two-cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 975-980.
144. Ekstrand, J., Häggglund, M., and Waldén, M. (2009). Injury incidence and injury patterns in professional football-the UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 553-558.
145. Van Beijsterveldt AMC, Stubbe JH, Schmikli SL, et al. Differences in injury risk and characteristics between Dutch amateur and professional soccer players. *J Sci Med Sport* 2015;18(2):145-149.
146. Kordi, R., Hemmati, F., Heidarian, H., and Ziaee, V. (2011). Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on dirt field and artificial turf field by amateur football players. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 3, 1-6.
147. Häggglund, M., Waldén, M., and Ekstrand, J. (2006). Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *British Journal of Sports Medicine*, 40(9), 767-772.
148. Häggglund, M., Waldén, M., and Ekstrand, J. (2013). Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(2), 327-335.
149. Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., and Thelen, D. G. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 67-81.
150. Ropiak, C. R., and Bosco, J. A. (2012). Hamstring injuries. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*, 70(1), 41.

151. Hickey, J., Shield, A. J., Williams, M. D., and Opar, D. A. (2014). The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 729-730.
152. Sadigursky, D., Braid, J. A., De Lira, D. N. L., Machado, B. A. B., Carneiro, R. J. F., and Colavolpe, P. O. (2017). The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9(1), 1-8.
153. Askling, C. M., Tengvar, M., & Thorstensson, A. (2013). Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *British Journal of Sports Medicine*, 47(15), 953-959.
154. Tsaklis, P., Malliaropoulos, N., Mendiguchia, J., Korakakis, V., Tsapralis, K., Pyne, D., and Malliaras, P. (2015). Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 209-217.
155. Guruhan, S., Kafa, N., Ecemis, Z. B., ve Guzel, N. A. (2021). Muscle activation differences during eccentric hamstring exercises. *Sports Health*, 13(2), 181-186.
156. van den Tillaar, R., Solheim, J. A. B., and Bencke, J. (2017). Comparison of hamstring muscle activation during high-speed running and various hamstring strengthening exercises. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(5), 718-727.
157. Martín-San Agustín, R., Castillo-Ballesta, L., Llobat Sancho, J., Esbri-Navarro, R., and Sánchez-Barbadora, M. (2022). Comparison of electromyographic activity during hip extension exercises under gravitational or inertial loading conditions. *Sports Health*, 14(2), 246-253.
158. Norris, C. M., and Matthews, M. (2005). Inter-tester reliability of a self-monitored active knee extension test. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 9(4), 256-259.
159. Taş, S., Aktaş, A., Dikici, T. F., and Çekok, F. K. (2023). Achilles tendon, patellar tendon, and femoral cartilage thickness in control vs asymptomatic flatfoot young adults. *Foot & Ankle International*, 44(1), 81-88.
160. Taş, S., Ünlüer, N. Ö., ve Çetin, A. (2020). Thickness, cross-sectional area, and stiffness of intrinsic foot muscles affect performance in single-leg stance balance tests in healthy sedentary young females. *Journal of Biomechanics*, 99, 109530.
161. Taş, S. (2018). Effect of gender on mechanical properties of the plantar fascia and heel fat pad. *Foot & Ankle Specialist*, 11(5), 403-409.
162. Taş, S., Ünlüer, N. Ö., ve Tonga, E. (2018). Effect of age, gender and anthropometric variables on morphological and mechanical properties of foot intrinsic muscles in asymptomatic individuals. *Journal of Exercise Therapy & Rehabilitation*, 5, 81.
163. Taş, S., Ünlüer, N. Ö., ve Korkusuz, F. (2018). Morphological and mechanical properties of plantar fascia and intrinsic foot muscles in individuals with and without flat foot. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 26(3), 2309499018802482.

