



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

**DOKTORA
TEZİ**

**NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZİ SIRASINDA
UYGULANAN KAN AKIMI KISITLAMASININ KASSAL
AKTİVASYON VE VASKÜLER YAPILAR ÜZERİNE ETKİSİ**

FUAT YÜKSEL

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI

EKİM 2022



**NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZİ SIRASINDA UYGULANAN KAN
AKIMI KISITLAMASININ KASSAL AKTİVASYON VE VASKÜLER
YAPILAR ÜZERİNE ETKİSİ**

Fuat YÜKSEL

**DOKTORA TEZİ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2022

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.

Fuat YÜKSEL

21/10/2022

NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZİ SIRASINDA UYGULANAN KAN AKIMI
KISITLAMASININ KASSAL AKTİVASYON VE VASKÜLER YAPILAR ÜZERİNE
ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Fuat YÜKSEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2022

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Nordic Hamstring Egzersizi (NHE) sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasının hamstring kaslarının nöromusküler aktivasyonuna ve alt ekstremitte vasküler yapısı üzerine etkilerini araştırmaktır. Araştırmaya yaş ortalaması $27,5 \pm 1,24$ yıl olan 14 sağlıklı erkek katılımcı dahil edildi. Katılımcıların alt ekstremitelerinden biri kan akımı kısıtlama grubu, diğeri kontrol grubu olacak şekilde randomize edildi. Başlangıçta her iki alt ekstremitenin popliteal arter çapları, Flow Mediated Dilation (FMD) ölçümleri ve Ayak Bileği Kol İndeksi (ABKİ) ölçümleri doppler ultrasonografi ile değerlendirildi. Ardından kısıtlama grubu olarak tanımlanan ekstremiteler arterial oklüzyon basıncının % 60'ında kan akımı kısıtlandıktan sonra katılımcılar 3 set 5 tekrar olacak şekilde NHE gerçekleştirdi. Egzersizler sırasında her iki ekstremitede semitendinosus (ST) ve biceps femoris (BF) kaslarının myoelektrik aktivasyonları yüzeysel elektromyografi ile kaydedildi. Egzersiz öncesi ultrasonografi ile alınan tüm ölçümler egzersizden 15 dakika sonra tekrarlandı. Çalışma sonucunda kısıtlama ve kontrol ekstremiteleri arasında FMD ve ABKİ değerlerinde fark bulunmadı (sırasıyla $p=0,7$, $p=0,65$). Popliteal arter çaplarının her iki grupta anlamlı olarak arttığı ancak gruplar arasında bir fark olmadığı görüldü ($p=0,94$). ST ve BF nöromusküler aktivasyonları her iki grupta da setler arasında azaldı. Ancak deney ve kontrol grupları arasında anlamlı fark görülmedi (sırasıyla $p=0,44$, $p=0,52$). Sonuç olarak NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlaması kontrol grubuyla karşılaştırıldığında hamstring kaslarının nöromusküler aktivasyonu açısından bir farklılık gözlenmemiştir. Yine NHE sonrası akut olarak vasküler ölçümlerde de kontrol grubuyla kısıtlama grubu arasında bir farklılık ortaya çıkmamıştır. NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlaması vasküler yapılar için akut olarak güvenli görünse de nöromusküler aktivasyon açısından bir avantaj sağlamamıştır.

Bilim Kodu : 1024
Anahtar Kelimeler : Kan akımı kısıtlayıcı egzersiz, Nordic, Kassal aktivasyon, Vasküler sağlık
Sayfa Adedi : 80
Danışman : Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL

THE EFFECT OF BLOOD FLOW RESTRICTION APPLIED DURING NORDIC
HAMSTRING EXERCISE ON MUSCULAR ACTIVATION AND VASCULAR
STRUCTURES

(Ph.D. Thesis)

Fuat YÜKSEL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF HEALTH SCIENCES

October 2022

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effects of blood flow restriction applied during Nordic Hamstring Exercise (NHE) on neuromuscular activation of hamstring muscles and lower extremity vascular structure. 14 healthy male participants with a mean age of 27.5 ± 1.24 years were included in this study. One of the lower extremities of the participants was randomized to be in the blood flow restriction group and the other to be control group. Initially, popliteal artery diameters of both lower extremities, Flow Mediated Dilation (FMD), and Ankle-Brachial Index (ABI) were evaluated by doppler ultrasonography. After restricting blood flow at 60% of the extremities arterial occlusion pressure, defined as the restriction group, the participants performed NHE for 3 sets of 5 repetitions. During the exercises, myoelectric activations of the semitendinosus (ST) and biceps femoris (BF) muscles were recorded by surface electromyography for both extremities. All measurements measured by ultrasonography before exercise were repeated 15 minutes after exercise. As a result of the study, no difference was found between the restriction and control extremities in FMD and ABI values (respectively $p=0.7$, $p=0.65$). Popliteal artery diameters increased significantly in both groups, but there was no difference between the groups ($p=0.94$). ST and BF neuromuscular activations decreased between sets in both groups. However, there was no significant difference between the experimental and control groups (respectively $p=0.44$, $p=0.52$). Consequently, the blood flow restriction applied during NHE was not different from the control group for neuromuscular activation. There was no difference between the control group and the restriction group in acute vascular measurements after NHE. Although blood flow restriction applied during NHE appears to be acutely safe for vascular structures, it did not provide an advantage for neuromuscular activation.

Science Code : 1024
Key Words : Blood flow restriction exercise, Nordic, Muscle activation, Vascular healthy
Page Number : 80
Supervisor : Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora öğrenim süreçlerim boyunca engin bilgi ve birikimiyle daima yol gösterici olan, bakış açısıyla bana yeni ufuklar kazandıran, sosyal ve akademik hayattaki duruşuyla örnek aldığım değerli danışman hocam Nevin A. GÜZEL'e

Doktora sürecim boyunca hem ders hem tez döneminde yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nihan KAFA'ya,

Tüm iş yoğunluğunun arasında, sabırla tez çalışmasının radyolojik ölçümlerini alan saygıdeğer Prof. Dr. M. Koray AKKAN'a

Tez verilerimin toplanmasında özveri ve titizlik ile bana yardımcı olan kıymetli mesai arkadaşım Arş. Gör. Ömer Burak TOR'a,

Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sporcu Sağlığı Ünitesi asistanlarına,

Tezde kullandığım fotoğraflar için modellik yapan değerli mesai arkadaşım Arş. Gör. Gökhan M. KARATAY'a,

Tez sürecinde benimle bilgi ve cihaz paylaşımında bulunan değerli Okan KAMIŞ'a,

Tez sürecimin her anında yanımda olan, sabırla bana destek olmaktan hiç vazgeçmeyen canım eşim Deniz YÜKSEL'e,

Her zaman beni destekleyen ve yanımda olan annem Hülya YÜKSEL, babam Nüfel YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Kan Akımı Kısıtlayıcı Egzersiz	5
2.1.1. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizinin uygulanışı.....	6
2.1.2. Manşon basıncını belirleme ve kısıtlamada kullanılan materyaller.....	7
2.1.3. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizin fizyolojisi	9
2.1.4. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizde güvenlik	10
2.2. Endotel Fonksiyonu.....	13
2.2.1. Endotel fonksiyonu değerlendirme yöntemleri.....	14
2.3. Kinezyolojik Elektromyografi	16
2.3.1. Yüzeysel elektromyografi (yEMG).....	16
2.4. Hamstring Yaralanmalarına Genel Bakış.....	19
2.5. Hamstring Kas Grubunun Anatomisi	21
2.6. Hamstring Yaralanmalarını Önleme Stratejileri	23
2.6.1. Nordik hamstring egzersizi	23
3. GEREÇ VE YÖNTEM	27
3.1. Katılımcılar.....	27

	Sayfa
3.2. Deneysel Dizayn	28
3.3. Değerlendirme Yöntemleri.....	28
3.3.1. Demografik bilgiler.....	28
3.3.2. Ayak bileği kol indeksi	29
3.3.3. Flow mediated dilation ve venöz ultrasonografi.....	29
3.4. Yüzeyel Elektromyografi	33
3.4.1. Kassal lokasyonlar ve elektrotların yerleşimi	34
3.4.2. Maksimal istemli kontraksiyon (MİK) ölçümü	35
3.4.3. Sinyal analizi.....	36
3.5. Kan Akımı Kısıtlama Protokolü.....	37
3.6. Egzersiz Protokolü	37
3.7. İstatiksel Analiz.....	38
4. BULGULAR	39
5. TARTIŞMA	47
5.1. Çalışmanın Güç Yanları	54
5.2. Çalışmanın Limitasyonları	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	71
EK-1. Etik Komisyon Formu.....	72
EK-2. Katılımcılar İçin Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu.....	74
EK-3. Katılımcı Değerlendirme Formu	76
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Katılımcıların demografik verileri.....	39
Çizelge 4.2. Grupların yüzeyel elektromyografi ölçümleri öncesi ölçülen deri empedansı değerleri.....	40
Çizelge 4.3. Kan akımı kısıtlaması uygulanan (deney) grubunun arterial oklüzyon basıncı ve kısıtlama basıncı değerleri.....	40
Çizelge 4.4. Grupların egzersiz öncesi flow mediated dilation, ayak bileği kol indeksi, popliteal arter çapı değerlerinin karşılaştırılması	41
Çizelge 4.5. Grupların egzersiz öncesi ve sonrası flow mediated dilation, ayak bileği kol indeksi, popliteal arter çapı değerlerinin karşılaştırılması	42
Çizelge 4.6. Grupların egzersiz sırasında yüzeyel elektromyografi değerlerinin karşılaştırılması	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizin fizyolojisi	10
Şekil 2.2. Hamstring kaslarının illüstrasyonu.....	22
Şekil 2.3. Hamstring kaslarının Origo ve İnsertio'su	23
Şekil 4.1. Çalışma akış şeması.....	39
Şekil 4.2. Katılımcı tarafından bildirilen yan etkiler	41
Şekil 4.3. Popliteal arter çapı.....	43
Şekil 4.4. Flow mediated dilation.....	43
Şekil 4.5. Ayak bileği kol indeksi.....	44
Şekil 4.6. yEMG (% MİK) değerleri	46

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Ayak bileği kol indeksi ölçümü	29
Resim 3.2. Popliteal ven kan akımı	30
Resim 3.3. Baseline popliteal arter çap ölçümü	31
Resim 3.4. Manşonun şişirilmesi ve iskemi oluşturma	31
Resim 3.5. Manşonun söndürülmesi ve reaktif hiperemi sonrası popliteal arter ölçümleri.....	32
Resim 3.6. Reaktif hiperemi öncesi popliteal arter longitudinal görüntüsü	32
Resim 3.7. Reaktif hiperemi sonrası popliteal arter longitudinal görüntüsü	33
Resim 3.8. Derinin hazırlanması ve deri empedansının ölçülmesi	35
Resim 3.9. Biceps femoris ve semitendinosus için yEMG elektrotlarının yerleşimi.....	35
Resim 3.10. Dirençli izometrik diz fleksiyonu ile MİK ölçümü	36
Resim 3.11. Deney ekstremitesinin kan akımının kısıtlanması ve AOB'nin belirlenmesi	37
Resim 3.12. Nordic hamstring egzersizi	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler Açıklamalar

Ag:	Gümüş
AgCl:	Gümüş Klorür
cm:	Santimetre
hz:	Hertz
kg/cm²:	Kilogram/Santimetrekare
kg:	Kilogram
mh:	Megahertz
mm:	Milimetre
mmHg:	Milimetre Civa
Ω:	Ohm

Kısaltmalar Açıklamalar

ABKİ:	Ayak Bileği Kol İndeksi
AOB:	Arterial Oklüzyon Basıncı
BF:	Biceps Femoris
CAMKII:	Kalsiyum/kalmodulin Bağımlı Protein Kinaz II
CK:	Creatin Kinaz
CRP:	C- Reaktif Protein
DVT:	Derin Ven Trombozu
EDHF:	Endotel Kaynaklı Hiperpolarize Faktör
EKG:	Elektrokardiyografi
EPR:	Egzersiz Pressör Refleks
FMD:	Flow Mediated Dilation
GKA:	Gecikmiş Kas Ağrısı
HY:	Hamstring Yaralanmaları
IGF-I:	Insulin Benzeri Büyüme Faktörü