164. Taş, S., Bek, N., Ruhi Onur, M., ve Korkusuz, F. (2017). Effects of body mass index on mechanical properties of the plantar fascia and heel pad in asymptomatic participants. *Foot & Ankle International*, 38(7), 779-784.
165. Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V., and Csapo, R. (2018). Muscle architecture assessment: strengths, shortcomings and new frontiers of in vivo imaging techniques. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 44(12), 2492-2504.
166. Baroni, B. M., Geremia, J. M., Rodrigues, R., Borges, M. K., Jinha, A., Herzog, W., and Vaz, M. A. (2013). Functional and morphological adaptations to aging in knee extensor muscles of physically active men. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(5), 535-542.
167. Willems, L., Vermeulen, J., Wiegerinck, A., Fekkes, S., Reijnen, M., Warlé, M., and Thijssen, D. (2023). Construct validity and reproducibility of handheld ultrasound devices in carotid artery diameter measurement. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(3), 866-874.
168. İnternet: USG cihazı. (t.y.). MicrUS Ext-1H ultrasonographic system. URL: <http://www.telemedultrasound.com>, adresinden 11 Kasım 2023'te alınmıştır.
169. Klimstra, M., Dowling, J., Durkin, J. L., and MacDonald, M. (2007). The effect of ultrasound probe orientation on muscle architecture measurement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(4), 504-514.
170. Kellis, E., Galanis, N., Natsis, K., and Kapetanios, G. (2009). Validity of architectural properties of the hamstring muscles: correlation of ultrasound findings with cadaveric dissection. *Journal of Biomechanics*, 42(15), 2549-2554.
171. Blazeovich, A. J., Gill, N. D., and Zhou, S. (2006). Intra-and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289-310.
172. Brusco, C. M., Pinto, R. S., and Blazeovich, A. J. (2022). Reliability and Comparison of Sonographic Methods for In Vivo Measurement of Human Biceps Femoris Long-head Architecture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(12), 2216-2226.
173. Karagiannopoulos, C., Griech, S., and Leggin, B. (2022). Reliability and validity of the ActivForce Digital Dynamometer in assessing shoulder muscle force across different user experience levels. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(4), 669.
174. Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D., and Shield, A. J. (2013). A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: a reliability and retrospective injury study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(9), 636-640.
175. Ross, M. D., Langford, B., and Whelan, P. J. (2002). Test-retest reliability of 4 single-leg horizontal hop tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(4), 617-622.
176. Swearingen, J., Lawrence, E., Stevens, J., Jackson, C., Waggy, C., and Davis, D. S. (2011). Correlation of single leg vertical jump, single leg hop for distance, and single leg hop for time. *Physical Therapy in Sport*, 12(4), 194-198.

177. Freckleton, G., Cook, J., and Pizzari, T. (2013). The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian Rules Football Players. *British Journal of Sports Medicine*, 48, 675-676.
178. Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288.
179. Centner, C., Ritzmann, R., Schur, S., Gollhofer, A., and König, D. (2019). Blood flow restriction increases myoelectric activity and metabolic accumulation during whole-body vibration. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 1439-1449.
180. Ferraz, R. B., Gualano, B., Rodrigues, R. E., Kurimori, C. O., Fuller, R., Lima, F. R., and Roschel, H. (2018). Benefits of resistance training with blood flow restriction in knee osteoarthritis. *American College of Sports Medicine*, 50(5), 897-905.
181. Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marin, P. J., Zourdos, M. C., and Bembien, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 1849-1859.
182. Weatherholt, A. M., VanWye, W. R., Lohmann, J., and Owens, J. G. (2019). The effect of cuff width for determining limb occlusion pressure: a comparison of blood flow restriction devices. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 136.
183. Counts, B. R., Dankel, S. J., Barnett, B. E., Kim, D., Mouser, J. G., Allen, K. M., and Loenneke, J. P. (2016). Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle & Nerve*, 53(3), 438-445.
184. Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., and Stone, M. H. (2019b). Implementing eccentric resistance training—part 2: practical recommendations. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(3), 55.
185. Karaca, İ., Güzel, N. A., ve Demir, E. (2023). Hamstring muscle activation during the flywheel exercises. *Journal of Orthopedics Research and Rehabilitation*, 1(4), 75-80.
186. de Keijzer, K. L., McErlain-Naylor, S. A., and Beato, M. (2022). The effect of flywheel inertia on peak power and its inter-session reliability during two unilateral hamstring exercises: leg curl and hip extension. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 190.
187. Carroll, K. M., Wagle, J. P., Sato, K., Taber, C. B., Yoshida, N., Bingham, G. E., and Stone, M. H. (2019). Characterising overload in inertial flywheel devices for use in exercise training. *Sports Biomechanics*, 18(4), 390-401.
188. Bourne, M. N., Timmins, R. G., Opar, D. A., Pizzari, T., Ruddy, J. D., Sims, C., and Shield, A. J. (2018). An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. *Sports Medicine*, 48, 251-267.
189. Soligon, S. D., Lixandrão, M. E., Biazon, T. M. P. C., Angleri, V., Roschel, H., and Libardi, C. A. (2018). Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiology International*, 105(3), 276-284.