Kısaltmalar	Açıklamalar
KAKE:	Kan Akımı Kısıtlayıcı Egzersiz
MAPK:	Mitojenle Aktive Olan Protein Kinaz
MİK:	Maksimal İstemli Kontraksiyon
MT:	Maksimum Tekrar
NHE:	Nordic Hamstring Egzersizi
NO:	Nitrit Oksit
PE:	Pulmoner Emboli
PGI 2:	Prostaglandin
RİK:	Referans İstemli Kontraksiyon
ROT:	Reaktif Oksijen Türevleri
SM:	Semimembranozus
ST:	Semitendinosus
VEGF:	Vasküler Endotel Büyüme Faktörü
VTE:	Venöz Tromboembolizm
yEMG:	Yüzeyel Elektromyografi

1. GİRİŞ

Kan akımı kısıtlayıcı egzersiz'in (KAKE) son yıllarda kas kuvvetini ve kitesini artırmaya yönelik alternatif bir yöntem olarak kullanım sıklığı artmıştır. Literatürde bu uygulama Kaatsu tekniği, oklüzyon antrenmanı ve iskemik egzersiz olarak da geçmektedir [1]. Bu yöntemde kan akışı bir manşon ya da turnike kullanılarak ekstremitelerin proksimalinden kısıtlanır. Uygulama sonrası venöz kan akışı tümüyle kısıtlanırken, arterial kan akışı kısmen devam eder. Bu şartlar altında genellikle 1 maksimum tekrarın (MT) yüzde 20-30'una denk gelen yüklenmeler ile egzersiz yapılır. Yapılan çalışmalar kas kuvveti ve hipertrofi açısından 1 MT'nin yüzde 70'i ile yapılan yüksek seviye egzersizlerle benzer kazanımlar ortaya çıktığını göstermiştir [2, 3]. Kısıtlama sonrası manşonun distalinde oluşan kan göllenmesinin sebep olduğu anaerobik ortamın çeşitli fizyolojik mekanizmalar aracılığı ile bu kazanımları sağladığı tahmin edilmektedir [4]. Bu yöntem direnç egzersizleriyle uygulanabileceği gibi aerobik egzersizle ve pasif olarak da uygulanabilmektedir [5]. 2017 yılında alanın önemli dergilerinden birinde yayınlanan metaanaliz ve derlemede KAKE uygulaması popüler konu olarak nitelendirilmiş ve muskuloskeletal rehabilitasyonda kas kuvvetini artırmada güvenli bir yöntem olduğu ortaya konmuştur [6]. Literatürde genellikle düşük ağırlıklarla tercih edilse de orta ve yüksek yüklerle kombine edilen çalışmalar da mevcuttur [7, 8].

Literatürde KAKE'nin kuvvet ve hipertrofi üzerine olan etkileri kapsamlı biçimde araştırılmış ve net olmasına karşın, vasküler yapılar üzerine olan etkileri ise tartışmalıdır. Endotel, vasküler homeostazın korunmasında ve kan damarlarının fonksiyonunun düzenlenmesinde önemli bir role sahiptir. Endotel disfonksiyonu durumunda vazodilatör mekanizmanın önemli bir bileşeni olan NO (nitrit oksit) salınımı bozulurken, vazokontraksiyonu artırdığı bilinen reaktif oksijen türevleri (ROT) artmaktadır. Bu durum aterosklerotik plak oluşumun erken dönemi olarak kabul edilmektedir. KAKE'nin endotel fonksiyonu üzerine etkilerini araştıran çalışmalar bu konuda henüz bir fikir birliğine varamamıştır [9].

Hamstring yaralanmaları (HY) hem profesyonel hem de rekreatif sporcularda yaygın olarak görülen bir kas iskelet sistemi patolojisidir. Futbol gibi müsabaka ve antrenman sırasında sıklıkla sprint performansı gerektiren sporlarda HY riski yüksektir ve tüm yaralanmalar arasında %12 ile ilk sırada yer alır. Ortalama 25 kişilik bir futbol kulübünde

her sezon yaklaşık 5-6 kez hamstring kas yaralanması meydana gelir ve bu durum toplamda 80 günün üzerinde spordan uzak kalma ile ilişkilidir [10].

Hem yüksek yaralanma insidansı, hem de rekürren olayların sıklığı nedeniyle araştırmacılar tarafından yaralanma önleme programları geliştirilmiştir [11-16]. Bu programlar incelendiğinde Nordic Hamstring Egzersizi'nin (NHE) ön planı çıktığı görülmektedir. NHE ekstra materyale ihtiyaç duyulmadan, bir partnerin ayak bileklerinden desteklemesi vasıtasıyla dizlerinin üzerinde duran bireyin öne doğru düşme hareketini yavaşlatmasıyla gerçekleştirilir. NHE egzersiz programına yeterli uyum ile gerçekleştirildiğinde HY'yi %65 oranında azaltabilmektedir [13]. Bu durum NHE'nin HY için risk faktörü olduğu bilinen azalmış eksentrik diz fleksiyon kuvveti ve fasikül uzunluğu üzerine olan pozitif etkileri ile açıklanabilir [17].

Geliştirilen önleme programlarına rağmen HY'nin yıllar içinde azalma göstermek bir yana aksine arttığı gösterilmiştir [18]. Bu durum oldukça şaşırtıcıdır çünkü NHE gibi eksentrik egzersizler yaralanmaları önlemede oldukça etkili görünmektedir. Yaralanma oranının artmasında en temel sebep yaralanmaya neden olan sebeplere olan maruziyetin artmasıdır. UEFA'ya bağlı elit kulüpler üzerinde yapılan bir çalışmada HY'nin % 70 oranında sprint ve yüksek hızlı koşu sırasında meydana geldiği gösterilmiştir [19]. 2006-2013 yılları arasında İngiltere Premier ligindeki takımlarda fiziksel ve teknik performansın gelişimini inceleyen bir çalışma çarpıcı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonuçlarına göre sprint sayıları ve mesafeleri 7 yıl içerisinde %35 oranında artmıştır. [20]. Yani yıllar içerisinde oynanan futbolun niteliği değişmiştir. Performans parametrelerinde ortaya çıkan bu artış tüm önleme stratejilerine rağmen HY'deki oranın düşmemesinin temel sebeplerinden biridir. Bu nedenle HY'yi önlemeye yönelik araştırmalar halen devam etmektedir.

Literatürde NHE ve KAKE ayrı ayrı oldukça popüler uygulamalar olmasına karşın, her ikisinin kombine edildiği bir çalışma bilimiz dahilinde mevcut değildir. Uygulanan kan akımı kısıtlaması NHE sırasında nöromusküler aktivasyonu artırabilir. Öte yandan KAKE'nin vasküler yapıları nasıl etkileyeceği belirsizdir. Bu kapsamda mevcut tez çalışmasının amacı NHE sırasında uygulanan kan akışı kısıtlamasının kassal aktivasyon ve vasküler yapılar üzerine olan etkisini incelemektir. Bu doğrultuda çalışmamızın hipotezleri şu şekildedir;

1)

H_0 : NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasının hamstring kaslarının nöromusküler aktivasyonuna etkisi yoktur.

H_1 : NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasının hamstring kaslarının nöromusküler aktivasyonuna etkisi vardır.

2)

H_0 : NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasını vasküler yapılar üzerine akut olarak etkisi yoktur.

H_1 : NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasını vasküler yapılar üzerine akut olarak etkisi vardır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kan Akımı Kısıtlayıcı Egzersiz

Kan akımı kısıtlayıcı egzersiz (KAKE) yaklaşımı son yıllarda kassal kuvveti ve hipertrofiyi artırmada kullanımı ve popülaritesi artan bir yöntemdir. KAKE metodu bir manşon ya da turnike vasıtasıyla kan akımının ekstremitelerin proksimalinden kısıtlanması ve beraberinde genellikle düşük ağırlıklarla (1 maksimum tekrarın %20-30 'u) egzersiz yapılması yöntemine dayanır [3, 5]. Kısıtlama sırasında arterial kan akımı kısmen devam ederken venöz kan akımı tümüyle kısıtlanır. Bu yöntem ilk kez Dr. Yoshiaki Sato tarafından Japonyada geliştirilmiş ve "Kaatsu Antrenmanı" adı verilmiştir. Kaatsu kelime manası itibariyle Japoncada ilave basınç anlamına gelir. Yoshiaki Sato lise son sınıfta bir Budist tapınağında dizlerinin üzerinde otururken baldırlarında bir uyuşma ve şişme hisseder ve bu hissin daha önce yaptığı kuvvet antrenmanıya benzer olduğunu düşünür. Bu durumun azalmış kan akışıyla ilişkili olabileceğinden yola çıkarak bu yöntemi geliştirir [21]. Daha sonra Dr. Sato kayak sırasında ayak bileğini kırar ve dizindeki bağlarda yaralanma oluşur. Doktorlar ayağı alçıya alırlar ve 6 ay istirahat önerirler. Bu süreçte kas kaybı yaşamak istemeyen Sato alçının proksimalinden bir kan kısıtlaması uygular ve bu şekilde izometrik egzersizler yapar. Alçı sonrası kas kitlesinde ve kuvvetinde azalma olmadığını belirleyen Sato bu yöntemine Kaatsu adını verir [21]. Şu an bu metod üniversitelerde, spor kulüplerinde, özel merkezlerde, hastanelerde ve askeri merkezlerde kullanılmaktadır. Kan akımı kısıtlaması genellikle direnç egzersizleriyle tercih edilse de aerobik egzersizle ya da egzersiz olmadan pasif bir şekilde de uygulanabilmektedir [5].

Teorik olarak, arterial akımın kısmen devam etmesi ve venöz dönüşün tümüyle kısıtlaması, ekstremitenin distalinde lokal bir kan göllenmesi meydana getirmek ve hipoksik bir ortam oluşturmaktadır. KAKE'nin altta yatan mekanizması hala belirsizliğini korusa da ortaya çıkan bu ortamın metabolit birikimini artırdığı ve böylece anabolik sürecin uyarıldığı tahmin edilmektedir. Bu süreçte IGF-1 (Insulin-like growth factor) gibi sistemik hormonların ve reaktif oksijen türevlerinin arttığı, myostatinin baskılandığı, hızlı kas liflerinin daha çok uyarıldığı, hücre şişmesinin ortaya çıktığı gösterilmiştir. Tüm bu mekanizmalar karmaşık sinyal yollarını devreye sokmakta, protein sentezini artıracak proliferasyonu ve kök hücre uyarımını artırmaktadır [4].

Direnç egzersizlerinin anabolik etkileri düşünüldüğünde düşük ağırlıklarla yapılan egzersizler çoğunlukla Tip 1 kas liflerini uyarmaktadır. Daha ince yapıda olan bu lifler kas kitlesini ve kuvvetini artırmakta etkili değildir. Tip 2 liflerin uyarılabilmesi için yüksek seviyede direnç egzersizleri gereklidir. Tip 2 lifler bu tarz egzersizlere duyarlıdır ve hipertrofinin ve gücün artmasını sağlarlar [22, 23]. Ancak düşük düzey egzersizlere kan akımı kısıtlaması eklendiğinde yine tip 2 liflerin uyarılabileceği gösterilmiştir [24]. Geleneksel yüksek şiddette direnç egzersizleriyle (1 maksimum tekrarın > % 70) karşılaştırıldığında, düşük şiddet egzersizle (1 MT %20-30) uygulanan kan kısıtlaması eğitiminin hipertrofi açısından benzer kazanımlar sağladığı gösterilmiştir [2]. Kas kuvvetinde ise artış olduğu ancak bu artışın yüksek şiddetli egzersizlerden daha düşük seviyede kaldığı ortaya konmuştur [6]. Yüksek seviye direnç egzersizleri eklemler üzerinde mekanik stres oluşturmaktadır. Bu doğrultuda yüksek seviyede direnç egzersizinin kontraendike olduğu geriatrik popülasyonda ve rehabilitasyonun erken evrelerinde KAKE yöntemi ön plana çıkmaktadır [5].