190. Suga, T., Dora, K., Mok, E., Sugimoto, T., Tomoo, K., Takada, S., and Isaka, T. (2021). Exercise adherence-related perceptual responses to low-load blood flow restriction resistance exercise in young adults: A pilot study. *Physiological Reports*, 9(23), e15122.
191. Suga, N., Kimbrell, K., Cerqueira, M. S., Weatherford, B., and Brandner, C. (2021). Perceived barriers to blood flow restriction training. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 2, 14.
192. Cohen, J. (1992). Quantitative methods in psychology: A power primer. *Psychol Bull*, 112, 1155-1159.
193. Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., and Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research Methods*, 39(2), 175-191.
194. Piqueras-Sanchiz, F., Sabido, R., Raya-González, J., Madruga-Parera, M., Romero-Rodríguez, D., Beato, M., and Hernández-Davó, J. L. (2020). Effects of different inertial load settings on power output using a flywheel leg curl exercise and its inter-session reliability. *Journal of Human Kinetics*, 74(1), 215-226.
195. Galiano, C., Floria Martín, P., Muñoz López, A., and Núñez Sánchez, F. J. (2021). Lack of experience in the use the rotational inertia device is a limitation to mechanical squat performance. *Retos*, 42, 12–17.
196. Wortman, R. J., Brown, S. M., Savage-Elliott, I., Finley, Z. J., and Mulcahey, M. K. (2021). Blood flow restriction training for athletes: A systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, 49(7), 1938-1944.
197. Lauver, J. D., Cayot, T. E., Rotarius, T., and Scheuermann, B. W. (2017). The effect of eccentric exercise with blood flow restriction on neuromuscular activation, microvascular oxygenation, and the repeated bout effect. *European Journal of Applied Physiology*, 117(5), 1005-1015.
198. Lauver, J. D., Cayot, T. E., Rotarius, T. R., and Scheuermann, B. W. (2020). Acute Neuromuscular and Microvascular Responses to Concentric and Eccentric Exercises With Blood Flow Restriction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2725–2733.
199. Behringer, M., Heinke, L., Leyendecker, J., & Mester, J. (2018). Effects of blood flow restriction during moderate-intensity eccentric knee extensions. *The journal of physiological sciences*, 68(5), 589-599.
200. Cormie, P., McGuigan, M. R., and Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1—Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 41, 17-38.
201. Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., and McGuigan, M. (2017b). Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Medicine*, 47, 663-675.
202. Yamanaka, T., Farley, R.S., and Caputo, J.L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in Division IA football players. *Journal Strength Cond Res*, 26(9), 2523-2529.

203. Scott, B. R., Peiffer, J. J., and Goods, P. S. (2017). The effects of supplementary low-load blood flow restriction training on morphological and performance-based adaptations in team sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(8), 2147-2154.
204. Luebbers, P. E., Fry, A. C., Kriley, L. M., and Butler, M. S. (2014). The effects of a 7-week practical blood flow restriction program on well-trained collegiate athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2270-2280.
205. Cook, C. J., Kilduff, L. P., and Beaven, C. M. (2014). Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 166-172.
206. Stojanović, M. D., Mikić, M., Drid, P., Calleja-González, J., Maksimović, N., Belegišanin, B., and Sekulović, V. (2021). Greater power but not strength gains using flywheel versus equivolumed traditional strength training in junior basketball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1181.
207. Timmins, R. G., Filopoulos, D., Nguyen, V., Giannakis, J., Ruddy, J. D., Hickey, J. T., Maniar, N., and Opar, D. A. (2021). Sprinting, Strength, and Architectural Adaptations Following Hamstring Training in Australian Footballers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(6), 1276–1289.
208. Abe, T., Kawamoto, K., Yasuda, T., CF, K., Midorikawa, T., and Sato, Y. (2005). Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 19-23.
209. Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., de Souza, E. O., Machado, M., Dudeck, J. E., and Wilson, J. M. (2014). Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(4), 317-321.
210. Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., and Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and Medicine In Sport*, 16(4), 337-342.
211. Sakuraba, K., and Ishikawa, T. (2009). Effect of isokinetic resistance training under a condition of restricted blood flow with pressure. *Journal of Orthopaedic Science*, 14(5), 631-639.
212. Takarada, Y., Sato, Y., and Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 86, 308-314.
213. Behringer, M., Behlau, D., Montag, J. C., McCourt, M. L., and Mester, J. (2017). Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(9), 2462-2472.

214. Presland, J. D., Opar, D. A., Williams, M. D., Hickey, J. T., Maniar, N., Dow, C. L., and Timmins, R. G. (2020). Hamstring strength and architectural adaptations following inertial flywheel resistance training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(11), 1093-1099.
215. Coratella, G., Beato, M., Cè, E., Scurati, R., Milanese, C., Schena, F., and Esposito, F. (2019). Effects of in-season enhanced negative work-based vs traditional weight training on change of direction and hamstrings-to-quadriceps ratio in soccer players. *Biology of Sport*, 36(3), 241-248.
216. Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., Buonsenso, A., and di Cagno, A. (2020). Isoinertial eccentric-overload training in young soccer players: Effects on strength, sprint, change of direction, agility and soccer shooting precision. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 213.
217. Suarez-Arrones, L., Saez de Villarreal, E., Núñez, F. J., Di Salvo, V., Petri, C., Buccolini, A., and Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *PloS one*, 13(10), e0205332.
218. Fernandez-Gonzalo, R., Tesch, P. A., Linnehan, R. M., Kreider, R. B., Di Salvo, V., Suarez-Arrones, L., Alomar, X., Mendez-Villanueva, A., and Rodas, G. (2016). Individual muscle use in hamstring exercises by soccer players assessed using functional MRI. *International Journal of Sports Medicine*, 37, 559-564.
219. Häggglund, M., Waldén, M., and Ekstrand, J. (2009). Injuries among male and female elite football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(6), 819-827.
220. Rey, E., Paz-Domínguez, Á., Porcel-Almendral, D., Paredes-Hernández, V., Barcala-Furelos, R., and Abelairas-Gómez, C. (2017). Effects of a 10-week Nordic hamstring exercise and Russian belt training on posterior lower-limb muscle strength in elite junior soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(5), 1198-1205.
221. Macdonald, B., O'Neill, J., Pollock, N., and Van Hooren, B. (2019). Single-leg roman chair hold is more effective than the Nordic hamstring curl in improving hamstring strength-endurance in Gaelic footballers with previous hamstring injury. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(12), 3302-3308.
222. Augustsson, J., Thomeé, R., Lindén, C., Folkesson, M., Tranberg, R., and Karlsson, J. (2006). Single-leg hop testing following fatiguing exercise: Reliability and biomechanical analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 111-120.
223. Van der Harst, J. J., Gokeler, A., and Hof, A. L. (2007). Leg kinematics and kinetics in landing from a single-leg hop for distance. A comparison between dominant and non-dominant leg. *Clinical Biomechanics*, 22(6), 674-680.
224. Goossens, L., Witvrouw, E., Vanden Bossche, L., and De Clercq, D. (2015). Lower eccentric hamstring strength and single leg hop for distance predict hamstring injury in PETE students. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 436-442.