2.1.1. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizin uygulanışı

KAKE yöntemi direnç egzersizleriyle, aerobik egzersiz sırasında ve pasif olarak uygulanabilmektedir. Ayrıca literatürde tüm vücut vibrasyon ve nöromusküler elektrik stimülasyonu ile kombine edildiği çalışmalar mevcuttur [5].

Direnç egzersizleriyle uygulama sıklıkla 1 maksimum tekrarın %20-40'ında olacak şekilde, haftada 2-3 kez, 75 tekrar (30-15-15-15) ve kısıtlama basıncı arterial oklüzyon basıncının (AOB) %40-80'inde olacak şekilde yapılmaktadır [5]. KAKE uygulamasında yüklenmenin ne kadar olması gerektiği konusunda yazılan güncel bir makalede, kuvvet ve hipertrofi kazanımlarının ortaya çıkması için 1 maksimum tekrarın en az %30'unda yapılması gerektiği ortaya konmuştur [25].

Aerobik egzersiz ile kullanımı için maksimal kalp hızının yüzde 50'sinin altında, 5-20 dakika aralığında, uygulama basıncı AOB'nin yüzde 40-80'ninde, haftada 2-3 kez tavsiye edilmektedir. Kullanılan egzersizler ise genellikle yürüme ve bisiklettir [5]. Geriatrik popülasyonda yapılan bir çalışmada haftanın 5 günü 6 hafta boyunca düşük hızda (yaklaşık 4 km/s) yürüme egzersizi verilen hastalara eş zamanlı olarak 160-200 mmHg ortalama

basınçla KAKE uygulanmış ve kontrol grubuna üstünlüğü diz ekstansiyonu ve diz fleksiyonu kas kuvveti, kas kitlesi üzerinden gösterilmiştir [26].

KAKE'nin pasif yöntemlerle haftada 1-2 kez uygulanabileceği ve yüksek kısıtlama basıncına (AOB'nin % 70-100) ihtiyaç duyulabileceği belirtilmiştir [5]. Kan akımı kısıtlamasının kullanmamaya bağlı kaslarda oluşan atrofiyi azalttığı ortaya konmuştur. Postoperatif ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu geçiren hastalara 180-260 mmHg basınçlarda, 5 set 5'er dakika uygulanan kısıtlamanın kullanmamaya bağlı oluşan atrofiyi azalttığı gösterilmiştir [27].

KAKE'nin progresyonu ile ilgili yayınlanan bir derlemede, 4 aşamalı olarak uygulanabileceği ortaya konulmuştur. İlk aşamada yatak içinde egzersiz olmadan kısıtlama önerilmiştir. İkinci aşamada KAKE yürüyüş gibi fonksiyonel aktivitelerle, üçüncü aşamada ise düşük yüklerle direnç egzersizi ile kombine edilecek şekilde tavsiye edilmiştir. Rehabilitasyonun son aşamasında ise yüksek şiddette egzersizler ve düşük düzeyde egzersizlerle beraber uygulanan KAKE yaklaşımının uygulanabileceği ifade edilmiştir. [28].

2.1.2. Manşon basıncını belirleme ve kısıtlamada kullanılan materyaller

Kan akışının kısıtlanması genellikle bir turnike, şişirilebilir bir manşon ya da elastik bandajlar vasıtasıyla uygulanır. Elastik bandajlar ulaşması ve kullanımı şişirilebilir bandajlara göre daha kolay olup pahalı, özel ekipman gerektirmezler. Ancak basınç miktarı objektif olarak tespit edilemediği için ne derece güvenilir oldukları şüphelidir [29].

Kısıtlamada kullanılan materyaller için diğer bir önemli konu manşon genişliğidir. Literatürde alt ekstremité için daha geniş manşetler tercih edilirken (6-13.5 cm), üst ekstremité için daha dar manşetler kullanılır (3-5 cm) [29]. Manşet genişliği arttıkça basıncın uygulandığı yüzey alanı artar ve böylece daha düşük basınçlar ile kısıtlama sağlanabilir. Yapılan bir çalışmadan 13.5 cm'lik manşonların 5 cm'lik olanlarla kıyaslandığında daha düşük basınç seviyelerinde aynı seviyede kısıtlama sağlanabileceği gösterilmiştir [30].

Kısıtlamada basınç miktarını etkileyebilecek diğer bir husus ise ekstremitenin çevre genişliğidir. Çevre ölçüm değeri yüksek ekstremitelerde aynı seviyede kan akışı kısıtlaması sağlanabilmesi için daha yüksek basınçlar uygulanması gerekir [30]. Bu nedenle alt

ekstremitelerde uygulamalarında daha geniş manşetler tercih edilmelidir ki doğru seviyede kısıtlama için yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmasın. Basıncın doğru seviyede uygulanmaması olumsuz sonuçlar ortaya çıkartabileceği gibi yeterli kısıtlama olmadığında ortaya çıkacak faydaları da etkileyebilir. Örneğin erkek ve kadınlara aynı kısıtlama protokolünün uygulandığı osteoartritli hastalar üzerinde yapılan iki farklı çalışmada kadınlarda leg press ve diz ekstansör gücünde anlamlı artışlar görülürken [31], erkeklerde herhangi bir artış görülmemiştir [32]. Bu durumun en muhtemel sebebi daha kalın uyluk çevresine sahip erkek katılımcıların aynı basınç seviyesinde yeterli kan akımı kısıtlamasına maruz kalmaması olabilir.

KAKE uygulamasında kullanılacak olan basınç venöz dönüşü %100 kısıtlayacak seviyede, ancak arterial kan akışına halen izin verecek düzeyde olmalıdır. Bu düzey bireysel anatomik ve fizyolojik farklılıklar nedeniyle kişiden kişiye değişebileceği için bireyselleştirilmiş basınçlar kullanılması önerilmektedir. Geçmişte araştırmacılar brakial arter sistolik basınç değerinin kısıtlayıcı basınç olarak kullanılabileceği fikrini ortaya atmışlardır [29, 33]. Ancak bu düzey alt ekstremiteler için venöz dönüşü kısıtlama konusunda rasyonel görünmemektedir.

Literatürde geçmişten günümüze uygulama basıncını belirlemede çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi “algılanan basınç tekniğidir”. Bu teknikte uygulanan basınç 0 ile 10 arasında bir skala vasıtasıyla kişilerin baskıyı algılama derecesi ölçülür. 0 hiç baskı olmadığını, 10 ise ciddi seviyede ağırlı yoğun bir basıncı ifade eder. Araştırmacılar 10 üzerinden 7 seviyesinde bir kısıtlamanın uygulanabilir basınç olduğunu öne sürmüşlerdir [4, 29, 34]. Kısıtlama basıncını belirlemede pratik bir yöntemdir ancak basınç ve ağırlı algısı bireyler arasında değişebileceği için doğru seviyede basıncı uygulamak her zaman mümkün olmayabilir.

Bir diğer basınç belirleme yöntemi mutlak kaplama (overlap) basınç olarak bilinmektedir. Bu teknikte üzeri daha önceden belli santimetre aralıklarıyla işaretlenmiş bandajlar kullanılır. Ekstremiteye gerimsiz olarak yerleştirilen bandaj işaretli bölgelerden takip edilerek, 5,08 cm miktarında gerdirilir. Hem alt hem üst ekstremitelerde için bu değer kullanılır [4, 35]. Benzer bir başka yöntemde ise ekstremiteye çevre ölçümü yapıldıktan sonra bu değer %10-20'si hesaplanarak bu miktar kadar gerim uygulanır. Bu tekniğe rölatif kaplama (overlap) basınç adı verilir [4, 36].

Kısıtlamayı sağlamak için uygulanan diğer bir teknik ise “maksimal elastik bandaj tekniğidir.” Bu yöntemde elastik yapıda olan bandajlar ekstremiteye yerleştirilir ve %100 gerim uygulanır ve tespit edilen bu maksimal basınç noktasının %75’inde uygulama gerçekleştirilir [4, 37].

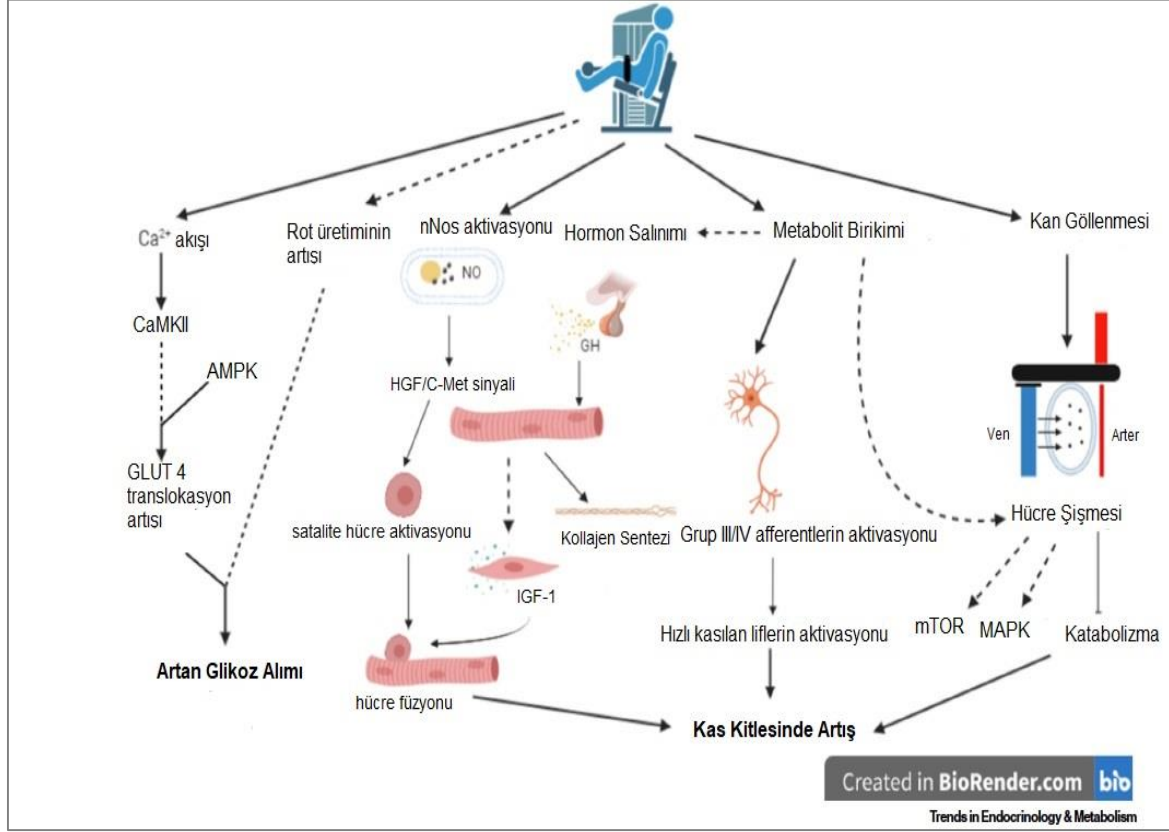
AOB ekstremitelerdeki arterial akışı %100 seviyesinde kısıtlayabilmek için gereken basıncı ifade eder. Mevcut literatürde AOB değerinin %40 ile 80’i arasında kısıtlama yapmanın uygun olduğu söylenmektedir [5]. Öte yandan kısıtlama basıncı arttıkça kas kuvveti ve hipertrofi konusundaki kazanımların doğru orantılı şekilde artmasını beklemek hatalı bir yaklaşım olur. AOB’nin %60’ı üzerinde uygulanan basınçların ekstra bir fayda sağlamadığı gösterilmiştir. Aksine uygulanan yüksek seviyedeki basınçlar kardiyovasküler açıdan risk oluşturmaktadır [38]. Literatüre AOB kullanımı sıklıkla önerilmesine ve altın standart olarak kabul edilmesine rağmen profesyoneller arasında kullanımı oldukça nadirdir. Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada 115 profesyonelden yalnızca % 11.5’nin bu tekniği uyguladığı ortaya konmuştur [39].

2.1.3. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizin fizyolojisi

KAKE’nin fizyolojisini açıklamaya yönelik çeşitli teoriler olmakla birlikte literatürde bu konuda fikir birliği yoktur.

KAKE’nin kas kuvvetinde ve kitlesinde artışı sağlayan, glikoz alımını artıran bazı hücresel yolları uyardığı düşünülmektedir. Kas kontraksiyonu iskelet kasında kalsiyum salınımına ve CAMKII’nin fosforizasyona yol açar. Bu durum AMPK ile birlikte plazma zarında artmış GLUT4 translokasyonu ile sonuçlanır ve artmış Reaktif Oksijen Türevleriyle (ROT) birlikte insülininden bağımsız glikoz alım mekanizmasını devreye sokar. nNOS, HGF/c-Met sinyalinin uyarılmasıyla satelite hücre aktivitesi düzenlenir. Metabolit birikimi büyüme hormonu salınımını artırır. Büyüme hormonundaki artış, iskelet kası üzerinde koruyucu etkisi olan kollajen sentezini uyarır. Büyüme hormonu ayrıca satelite hücrelerinin mevcut miyofibrillerle birleşmesini destekleyen IGF-1 salınımını indükler. Ayrıca, metabolit birikimi, grup III/IV afferent nöronları da uyarabilir ve bu da düşük dirençle rağmen hızlı kasılan liflerin seçici olarak uyarılmasına neden olur [40] (Şekil 2.1.).

Bir diğer mekanizma ise metabolit birikimi neticesinde hücrelerde oluşan şişme yoluyla anabolik aktivasyon sağlayan mTor ve MAPK'nın uyarılması ve eş zamanlı olarak da katabolik aktivitenin baskılanması olarak açıklanmaktadır [40].



Şekil 2.1. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizin fizyolojisi

2.1.4. Kan akımı kısıtlayıcı egzersizde güvenlik

Dışarıdan bir müdahale vasıtasıyla ekstremitelere giden kan akımını kısıtlama fikri beraberinde bazı endişelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu endişeler özellikle kardiyovasküler sistem için ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmaların hemen hemen hiçbiri kardiyovasküler yapılar üzerine olası etkilerin varlığını ya da yokluğunu sorgulamamış ve genellikle kuvvet ve hipertrofi parametrelerine odaklanılmıştır [6].

Kardiyologların dile getirdiği en temel endişe, “egzersiz pressör refleksi” (EPR) kavramı üzerinedir. EPR vücudun egzersize olan fizyolojik otonomik tepkisi olarak bilinmektedir. Egzersiz sırasında artan laktat ve hidrojen iyonları gibi metabolitlerin ve mekanik stresin, bu sistemi uyardığı düşünülmektedir. Bu durum vücutta sempatik aktiviteyi artırır ve bunun

aracılığı ile karbonmonoksit miktarı artar, kalp hızı yükselir, kalp kası daha güçlü kasılır ve arterial kan basıncı yükselir. KAKE'nin abartılı bir EPR cevabı ortaya çıkardığı gösterilmiştir. Bu durum aritmi, miyokard enfarktüsü, kalbe bağlı ani ölümler gibi kardiyak olaylara sebep olabileceği gibi felç gibi serebrovasküler sorunlarda ortaya çıkartabilir. Özellikle kardiyovasküler komorbiditesi olan bireylerde ekstra dikkatli olmak gerektiğinin altı çizilmelidir [41, 42].

KAKE uygulaması ile alakalı endişe yaratan bir diğer durum ise kısıtlamanın kronik venöz yetmezliğe sebep olabilme ihtimalidir. Venöz dönüşün kısıtlanması teorik olarak venlerde bulunan valflere zarar verme potansiyeli taşımaktadır ve bu durum venöz yetmezliğe sebep olacaktır [5, 42]. Bu açıdan uygulama öncesi kişilerin venöz yetmezlik geçmişi sorgulanmalı ve gerekli tetkikler yapılmalıdır.

KAKE uygulamasında araştırmacılar için en büyük soru işaretlerinden biri venöz tromboembolizm (VTE) olmuştur. Temel olarak trombüs damar duvarında meydana gelen hasar sonrası iyileşme süresinde ortaya çıkan trombosit, kırmızı kan hücreleri ve fibrinden oluşan katı bir kitledir [5]. VTE, derin ven trombozu (DVT) ve pulmoner emboli (PE) kavramlarını içeren bir tanımlamadır [43]. DVT asemptomatik olarak ortaya çıkabilir ancak PE ölümcül sonuçlar doğurabilir. Alt ekstremitelerde gerçekleşen majör cerrahiler sonrası VTE insidansı oldukça yüksektir. Kanın periferde göllenmesini artıran uzun süreli hospitalizasyon ve süresi artmış yolculuklarda VTE riski artmaktadır. KAKE sırasında da benzer şekilde kanın ekstremitelerde distalinde göllenmesi, VTE açısından teorik olarak riskli görünmektedir. KAKE ile yapılan çalışmaların çoğunluğunda VTE faktörü direkt olarak değerlendirilmemiştir. Ancak çalışmalar bu konuda majör bir yan etki de rapor etmemişlerdir. KAKE'nin tromboz oluşumuna etkilerini değerlendiren çalışmalar genellikle kanın pıhtılaşmasıyla ilgili kan değeri olan D-dimer'i kullanmışlardır. Akut etkileri değerlendiren çalışmalarda D-dimer için istatistiksel olarak anlamlı seviyede bir yükselme ortaya konmamıştır [9, 44]. Yine pıhtı oluşumunu değerlendirmekte kullanılan kan değerlerinden olan C-reaktif Protein'i (CRP) değerlendiren bir çalışmada anlamlı farklılıklar bulunmamıştır [45]. Aynı çalışmada 4 hafta sonundaki D-dimer, fibrinojen ve CRP değerlerinde bir değişiklik saptanmamıştır. KAKE'nin VTE üzerine uzun süreli etkisini değerlendiren (genellikle 4-12 hafta) çalışmalar incelendiğinde kan değerleri açısından anlamlı değişiklikler ortaya çıkmadığı görülmektedir [45-47]. Mevcut çalışmalar KAKE'nin VTE açısından risk oluşturmadığını söylemektedir. Bu konudaki ironik durum ise KAKE'yi

ilk uygulayan kişi olan Yoshiaki Sato'nun PE geçirmiş olmasıdır. Yoğun şekilde KAKE ile antrenman yapan Sato bacaklarında oluşan uyuşmaları dikkate almamış ve sonunda nefes darlığı şikayetiyle acil servise başvurmuştur. PE tanısı alan Sato doktorlar tarafından bu yöntemi bırakması konusunda uyarılmıştır [21]. Bu durum bize KAKE uygulamasında doğru basıncın ve doğru yüklenmenin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

KAKE ile ilgili diğeri bir araştırma konusu ise kas hasarları olmuştur. Yüksek seviye dirençli egzersizlerin özellikle antrene olmayan kişilerde kas hasarı yarattığı bilinmektedir. Bu hasar özellikle eksentrik egzersizlerde meydana gelir ve gecikmiş kas ağrısı (GKA) olarak adlandırılır. Kuvvet üretiminde ve eklem hareketinde azalma meydana gelirken, kas ağrısı ve ödem artar. Kas hasarının kan dolaşımındaki belirteçleri olan Creatin Kinaz (CK) ve Miyogloblin seviyeleri yükseliş gösterir. Literatürde KAKE ve kas hasarı ilişkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Loenneke ve diğ. konuya ilişkin yaptıkları derlemede; düşük seviye egzersizle kombine edilen KAKE uygulamasının ilk günlerde kas ağrısı yarattığını, maksimal tork üretme kapasitesinin akut dönemde azaldığı ancak ilerleyen günlerde normale döndüğü, ödemin egzersiz sonrası 24-48 içinde arttığı ve yine daha sonra normal seviyelere döndüğü, hareket açıklığının ise etkilenmediğini belirtmişlerdir [48]. Literatürde CK ve miyogloblin seviyelerini ölçen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan birinde 1 MT'nin %30 ile kombine edilen KAKE'nin kas hasarı üzerine etkileri değerlendirilmiştir. 5 set ve her sette yapabildikleri tekrarda egzersiz yapan katılımcıların 1., 3., 5. ve 7. günlerdeki CK ve miyogloblin düzeyleri ölçülmüş ve artış olduğu ortaya konmuştur. Yine aynı günlerde maksimal torkun düştüğü, ödemin arttığı gösterilmiştir [49]. Öte yandan literatürde CK ve miyogloblin seviyelerinin KAKE uygulamasıyla değişmediğini gösteren çalışmalarda vardır [47, 50].

Kas hasarında akla gelen kavramlardan bir tanesi de rabdomiyolizdir. Rabdomiyoliz kas dokusunun parçalanması ve hücre içi maddelerin dolaşıma katılması olarak tanımlanır. Bu durum akut böbrek yetmezliği ve hiperpotasemi gibi komplikasyonlar oluşturur [51]. Egzersizde aşırı yüklenme ile meydana gelebileceğı gibi, egzersiz seviyesi normalken ortamın sıcak olması, su kaybının meydana gelmesi veya bazı ilaç kullanımları rabdomiyolize sebep olabilmektedir [5, 52]. KAKE'nin metabolik stresi artırdığı için rabdomiyolize neden olabileceğı iddia edilmiştir ve bununla ilgili bir vaka raporu yayınlanmıştır [53]. Ancak literatüre bakıldığında insidans oranının çok düşük (%0.07- 2) olduğu görülmektedir [54]. Japonya'da yapılan kapsamlı bir anket çalışmasında ise 12642

kişiden yalnızca 1'inde (%0.008) rabdomiyolize rastlandığı gösterilmiştir [55]. Brezilya'da yapılan benzer bir çalışmada ise bu oran % 1.9 olarak rapor edilmiştir [56]. Bu veriler dikkate alındığında KAKE'nin rabdomiyolize neden olabileceği görüşü abartılı bulunmaktadır. Geleneksel egzersiz yöntemleri ile karşılaştırıldığında risk açısından yakın sonuçlar ortaya çıktığı düşünülmektedir. Yine de böyle bir ihtimalin olduğu, yan etkilerin değerlendirilmesi ve erken tanı açısından bilinmelidir. Uygulama öncesi enfeksiyon ve uzamış immobilizasyon gibi rabdomiyelize sebep olabilecek potansiyel durumlar sorgulanmalıdır [57].

KAKE uygulamasında endişe yaratan bir diğer konu ise "iskemik reperfüzyon hasarı"dır. Arterial veya venöz kan akımının azalmasıyla oluşan iskemi tablosunda, dokuların yetersiz perfüzyonu ve oksijensiz kalması sonucu hücrel enerji depoları boşalır ve toksik metabolitler birikir. İskemik dokuya yeniden kan reperfüze olduğunda ise sorunlar ortadan kalmak yerine daha ciddi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tabloda hasarı yaratan temel durum hücre içinde oluşan serbest radikallerdir [58]. Bu hasara sebep olan ROT'ların salınımıyla beraber, hücre içi ve mitokondirial kalsiyumdaki değişiklikler, mikrovasküler bozulma ve eşlik eden şiddetli bir inflamatuvar reaksiyonun olduğu ileri sürülmektedir [59, 60]. Reperfüzyonun yarattığı hasar genellikle ciddi ve uzun süreli iskemi tabloları sonucunda ortaya çıksa da KAKE uygulanan kısıtlamanın da bu açıdan değerlendirilmesi önemlidir. Renzi ve diğ. yürüme sırasında kullandıkları kan akımı kısıtlamasının endotel fonksiyonunu bozabileceğini göstermişler ve bu durumun iskemik reperfüzyon hasarı ile ilişkilendirilebileceğini vurgulamışlardır [61].