EK-1. Etik Komisyon Onayı

Evrak Tarih ve Sayısı: 22.06.2023-E.687649



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Etik Komisyonu

Sayı : E-77082166-302.08.01-687649
Konu : Bilimsel ve Eğitim Amaçlı

22.06.2023

Dağıtım Yerlerine

Daha önce 07.10.2021 tarih ve E.186439 sayılı yazımız ile onay alan 2021-908 kod numaralı, Üniversitemiz Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı **Doktora Öğrencisi İbrahim KARACA'nın**, Üniversitemiz Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoloji ve Rehabilitasyon Bölümü Öğretim Üyesi **Prof.Dr.Nevin Aysel GÜZEL** ve Alanya Hamdullah Emin Paşa Üniversitesi **Dr. Öğr. Üyesi Erdem DEMİR'in** danışmanlığında yürüttüğü, araştırmacı grubu Nevin Aysel GÜZEL, Erdem DEMİR, İbrahim KARACA, Önder GEBEDEK'ten oluşan "**Futbolcularda Kan Akımı Kısıtlamalı Flywheel Egzersizinin Nöromuskuler Kas Aktivasyonu, Kas Mimarisi ve Fonksiyonel Performans Üzerine Etkileri**" başlıklı tez çalışması hakkında ilgililerden alınan 05.06.2023 tarihli dilekçe Komisyonumuzun **20.06.2023** tarih ve **12** sayılı toplantısında görüşülmüş olup,

Dilekçede; çalışmanın kas aktivasyonu ölçümlerinde kullanılacak BTS bioengineering firmasına ait FreeEMG RT yüzeyel elektromiyografi cihazında meydana gelen teknik arıza nedeniyle, elektromiyografi ölçümleri yapılamadığından araştırmacı grubundan Dr. Öğr. Üyesi Erdem DEMİR'in çıkarılması ile kas aktivasyonu ölçümlerinin de yöntemden çıkarılarak tez başlığının "**Futbolcularda Kan Akımı Kısıtlamalı Flywheel Egzersizinin Kas Mimarisi ve Fonksiyonel Performans Üzerine Etkileri**" olarak değiştirilmesi ile ilgili talebin uygun olduğuna oybirliği ile karar verilmiş ve karara ilişkin imza listesi ekte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof. Dr. İsmail KARAKAYA
Komisyon Başkanı

Ek:1 Liste
DAĞITIM
Gereği:
Sayın Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL

Bilgi:
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Belge Doğrulama Kodu :BSUF848MHZ

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/gazi-universitesi-ebys>

Emniyet Mahallesi Bandırma Caddesi No :6/1 06560 Yenimahalle/ANKARA
Tel:0 (312) 202 20 57 - 0 (312) 2... Faks:0 (312) 202 38 76
İnternet Adresi :http://etikkomisyon.gazi.edu.tr/
Kep Adresi: gaziuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için :Nursel Güner
Genel Evrak Sorumlusu
Telefon No:202 20 57



Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

EK-1. (devam) Etik Komisyon Onayı

Evrak Tarih ve Sayısı: 22.06.2023-E.68/649	GAZİ ÜNİVERSİTESİ ETİK KOMİSYONU KATILIM LİSTESİ
--	---

TOPLANTI TARİHİ : 20.06.2023		TOPLANTI SAYISI : 12	
ADI – SOYADI		İMZA	
Prof. Dr. İsmail KARAKAYA BAŞKAN			
Prof.Dr.C.Haluk BODUR			
Prof.Dr.Seçil ÖZKAN			
Prof.Dr.Cevriye TEMEL GENCER			
Prof.Dr.İlkay ULUTAŞ			
Prof.Dr.Aymelek GÖNENÇ			
Prof.Dr.Kemalettin DENİZ			
Prof.Dr.Makbule GEZMEN KARADAĞ			
Prof.Dr.Zehra GÖÇMEN BAYKARA			
Prof.Dr.İlyas OKUR			
Prof.Dr.Nihan KAFA			
Doç.Dr.Melek Gülşah ŞAHİN			
Doç.Dr. Gökhan DELİCEOĞLU			
Doç.Dr.Elvan İNCE AKA			