2.2. Endotel Fonksiyonu

Kardiyovasküler hastalıklar dünya üzerinde ölümlerin ana nedenidir. Kalp hastalıkları ve iskemik inmeler dikkate alındığında yüzde 30'luk bir oranın bu sebeplerden öldüğü görülmektedir. Bu nedenle bu hastalıkların erken teşhisi ve tedavisi hayati derecede önem arz etmektedir. Bu bağlamda kardiyovasküler hastalıklarla yakından ilişkili olan endotel fonksiyonunun iyi anlaşılması oldukça önemlidir.

Endotel; arterler, venler ve kalbin odacıklarının iç duvarlarını kaplayan tek katlı yassı epitel hücrelere verilen isimdir. Dolaşımdaki kan ile diğer dokular arasında koruyucu bir bariyer olarak görev üstlenir. Vasküler tonusu ve geçirgenliği, pıhtılaşmayı ve anjiyogenezis'i düzenlemek vasıtasıyla vasküler homeostazi üzerinde kritik bir rolü de bulunur. Endotelin

önemli görevlerinden bir tanesi de uyarılar sonucunda otokrin ve parakrin salgılar salgılamasıdır [62, 63].

Sağlıklı endotel salgıladığı Prostaglandin I₂ (PGI₂) ve Nitrit Oksit (NO) vasıtasıyla trombüs oluşumunu inhibe eder. Trombositlerin aktivasyonunu, salınımını ve bir araya toplanıp kümelenmesini engeller [64].

Endotelden salgılanan PGI₂, NO, endotel kaynaklı hiperpolarize faktör (EDHF), endotelin ve anjiyotensin II vasküler tonusun düzenlenmesinde görev alan önemli mediatörlerdir. PGI₂, NO ve EDHF vazodilatör etki yaratırken, endotelin ve anjiyotensin II vazokonstriksiyonu uyarır [63, 65].

Endotel disfonksiyonu aterosklerotik plak oluşumunun ve buna bağlı ilerleyen sorunların ortaya çıkmasında öncü faktördür. Tüm bu mekanizmalar endotelde vazokonstriksiyonu uyaran salgıların artması, diğer yandan ise NO gibi vazodilatasyonu sağlayan maddelerin azalmasıyla karakterizedir. Bu durum endotel sağlığının temel göstergesi olan endotel bağımlı dilatasyonun bozulmasına yol açar [62, 66]. Endotel disfonksiyonu ayrıca aterosklerotik plaklardaki inflamatuvar süreçle de ilişkilidir [67]. Endotelde oluşan fonksiyon bozukluğu hipertansiyon, diyabet, hiperkolestrolemi ve ateroskleroz gibi kronik sorunlarla doğrudan ya da dolaylı olarak bağlantılıdır [63].

2.2.1. Endotel fonksiyonu değerlendirme yöntemleri

Literatürde endotel fonksiyonunu değerlendirme için invaziv ve invaziv olmayan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. İnvaziv yöntemlerde genellikle damar içerisine verilen asetilkolin ya da benzer bir madde ile oluşan vazodilatasyon değerlendirilir. Asetilkolin NO salınmasını sağlayarak çizgisiz vasküler kaslarda bir gevşeme meydana getirir ve vasküler genişleme oluşturur. Literatürde endotel sağlığı periferik kan üzerinden değerlendiren serum markerleri bulunmaktadır. Intersellüler adezyon molekülleri (ICAM-1), vasküler hücre adezyon molekülleri (VCAM-1), E-selektin, von Willebrand Faktör (vWF) ve Vasküler Endotel Büyüme Faktörü (VEGF) kan ile vasküler sağlığın değerlendirildiği bazı serum belirteçleridir. İnvaziv yöntemlere ulaşılabilirliğin kısıtlı olması, serum belirteçlerinin özellikle beslenme rutininin fazlaca etkilenmesi nedeniyle invaziv olmayan yöntemlerin

kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemlerden en dikkat çeken artmış kan akışı sonrası dilatasyonun değerlendirildiği Flow Mediated Dilation (FMD) tekniğidir [62].

Flow mediated dilation- (akım aracılı dilatasyon) (FMD)

Endotel disfonksiyonu ateroskleroz gelişiminde ve ilerlemesinde kritik rol oynar. Bu yüzden henüz ateroskleroz oluşmadan endotelde oluşan sorunların tespit edilmesi kardiyovasküler hastalıkların erken teşhisi ve tedavisi açısından önem arz etmektedir.

Akım aracılı dilatasyon son yıllarda popülaritesi artan endotel fonksiyonu değerlendirmek için kullanılan invaziv olmayan bir yöntemdir. Endotel fiziksel ve kimyasal uyarılara cevaben NO salgılanmasını sağlar. NO vasküler dilatasyonun sağlanmasında önemli mediatörlerden biridir. NO'nun salınımı shear stress (kayma gerilimi) adı verilen kanın damar duvarı üzerinde oluşturduğu basınç ile artar. Azalmış NO salınımı endotel disfonksiyonun primer göstergelerinden biridir. FMD ise endotel tarafından salınan NO'nun indirekt olarak ölçülmesini sağlar. İlk olarak 1992 yılında tanımlanan bu yöntem, özetle reaktif hiperemi sonrası periferik arterlerde meydana gelen dilatasyonu ultrasonografi vasıtasıyla ölçme ilkesine dayanır [68]. Reaktif hiperemi ölçülecek olan arterin distaline yerleştirilen bir manşon vasıtasıyla kısıtlanan kan akımının (genellikle 5 dakika süreyle) manşon söndürülerek ani bir kan akımı yaratması ile sağlanır. Kan akım hızının artışının sağladığı kayma gerilimi ile NO salınımı artar ve damar lümeninde bir vazodilatasyon meydana gelir. FMD genellikle brakiyal arter üzerinden ölçülür. Radial arter, yüzeysel femoral arter ve popliteal arter ile FMD değerlendiren çalışmalar da mevcuttur [69].

Brakiyal arter değerlendirmesi için ölçüm yapılacak kişi sırt üstü uzanır ve bu pozisyondan ultrasonografi vasıtasıyla longitudinal olarak görüntülenen arter çapı bazal olarak 3 kez ölçülür. Daha sonra ön kola yerleştirilen şişirilebilir bir manşon ile kan akımı kısıtlanır (Sistolik kan basıncının 50 mm hg üzerinde bir değerde). Beş dakika iskemi oluşturulan ekstremitede manşonun söndürülmesini takiben arter çapı tekrar ölçülür. Yapılan çalışmalar iskemi sonrası 60. saniyede arter çapının maksimum seviyeye ulaştığı gösterilmiştir. Reaktif hiperemi sonrası ölçülen arter çapı ile bazal arter çapı arasında oluşan fark FMD ölçümünün hesaplanmasını sağlar. Metaanalizler % FMD' de 1 birim artış başına kardiyovasküler hastalıklar açısından riskin % 8-13 oranında düştüğünü göstermektedir [69]. Azalmış FMD

yanıtı endotel disfonksiyonun bir göstergesidir ve kardiyovasküler hastalıklar açısından risk faktörüdür [70].

2.3. Kinezyolojik Elektromyografi

Kaslardan gelen eksternal elektriksel aktivitelerin ölçülmesine elektromyografi adı verilir. EMG kaslar istirahat halindeyken ya da kasıldıklarında ortaya çıkardıkları elektriksel potansiyelin tespit edilmesine yarar. Kinezyolojik EMG ise vücut hareketleri sırasında kasal aktivasyonun incelenmesi manasına gelir. Kinezyolojik EMG çeşitli hareketler sırasında hedef kasların aktivasyonu, zamanlaması ve sıralaması hakkında bilgi verir.

Kinezyolojik EMG iğne elektrotlarla ya da yüzeysel invaziv olmayan elektrotlarla uygulanabilir. İğne elektrotlar daha çok diagnostik amaçlı kullanılırken, hareket bilimlerinde kendi doğasına özgü olarak yüzeysel elektrotların kullanımı tercih edilir. İğne elektrotlar derinde yer alan kasları izole olarak değerlendirme imkanı sağlar ve bunu yaparken diğer kaslardan gelen aktivasyonlardan yani çapraz gürültüden (cross talk) etkilenmez. Ancak rahatsızlık hissi yüksek, uygulaması zor ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir [71].

2.3.1. Yüzeysel elektromyografi (yEMG)

yEMG kullanımı kolay ve tıp uzmanlığı gerektirmeyen, uygulanan kişilerin rahatsızlık hissinin az olduğu bir uygulamadır. yEMG teknikleri kinezyoloji, biyofeedback, rehabilitasyon, spor bilimleri ve ergonomi gibi bir çok dalda kullanılmaktadır.

yEMG uygulamasında dikkat edilmesi gereken önemli kavramlar mevcuttur. Kullanılan elektrotların tipi, uygulanan deri yüzeyi, elektrotların yerleşimi, elektrotların şekil ve büyüklüğü, elektrotlar arası mesafe oluşacak sinyalin kalitesinde önemli rol oynar. Yine ölçümün yapıldığı ortamda EMG sinyali ile karışabilecek frekansta gürültünün olması sinyal kalitesini etkileyebilecek önemli bir detaydır [72].

yEMG’de kullanılan elektrotlar

yEMG uygulamalarında kullanılan elektrotlar konusunda üzerinde durulan kavramlar genellikle elektrotun şekli, büyüklüğü, üretildiği madde ve elektrotlar arası mesafedir.

Elektrotun şekli deriyle temas eden iletken kısmı ifade eder ve genellikle daire şeklindedir. Şeklin kare olduğu uygulamalarda mevcuttur. Burada önemli olan cilde temas eden iletken kısmın boyutudur. Bu boyut eşit olması durumunda şekle bakılmaksızın oluşan deri direncinin benzer olması beklenmektedir. European Recommendations for Surface Electromyography (SENIAM) çapı 1 cm olan dairesel elektrotlar tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Elektrot boyutu kas liflerine paralel şekilde arttığında, doğru yEMG sinyaline olumlu yönde etki etmektedir. Ancak kas liflerine dik açıda artan elektrot boyutu sinyalizasyonun ölçümünü olumsuz etkilemektedir. Genel hatlarıyla elektrot büyüklüğü hedef kasın motor ünitesinin ortaya çıkardığı aksiyon potansiyelini kaydedebilecek kadar büyük, diğer kaslardan meydana gelebilecek gürültüleri ölçmeyecek kadar küçük olmalıdır. Bu bağlamda elektrot çapının maksimum 10 mm olması önerilmektedir [72].

Elektrotlar arası mesafe bipolar uygulamalarda kullanılan iki elektrotun iletken kısımlarının merkezleri arasındaki mesafe anlamına gelir. Önerilen aralık 20 mm'dir ancak ölçümü alınan kas ya da kas grubunun küçük olması durumunda bu mesafe çok daha düşük olabilir [72].

Elektrotların yapıldığı materyal iletken kısmın deri ile olan temasını tam olarak sağlamalı, deri direncinden mümkün olduğunca az etkilenmeli ve dinamik aktiviteler sırasında statik kalabilmelidir. Genellikle gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrotlar tercih edilir. Elektrotlar cildin oluşturduğu direnci azaltmak amacıyla genellikle bir jel ile kaplı olarak üretilir. Elektrotların iletken kısmını iletken olmayan tercihen köpük, yapışkan bir madde kaplar. Dinamik hareketler sırasında elektrot deri arasındaki temasın azalmaması için kullanılan yapışkan kalitesi önemlidir [72, 73].

yEMG ölçümünde gürültü ve artefakt

Gürültü ve artefakt EMG uygulayıcılarının istemediği, toplanmak istenen sinyalle karışan çevresel ya da elektrot deri arayüzü tüm kavramları ifade eder. Kalite bir ölçüm için sinyal/gürültü oranının yüksek olması beklenir [73].

EMG kullanıcıları için gürültü yaratabilecek kavramlardan bir diğeri de elektrokardiyografi (EKG) sinyalidir. EKG özellikle sol taraf üst gövde ölçümlerinde EMG sinyaliyle karışabilir ve yanlış yorumlamalara neden olabilir. Sinyal analizi sırasında EKG artefaktını elimine

edebilmek için özel filtreleme yöntemleri uygulanmalıdır. Ekstremitte ölçümlerinde EKG artefaktı çok sık görülmez [73].

Bir diğer gürültü nedeni çevrede bulunan güç kablosu, bilgisayar, şarj aleti, florasan gibi elektrik kaynaklarının ortaya çıkardığı artefaktlardır. Genellikle 50-60 Hz frekansında oluşurlar. Böyle bir durumda gürültüye sebep olan cihazlar kapatılmalı ya da birkaç metre uzaklaşılmalıdır.

Özellikle dinamik ölçümlerde ortaya çıkan bir diğer gürültü sebebi hareket artefaktıdır. Hareket artefaktı dinamik bir ölçüm sırasında oluşan doğru akımdaki dalgalanmaları ve sinyaldeki büyük sapmaları ifade eder. Bu durum elektrotların cilt yüzeyinde kayarak kendi elektrik potansiyelini oluşturması nedeniyle olur. Sinyal analizi yapıldıktan sonra hareket artefaktını algılamak kolay olmaz [73]. Bu yüzden analiz öncesi ham veriler mutlaka incelenmelidir. Hareket artefaktını azaltmak için elektrotlar vücuda bantlanabilir ve fiksasyon için file bandajlar kullanılabilir.

Özellikle uygulama yapılan bölge küçük ve farklı kasların bir arada olduğu bir alan ise çapraz gürültü (cross talk) oluşma ihtimali vardır. Komşu kaslardan yansıyan EMG sinyalleri çapraz gürültüyü ifade eder. Bu tarz bölgelerde artefaktı engellemek için doğru boyutta elektrotlar seçilmeli ve elektrot yerleşimde ekstra hassasiyet gösterilmelidir [73, 74].

Derinin hazırlanması

Deri impedansı yEMG uygulamalarında kritik bir kavramdır. Elektrotların yapıştırıldığı bölgenin deri direncinin yüksek olması alınan ölçümün kalitesini yakından etkilemektedir.

Deri impedansını azaltmak için elektrot yapıştırılacak bölge tıraş edilmeli, ölü deriyi kaldırmak için zımparalanmalı ve sonrasında alkollü bir pamukla iyice temizlenmelidir [72].

Sinyal normalizasyonu

yEMG ölçümlerinin kaslar ve bireyler arasında karşılaştırılabilmesi için bazı standart normalleştirmelere ihtiyaç vardır. Ölçüm alınan bölgelerin farklılığı, kişiler arasındaki antropometrik değişiklikler yorumlama konusunda bir karmaşa yaratabilir. Yaş, cinsiyet, kasın kesit alanı, kas lifi tipi, deri impedansı, deri altı yağ dokusunun kalınlığı, kasın

dinlenim sırasındaki boyu gibi birçok farklı faktör EMG ölçümlerini etkileyebilmektedir. Bu yüzden alınan veriler normalleştirilmez işe tek başına yanıltıcı olabilirler [73].

Normalizasyon genellikle ölçülen standart bir değere göre verilerin yüzdesinin alınması yöntemidir. En sık kullanılan yöntem Maksimal İstemli Kontraksiyondur (MİK). Bu metoda göre katılımcı dirence karşı tüm gücüyle istemli izometrik kontraksiyon yapar bu sırada EMG kaydı alınır [75]. Bu işlem 3 kez tekrarlanır. 6 saniyelik kasılma sırasında ortadaki 2 saniye sinyal işlemede kullanılır ve pik değerler hesaplanır. 3 ölçümün ortalaması kaydedilir. Daha sonra alınan tüm ölçümler bu değere göre normalize edilerek % MİK olarak ifade edilir [76]. Bu yöntemin dezavantajlarından biri kişinin çabasına dayanmasıdır ve bireyin maksimal efor sarf edip sarf etmediğini anlamak zordur. Ağrısı olan kişilerde bu durum daha komplikedir.

MİK ölçümündeki bu eksiklikler nedeniyle araştırmacılar normalizasyon için farklı teknikler geliştirme yoluna gitmişlerdir. Bunlardan bir tanesi Referans İstemli Kontraksiyon (RİK) yöntemidir. Bu teknikte bir dinamometre kullanılarak kişiden önceden belirlenmiş bir seviyede kas kontraksiyonu yapması istenir (Genellikle maksimum kuvvetin yüzde 50'sinde). Ya da dinamometre olmaksızın referans bir hareket belirlenir ve bu pozisyondan ölçüm alınabilir. Referans ölçümlerde alınan bu değerler MİK'de olduğu gibi yEMG verilerinin % olarak yorumlanmasını sağlar. Bu yöntemin kişiler arası güvenilirliği MİK'e göre daha yüksektir [73, 76].

Bir diğer normalizasyon yöntemi ise yürüme gibi dinamik bir hareketi referans olarak kabul ederek bu değerler üzerinden yorumlama yapmaktır.

MİK yüksek seviye egzersizlerin kullanıldığı çalışmalarda duyarlılığı yüksek bir uygulamadır. Aktivasyon seviyesi düştükçe duyarlılık azalır. Aktivasyonun düşük olduğu değerlerde ise % RİK kullanılması tavsiye edilir [76].

2.4. Hamstring Yaralanmalarına Genel Bakış

Hamstring yaralanmaları (HY) hem amatör hem de profesyonel sporlarda sıklıkla karşılaşılan bir kas iskelet sistemi patolojisidir. Özellikle doğası gereği sprint performansı gerektiren sporlarda (futbol, Amerikan futbolu, rugby, beysbol, atletizm, kriket vb.) yüksek

insidans göstermektedir [77]. 2007-2015 yılları arasında düzenlenen uluslararası atletizm turnuvaları incelendiğinde tüm yaralanmaların yüzde 41'inin kas yaralanmaları olduğu ve en sık yaralanan kas grubunun ise hamstringler olduğu gösterilmiştir [78, 79]. Hamstring strainleri çoğunlukla orta şiddette oluşur (%54) ve bu şiddetteki bir yaralanma ortalama 17 gün spordan uzak kalmaya sebep olur. %15 oranda yaralanma ise şiddetli sınıftadır ve daha uzun rehabilitasyon süresi gerektirir (> 28 gün spordan uzak kalma) [18]. HY tek başına her bir profesyonel futbol kulübü için yıllık ortalama 90 günlük bir iş gücü kaybına neden olur [80]. UEFA şampiyonlar ligi dahilinde yapılan gözlemsel bir çalışmada 1000 saatlik maruziyete bağlı hamstring yaralanmalarının 13 yılda her yıl için ortalama % 2,3 oranında arttığı ortaya konmuştur [18]. Yaralanmalar müsabaka sırasında antrenmandan daha fazla görülürken, sezon öncesi ve sezon karşılaştırıldığında HY'nin sezon öncesi daha çok ortaya çıktığı gösterilmiştir. Erkeklerde kadınlardan ortalama yüzde 64 daha çok görülen HY, genellikle temassız bir mekanizmayla oluşur [81]. Akut HY sıklıkla yüksek hızda koşu ya da yavaş hızda aşırı gerilme sonucu meydana gelir ve uyluğun arkasında ağrıyla karakterizedir [82, 83]. Koşu sırasında görülen yaralanmalar Tip 1 yaralanmalardır ve literatürde hamstring straini olarak bilinir. Tip 2 yaralanmalar ise genellikle kalça fleksiyonu ve diz ekstansiyonunun kombinasyonu şeklinde hamstringlerin aşırı gerilmesi sonucu meydana gelir. Bu tipte yaralanma genellikle tuber iskiadikuma yakın konumdadır ve sıklıkla semimembranozusun proksimal serbest tendonu etkilenir. Bu tarz yaralanmalar strainlere kıyasla daha uzun rehabilitasyon zamanıyla ilişkilidir [84].

Sprint sırasında ekstremitenin yere yaklaştığı ve temas ettiği (terminal salınım fazı ve erken vuruş fazı) aşamada hamstringler eksentrik olarak kasılarak ekstremitayı kontrol eder ve ekstansiyonu yavaşlatır. Strain yaralanmaları genellikle bu fazda meydana gelir ve sıklıkla biceps femoris kasının uzun başı (muskolotendinöz bileşke) etkilenir [16]. Öte yandan akut hamstring yaralanmalarının mekanizmasını video analiz yöntemiyle değerlendiren güncel bir çalışmada, konunun sadece sprintle ilişkili olmağı, özellikle gövde fleksiyonu ve diz ekstansiyonu içeren pozisyonların sporcular için risk yaratabileceği ortaya konmuştur. Yine aynı çalışmada tek taraflı gövde rotasyonunun da yaralanma mekanizmasında önemli olabileceği vurgulanmıştır [85].

HY'nin risk faktörlerini belirlemek ve bu faktörlere göre önleme programları oluşturmak için birçok çalışma tasarlanmıştır. Risk faktörleri değiştirilebilen (fleksibilite, yorgunluk, eksentrik kuvvet, fasikül uzunluğu) ve değiştirilemeyen (geçirilmiş yaralanma, yaş, genetik)

faktör olmak üzere iki başlıkta toplanmaktadır [17, 86]. Son yıllarda eksentrik kuvvet ve biceps femoris kasının uzun başının fasikül uzunluğu ön plana çıkmıştır. Prospektif kohort bir çalışmada düşük eksentrik kas kuvvetinin (<337 N -NordBord sistemi ile değerlendirme) 4,4 kat yaralanma riskini artırdığı ortaya konmuştur. Aynı çalışmada biceps femoris uzun başının fasikül uzunluğunun kısa olmasının (< 10.56 cm) yaralanma riskini 4,1 kat artırdığı gösterilmiştir [87].

HY'nin 1/3 oranında tekrarlayıcı bir yaralanmayla sonuçlandığı ve ikinci yaralanmanın daha şiddetli olduğu bulunmuştur. Bu durum genellikle spora dönüş sonrası ilk iki hafta içerisinde meydana gelmektedir [88]. Yüksek orandaki tekrarlayıcı yaralanma prevelansı araştırmacıları spora dönüş zamanı ve rehabilitasyon kriterleri konusunda düşünmeye itmiştir.

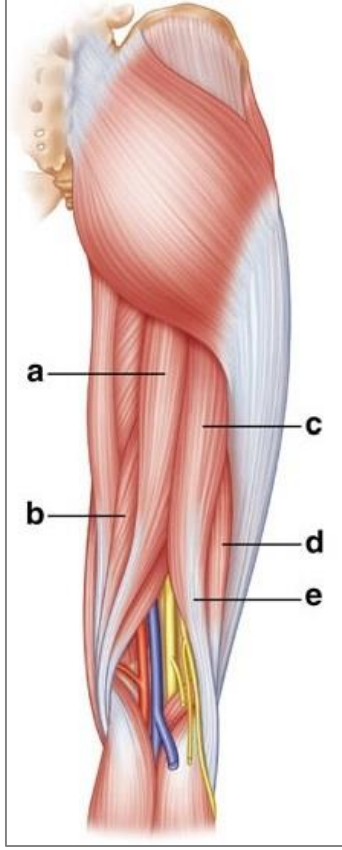
Van Dyk N ve arkadaşları tarafından 614 profesyonel futbol oyuncusu üzerinde yapılan kapsamlı çalışmada düşük egzentrik diz fleksiyon kuvvetinin HY için risk oluşturduğu gösterilmiştir [89]. HY sonrası yaralanan ekstremitenin eksentrik fleksiyon kuvvetinin ($5-25^\circ$) sağlam tarafa kıyasla azaldığı literatürde ortaya konmuştur [90]. Bu durum tekrarlayıcı yaralanmaların en önemli sebeplerinden biridir.