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

EK-2. Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu



T.C.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

ETİK KOMİSYONU

KATILIMCILAR İÇİN BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

Futbolcularda sahada görülen en sık spor yaralanması olan hamstring (arka adele) yaralanmalarını daha detaylı incelemek için bir araştırma planladık ve sizi, Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'ndan tarih / sayı ile izin alınan ve **Prof. Dr. Nevin A. Güzel ile Uzm. Fzt. İbrahim KARACA** tarafından yürütülen “Futbolcularda Kan Akımı Kısıtlamalı Flywheel Egzersizin Kas Mimarisi ve Fonksiyonel Performans Üzerine Etkileri” başlıklı araştırmaya davet ediyoruz. Bu çalışmaya katılmak tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır. Bizim çalışmamızda 44 futbolcu rastgele olarak 2 gruba ayrılacak. Çalışmanın amacı 6 haftalık kan akımı kısıtlamalı flywheel egzersizi eğitiminin arka adele (hamstring) kas liflerinin dizilimini ve sporcunun performans çıktılarını kan akımı kısıtlaması olmaksızın yapılan yine 6 haftalık flywheel egzersizi eğitimi ile karşılaştırmaktır. Çalışmaya katılmama veya katıldıktan sonra herhangi bir anda çalışmadan çıkma hakkına sahipsiniz. Bu çalışmaya katılmanız için sizden herhangi bir ücret istenmeyecektir. Çalışmaya katıldığınız için size bir ödeme yapılmayacaktır. Çalışmadan elde edilecek bilgiler tamamen araştırma amacı ile kullanılacak olup kişisel bilgileriniz gizli tutulacaktır. Çalışma başlangıcında uzman kişiler tarafından gerekli önlemler alınarak klinik, radyolojik ve fiziksel performansınıza yönelik ilk değerlendirme yapılacaktır. Yapılan ilk değerlendirme sonrasında katılımcılar kura yöntemi ile iki gruba ayrılacaktır. Belirlendiğiniz gruba göre uyluk üst bölgenize yerleştirilen ve bireyselleştirilmiş yöntemle göre ayarlanmış basınç ile manşon sayesinde kan akımı kısıtlanması için bacağınıza basınç uygulanarak veya normal kan akımı kısıtlaması olmaksızın tüm katılımcılara aynı egzersiz programı uygulanacaktır. Öncesinde alıştırma seansları yapacağınız egzersiz eğitimi 6 hafta sürecek haftada 1 gün maç ve antrenman programınıza göre ayarlanacak, ilk program 3 set 8 tekrar ile başlayıp 6. Haftanın sonunda 4 set 12 tekrara doğru kademeli olarak artırılmış olacaktır. Sonrasında aynı uzman kişilerce gerekli önlemler alınarak tekrar klinik, radyolojik ve fiziksel performans değerlendirmesine tabi tutulacaksınız. Egzersiz eğitimleri süresince [] numaralı telefondan Uzm. Fzt. İbrahim Karaca ve [] numaralı telefondan sorumlu araştırmacı Prof. Dr. Nevin A. Güzel'e 24 saat ulaşabilirsiniz. Çalışmayı okuyup anladıktan sonra katılmak isterseniz formu imzalayınız.

Araştırmanın Amacı	Uygulayacağımız egzersiz eğitimi ile performansınızı artırıp yaralanma riskinizi azaltmak.
Araştırmanın Yöntemi	İleriye dönük, rastgele kontrollü, tek taraflı kör çalışmadır.
Araştırmanın Öngörülen Süresi (Başlama ve Bitiş Tarihi)	1 Ocak 2022 başlama, 1 Temmuz 2022 bitirme

EK-2. (devam) Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

Araştırmaya Katılması Beklenen Katılımcı/Gönüllü Sayısı	44
Araştırmanın Yapılacağı Yerler	Alanyaspor Kulübü, Özel Syedra Polikliniği

KATILIMCI BEYANI

Yukarıda amacı ve içeriği belirtilen bu araştırma ile ilgili bilgiler tarafıma aktarıldı. Bu bilgilerden sonra araştırmaya katılımcı olarak davet edildim. Bu çalışmaya katılmayı kabul ettiğim takdirde gerek araştırmaya yürütülürken gerekse yayımlandığında kimliğimin gizli tutulacağı konusunda güvence aldım. Bana ait verilerin kullanımına izin veriyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin dikkatle korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi. Araştırmanın yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden çekilebilirim. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana herhangi bir ödeme yapılmayacaktır. Araştırma ile ilgili bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Bu çalışmaya hiçbir baskı altında kalmadan kendi bireysel onayım ile katılıyorum. İmzalı bu form kâğıdının bir kopyası bana verilecektir.