2.5. Hamstring Kas Grubunun Anatomisi

Hamstring kas grubu üç ayrı kastan oluşur; Semitendinosus (ST), Semimembranosus (SM) ve Biceps femoris (BF) (Şekil 2.2). Biceps femorisin kısa başı hariç tuber ishiadikumdan orijin alırlar, femur boyunca uzanarak femorasetabular ve tibiofemoral eklemi kat ederler. BF'nin kısa başı ise femoral linea aspera'nın lateralinden başlar ve bu sebeple femoraasetabular eklemle ilişkili değildir. Distalde BF'nin kısa ve uzun başı fibula başına tutunurken, SM tibianın medial kondiline, ST ise pes anseriniye yapışır (Şekil 2.3). BF'nin kısa başı hariç tüm kaslar siyatik sinirin tibial dalı tarafından inerve edilir. BF'nin kısa başı ise peroneal sinir tarafından uyarılır. Hamstring kaslarının beslenmesi derin femoral arter tarafından sağlanır [91, 92].

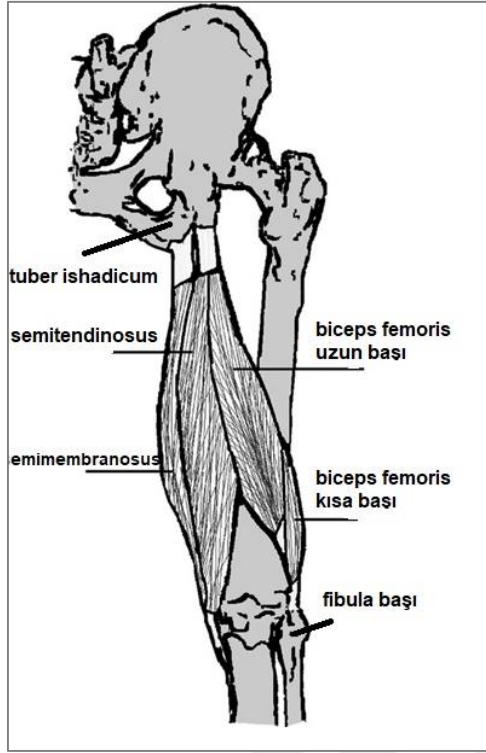
Hamstring kaslarının fonksiyonuyla ilgili bilinen klasik bilgi dize fleksiyon, kalçaya ekstansiyon yaptırdığı yönündedir. Fonksiyonel açıdan baktığımızda hamstringler eksentrik

olarak kasıldığında yürüme ve koşmanın terminal salınım fazında ekstremité hızını kontrol eder.



Şekil 2.2. Hamstring kaslarının illüstrasyonu

Medialde semitendinosus (a) ve semimembranosus (b) ve lateralde biceps femorisin uzun başı (c ve e) ve kısa başı (d)



Şekil 2.3. Hamstring kaslarının Origo ve İnsertio'su

2.6. Hamstring Yaralanmalarını Önleme Stratejileri

Özellikle doğası gereği tekrarlayıcı sprint performansı beklenen sporlarda hamstring yaralanmalarının önüne geçilmesi çok önemlidir. Bu nedenle bazı yaralanma önleme programları oluşturulmuştur [11, 13-15, 19, 93]. Eksentrik eğitimin hamstring yaralanmalarını önlediğine dair çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır [11, 12, 14]. Askling ve diğ. elit futbolculara sezon öncesi eksentrik kuvvetlendirme programı uygulamışlar ve HY'nin % 47 oranda azaldığını ancak performans parametrelerinde herhangi bir değişiklik olmadığını bulmuşlardır [12]. Bir başka çalışmada eksentrik ve konsantrik hamstring egzersizleri yaralanmaları önleme açısından karşılaştırılmış ve eksentrik eğitimin üstünlüğü gösterilmiştir [94]. HY'yi önleme programları incelendiğinde öne çıkan en popüler egzersiz şüphesiz nordik hamstring egzersizidir (NHE).

2.6.1. Nordik hamstring egzersizi

Eksentrik egzersizin konsantrik egzersizle kıyaslandığında daha fazla kuvvet artışı sağladığı bilinmektedir [95]. Yine eksentrik kuvveti geliştirmede ve fasikül uzunluğunu artırmada eksentrik egzersizler ön plana çıkmaktadır [96, 97].

NHE eskiden Rus hamstring egzersizi olarak bilinmekteydi [98]. Bu egzersiz herhangi özel bir ekipman gerektirmeyen, bir partner yardımıyla her yerde uygulanabilir, vücut ağırlığı ile yapılan diz dominant bir egzersizdir. NHE sırasında kişi dizlerinin üzerinden öne doğru düşme hareketi gerçekleştirir ve düşme sırasında hamstringlerini kullanarak kendini mümkün olduğunca yavaşlatması istenir. Böylece eksentrik fazda artmış bir yüklenme oluşur. Eksentrik eğitimin kas kuvveti ve kitlesine olan olumlu etkileri bilinmektedir [99]. İzole olarak NHE'nin etkilerine bakıldığında; profesyonel futbolcularda yapılan bir çalışmada 10 haftalık NHE programının 60 %sn açısal hızda eksentrik diz fleksiyon kuvvetini % 11 oranında artırdığı ortaya konmuştur [94]. Yine 4-6 haftalık NHE eğitimi sonrası egzentrik diz fleksiyon kuvvetinde %15-21 arası artışlar olduğunu ortaya koyan kanıtlar mevcuttur [99]. NHE'nin eksentrik kuvvet ve biceps femoris uzun başının fasikül uzunluğu üzerine olan etkilerini inceleyen güncel bir metanaliz ve sistematik derlemede NHE eksentrik kuvveti geliştirmede etkili bulunmuş, (izokinetik dinamometre ölçümlerimde %10-15, NHE cihazı ile yapılan ölçümlerde %16-26 artış) yine biceps femoris uzun başının fasikül uzunluğunu artırmadaki (% 12-22) başarıları ortaya konmuştur [100]. Diğer önemli bir husus ise NHE'nin kuvvet ölçümleri sırasında ortaya çıkan pik tork değerinin düşük fleksiyon açılarında meydana gelmesini sağlamasıdır [94, 101]. Çünkü HY mekanizması dikkate alındığında fleksiyonun ilk açılarında ortaya çıktığı görülmektedir.

NHE'nin tüm bu etkileri hamstring strain yaralanmalarını önlemede onu öne çıkarmaktadır. Konuyla ilgili Norveç ve İzlanda futbol kulüplerinde yürütülen çalışmada NHE önleme programını uygulayan oyunculara % 65 oranında daha az hamstring yaralanması görülüşü ortaya konmuştur [11]. Benzer bir program kullanılan ve Danimarka kulüplerinde oynayan 942 futbolcu üzerinde gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada NHE'nin yaralanmaları önlemedeki başarısı gösterilmiştir [14].

2003 yılında FIFA'nın medical ve araştırma merkezi (F-Marc) NHE'yi de içeren FIFA 11 yaralanmaları önleme programını oluşturdu. 2016 yılında ise FIFA 11+ olarak geliştirildi. Bu programda NHE için başlangıçta en az 3-5 tekrar, orta seviyede en az 7-10 tekrar, ileri seviyede ise en az 12-15 tekrar tavsiye edilmektedir [102, 103].

NHE'nin etkinliği ile ilgili birçok kanıt bulunmasına rağmen, bazı yazarlar bu egzersizin dezavantajlarını vurgulamışlardır. Eksentrik fazın son açılarında (son faz, düşük fleksiyon açıları) yeterli kassal aktivasyon açığa çıkarıp çıkaramadığı sorgulanmaktadır. Çoğu sporcu

egzersizin zorluğu nedeniyle bu açılara ulaşmadan kendilerini yere bırakmaktadır. NHE’de hamstring kaslarının kassal aktivasyonunu inceleyen bir çalışmada pik elektromyografi (EMG) aktivasyonlarının $65,4^{\circ} \pm 8,4^{\circ}$ fleksiyonda çıktığı ve 45° ’de ise ciddi bir azalma olduğunu ortaya koymuşlardır [104]. NHE ile ilgili diğer eleştirilen konu ise HY’nin ortaya çıktığı sporlardaki fonksiyondan farklı bir mekanizmaya sahip olmasıdır. Ayrıca ilk tekrarlardan sonra oluşan gecikmiş kas ağrısı sporcularda NHE konusunda endişe yaratmaktadır.

NHE’nin hamstring strain yaralanmalarını önlediğine dair birçok çalışma bulunmasına rağmen son zamanlar yayınlanan bir metaanaliz ezber bozan niteliktedir. Bu çalışmada daha önce yapılan metaanaliz ve derlemelerin yöntemi eleştirilirken, NHE’nin yaralanmaları önleme konusundaki etkisini ortaya koyacak yeterli kanıt olmadığı ve bu iddianın yüksek yanlışlık riski bulunduran randomize kontrollü çalışmalardan beslendiği iddia edilmektedir [105].

Oluşturulan yaralanma önleme programlarına rağmen UEFA’ya bağlı kulüpler üzerinde yapılan uzun soluklu bir çalışma 2001 ile 2014 yılları arasında HY görülme oranının yıllık ortalama % 4 arttığı gösterilmiştir [18].

Literatürde farklı gövde, kalça ve diz fleksiyon açılarında yardımcı ya da yardımcı olmayan birçok varyasyonu üzerine çalışmalar yapılan NHE’nin [106, 107] KAKE ile birlikte kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. NHE’nin kan akımı kısıtlamasıyla birlikte yapılması nöromusküler aktivasyonu artırabilir ve uzun vadede hipertrofi, kuvvet gibi parametreler üzerine olumlu etkiler sağlayabilir. KAKE’yle ilgili, hem daha önce NHE ile kombine edilen bir çalışma olmaması, hem de vasküler yapılar üzerine olan etkilerinin tartışmalı olması nedeniyle bu çalışmanın amacı; NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasının hamstring kaslarının nöromusküler aktivasyonu ve vasküler yapılar üzerine olan akut etkilerini araştırmaktır.



3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Katılımcılar

Bu tez çalışması Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı ile Tıp Fakültesi Girişimsel Radyoloji Bilim Dalı işbirliği ile randomize, kontrollü, tek kör olarak planlandı. Çalışmaya Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu izni alındıktan sonra başlandı (Evrak Tarih ve Sayısı: 08.02.2021-E.18938, Araştırma Kod No: 2021 – 82 Ek-1). Tüm ölçümler Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Radyoloji Bilim Dalı’nda yapıldı. Çalışma yaş ortalamaları $27,5 \pm 1,24$ yıl olan 14 erkek bireyle gerçekleştirildi. Katılımcılar herhangi bir tanısı konmuş kronik hastalığı ve alt ekstremitte yaralanma öyküsü olmayan kişilerdi. Katılımcıların bir alt ekstremitesi deney grubunu, diğer alt ekstremitesi ise kontrol grubunu oluşturacak şekilde basit randomizasyon (kura ile) yapıldı. Bu aşamada dominantlık dikkate alınmadı. Çalışma öncesi her iki alt ekstremitenin “ayak bileği-kol indeksi” ölçüldü ve 0,9’un altında olanlar dışlandı. Katılımcılar ölçümlerden 12 saat öncesinde antioksidan ve antiinflatuar ilaçlardan, kafeinden ve alkolden uzak durması gerektiği konusunda bilgilendirildi.