Katılımcı ile Görüşmeyi Yapan Fizyoterapist

Adı Soyadı	İbrahim Karaca	Tarih ve İmza
Adres ve telefonu	Aytemiz Alanyaspor Kulübü- 05058087057	

Sorumlu Araştırmacı

Adı ve Soyadı	Prof. Dr. Nevin A.Güzel	Tarih ve İmza
Adres ve telefonu	Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü-05333981604	

Katılımcı

Adı ve Soyadı		Tarih ve İmza
Adres ve telefonu		

Velayet veya Vesayet Altındaki Katılımcılar için Veli/Vasi

Adı ve Soyadı		Tarih ve İmza
----------------------	--	---------------

EK-2. (devam) Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

Adres ve telefonu		
-------------------	--	--

Görüşme Tanığı

Adı ve Soyadı		Tarih ve İmza
Adres ve Telefonu		

GAZİ ÜNİVERSİTESİ ETİK KOMİSYONU FORM-2

EK-3. Veri Toplama Formu

TARİH

VERİ TOPLAMA FORMU

İSİM- SOYİSİM:

TEL:

DOĞUM TARİHİ- YIL :

YAŞ :

DOMİNANT TARAF ALT EKSTREMİTE:

BOY :

KİLO :

VKİ:

ANTRENMAN YAŞ-YIL:

AKTİF DİZ EKSTANSİYON TESTİ:

SAĞ:

SOL:

PALPASYON DEĞERLENDİRMESİ:

SAĞ:

SOL:

MANUEL KAS TESTİ:

SAĞ:

SOL:

EKZENTRİK HAMSTRING KUVVETİ ÖLÇÜMÜ:

SAĞ:

SOL:

ORTALAMA :

MAKSİMUM :

FARK (%) :

EK-3. (devam) Veri Toplama Formu

FONKSIYONEL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ:

30 M SPRINT TESTİ:

ORTALAMA SÜRE :

TEK BACAK HAMSTRİNG KÖPRÜ TESTİ (SİNGLE LEG HAMSTRİNG BRIDGE TEST):

SAĞ:

SOL:

TEK BACAK SIÇRAMA MESAFESİ TESTİ (SİNGLE LEG HAMSTRİNG BRIDGE TEST):

SAĞ:

SOL:

EK-4. Egzersiz Takip Çizelgesi

Egzersiz Takip Çizelgesi

İsim-Soyisim:

Manşon Basıncı:

Diskler	Hft	Trh	AZD (10)	Mak Kon Güç	Ort Kon Güç	Mak Eks Güç	Ort Eks Güç
MM	1						
L	2						
L	3						
L	4						
L	5						
LM	6						
Haftalık Set ve Tekrarlar (1. Hft: 3*8/ 2. Hft: 3*10/ 3. Hft: 3*12/ 4. Hft: 4*10/ 5. Hft: 4*12/ 6. Hft: 4*12)							

Not: M: Medium disk, L: Large disk, Hft: Eğitim haftası, Trh: Eğitim tarihi, AZD: Algılanan zorluk derecesi, Mak: Maksimum, Kon: Konsentrik faz, Ekz: Eksantrik faz.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARACA, İbrahim
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :
 Medeni hali :
 Telefon :
 e-mail :

Eğitim Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi/ Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Anatomi Anabilim Dalı	2016
Lisans	Hacettepe Üniversitesi / Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi	2009
Lise	Kayseri Kocasinan Lisesi (YDA)	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018- Devam ediyor	Alanyaspor	Fizyoterapist
2018	U18 Türk Milli Futbol Takımı	Fizyoterapist
2016-2017	Boluspor	Fizyoterapist
2010-2016	Kayseri Erciyesspor	Fizyoterapist

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Karaca, İ., Güzel, N. A., ve Demir, E. (2023). Hamstring muscle activation during the flywheel exercises. *Journal of Orthopedics Research and Rehabilitation*, 1(4), 75-80.

Hobiler

Spor Yapmak, Seyahat Etmek, Kitap Okumak



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..



Gazili olmak ayrıcalıktır