Dahil edilme kriterleri

- 18-35 yaş arasında olmak
- Erkek cinsiyet
- Çalışmaya katılmaya gönüllü olmak
- Ayak bileği kol indeksi 0,9’un üstünde olmak

Dışlama kriterleri

- Koroner kalp hastalığı, böbrek hastalıkları, diyabet, kontrol edilemeyen hipertansiyon gibi kronik hastalıkları olmak
- Derin ven trombozu öyküsü olmak
- Geçirilmiş hamstring yaralanması olmak
- Sigara içmek
- Vücut Kütle İndeksi 25’in üzerinde olmak
- Majör cerrahi öyküsü olmak

- NHE'yi yapamamak
- Covid-19 Geçirmiş olmak

3.2. Deneysel Dizayn

Demografik bilgileri alınan gönüllülerin öncelikle popliteal arterden “Flow Mediated Dilation” (FMD) ölçümleri gerçekleştirildi [69]. Bu ölçüm araştırmaya körlük niteliği kazandırmak için, hangi ekstremitenin deney grubu olduğunu bilmeyen bir uzman radyolog tarafından deney ve kontrol bacağı olmak üzere bilateral olarak yapıldı. Yine bu aşamada alt ekstremita venleri bilateral olarak trombüs açısından değerlendirildi. Ultrasonografi ölçümleri alınan katılımcıların bir alt ekstremitesi deney, diğer alt ekstremitesi kontrol grubu olacak şekilde basit randomizasyon yapıldı. Her iki alt ekstremita için ayak bileği kol indeksleri ölçülen [108] katılımcıların hamstring kaslarına yEMG elektrotları yerleştirildi ve öncelikle maksimal istemli kontraksiyon ölçümleri alındı [109]. 5 dakika dinlenen katılımcıların uygulama yapılacak ekstremitelerinin proksimaline manşon yerleştirildi ve arterial oklüzyon seviyesi tespit edilmesi için şişirildi [38]. Arterial oklüzyon seviyesi doppler ultrasonografi ile tespit edilen katılımcılara bu seviyenin yüzde 60'ına denk gelen basınçla kan kısıtlaması uygulandı ve kısıtlama ile 2x5 ağırlıksız 90 derece squat ile ısınma egzersizi yaptırıldı. Isınma sonrası Nordic sehpasına alınan katılımcılar 2 tekrarlı alıştırmaların ardından 5 sn süreli 3 set 5 tekrarlı olacak şekilde NHE yaptırıldı [11]. Tekrarlar sırasında nöromusküler aktivasyon yEMG ile kaydedildi. Egzersiz sonrası manşon indirildi ve 15 dk sonra başlangıçta alınan ayak bileği kol indeksi ve ultrasonografi ölçümleri aynı prosedürle tekrar edildi.

Çalışmada tek bir egzersiz seansı kullanılmış ve bu egzersiz seansı sırasında myoelektrik aktivasyon ölçülmüş ve sonrasında akut olarak vasküler yapılar değerlendirilmiştir.

3.3. Değerlendirme Yöntemleri

3.3.1. Demografik bilgiler

Katılımcıların yaş, boy, vücut ağırlığı, vücut kütle indeksi hastalık özgeçmişi bilgileri kaydedildi. Tüm katılımcılar bilgilendirilmiş gönüllü olur formunu okudu ve imzaladı.

3.3.2. Ayak bileği kol indeksi

ABKİ alt ekstremite arterlerinin kalitesini değerlendirmeden basit, ucuz ve ulaşımı kolay bir yöntemdir. Periferik arterlerdeki ateroskleroza tespit etmekte kullanılan girişimsel olmayan bir tekniktir. ABKİ değerinin 0.9'un altında olması kardiyovasküler hastalıklar açısından risk oluşturmakta ve buna bağlı ölümlerle ilişkilendirilmektedir [108].

Katılımcıların ABKİ değerlerini belirlemek için öncelikle her iki kolda brakiyal arterden vasküler doppler ultrasonografi (Hi-dop/8 mhz) ve sfigmomanometre vasıtasıyla sistolik basınç değerlendirildi. Daha yüksek olan brakiyal sistolik basınç kaydedildi. Daha sonra her iki ayak bileği için posterior tibial arterden aynı ölçüm gerçekleştirilerek ve sağ, sol olarak not edildi. ABKİ her alt ekstremite için Posterior Tibial Arter Basıncı/ Brakiyal Arter Basıncı olacak şekilde hesaplanarak ve kaydedildi [108].

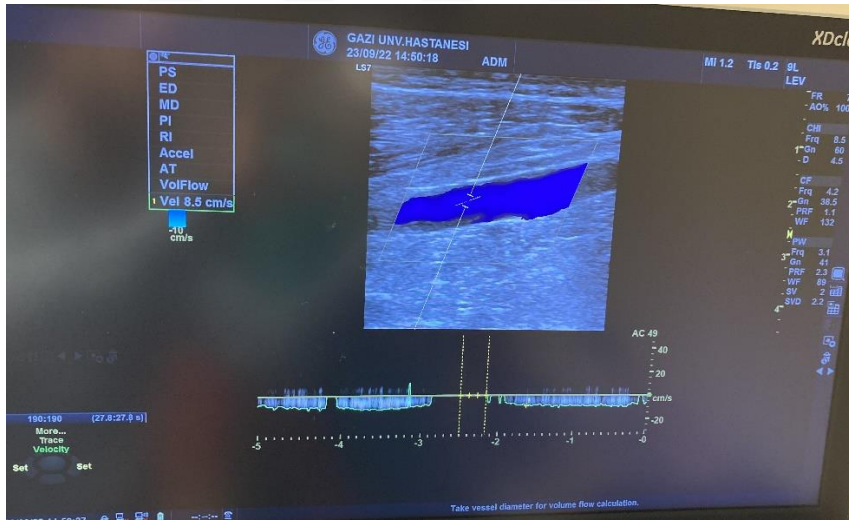


Resim 3.1. Ayak bileği kol indeksi ölçümü

3.3.3. Flow mediated dilation ve venöz ultrasonografi

Katılımcılar ölçümden önce egzersiz yapmaması (>24 saat), kafein, alkol, C vitamini ya da başka bir destek ürünü (>12 saat) kullanmaması konusunda bilgilendirildi [69]. Kardiyovasküler değerlerin stabil hale gelmesi için sırt üstü pozisyonda 15 dakika dinlenen katılımcılar, yüzüstü uzandı ve dizleri ayak bileği altına konulan bir yastık vasıtasıyla hafif fleksiyona alındı. Öncelikle venöz kan akımı trombüs formasyonu açısından incelendi

(Resim 3.2.). Popliteal arter 9 mhz lineer prop vasıtasıyla longitudinal olarak görüntülendi [110] (Resim 3.3.). Damar çapı 1 dakika boyunca izlendi ve bu 1 dakika içerisinde 3 kez kaydedilerek, 2 boyutlu bir şekilde intemadan intemaya ölçüldü (Resim 3.6.). Çap ölçümleri popliteal fossanın hafif distalinde, popliteal arterin dallandığı bölgenin hemen üst kısmında, diyastol fazının sonunda yüksek çözünürlüklü dupleks doppler ultrasonografi cihazı (Logiq S7 Expert R3; GE Medical Systems, Korea) ile gerçekleştirildi. Alınan 3 ölçümün ortalaması bazal popliteal arter ölçümü olarak kaydedildi. Reaktif hiperemi sonrası dilatasyonu değerlendirmek için popliteal fossanın distaline gastronemiceus kası üzerine şişirilebilir bir manşon yerleştirildi ve 300 mmHg' ye şişirilerek ve kan akımı tümüyle kısıtlanarak iskemi oluşturuldu (Resim 3.4.). 5 dakika sonunda manşon hızlıca söndürüldü (Resim 3.5.) ve 30. 60. ve 90. saniyelerde 3 kez popliteal arterin çapı diyastol fazının sonunda ölçüldü (Resim 3.7.). 3 ölçüm arasında en yüksek olanı hiperemi sonrası maksimum popliteal arter çapı olarak kaydedildi. Akım aracılı dilatasyon miktarı bu değerden bazal popliteal arter çapının çıkarılması ile milimetre (mm) cinsinden elde edildi. Bazal arter çapına bölünüp 100' le çarpılarak FMD % değeri bulundu. Formül olarak, $\% \text{FMD} = [(\text{Hiperemi sonrası arter çapı} - \text{Bazal arter çapı}) / \text{Bazal arter çapı}] \times 100$ şeklinde gösterilebilir [69, 110].



Resim 3.2. Popliteal ven kan akımı



Resim 3.3. Baseline popliteal arter çap lümü



Resim 3.4. Manşonun şişirilmesi ve iskemi oluşturma



Resim 3.5. Manşonun söndürülmesi ve reaktif hiperemi sonrası popliteal arter ölçümleri



Resim 3.6. Reaktif hiperemi öncesi popliteal arter longitudinal görüntüsü

3.4.1. Kassal lokasyonlar ve elektrotların yerleşimi

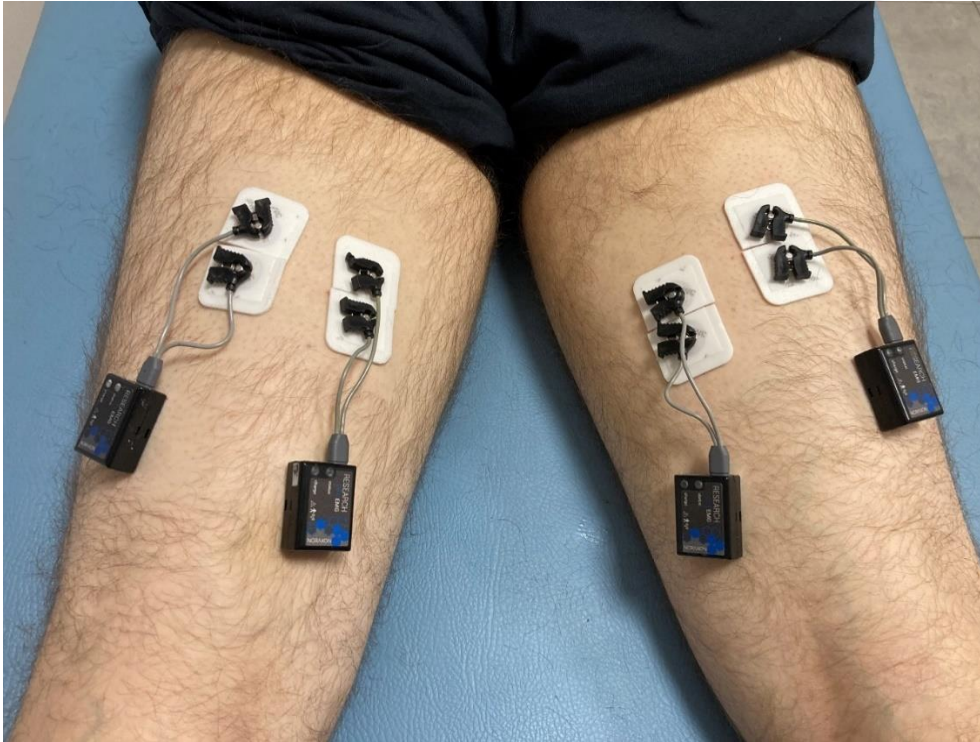
Her iki alt ekstremitede biceps femoris ve semitendinosus kasları üzerinden ölçüm alındı. Elektrotlar önerildiği gibi kas liflerine paralel olarak yerleştirildi.

M.Biceps Femoris: Prone pozisyonda yatan katılımcıların dizi 90°'den az olacak şekilde fleksiyona alındı. Kalça hafif eksternal rotasyona getirildi. Tuber iskiadikuma ve tibianın lateral epikondili palpe edildi ve aralarındaki mesafe mezura ile ölçüldü. Bu iki yapının tam ortasına (mezura ile ölçülen değerin %50'si), biceps femoris kasının en şişkin olduğu bölgeye kas liflerine paralel olacak şekilde elektrotlar yapıştırıldı. Kas lokasyonunun doğru tespit edilebilmesi için mevcut pozisyonda dirençli diz fleksiyonu yaptırıldı. Oryantasyon tuber iskiadikum ile tibianın lateral epikondili hattına paralel olacak şekilde sağlandı. İpek flaster ve file bandaj ile sabitleme yapıldı [111] (Resim 3.9.).

M. Semitendinosus: Prone pozisyonda yatan katılımcıların dizi 90°'den az olacak şekilde fleksiyona alındı. Kalça hafif internal rotasyona getirildi. Tuber iskiadikum ve tibianın medial epikondili palpe edildi ve aralarındaki mesafe mezura ile ölçüldü. Bu iki yapının tam ortasına (mezura ile ölçülen değerin %50'si), semitendinosus kasının en şişkin olduğu bölgeye kas liflerine paralel olacak şekilde elektrotlar yapıştırıldı. Kas lokasyonunun doğru tespit edilebilmesi için mevcut pozisyonda dirençli diz fleksiyonu yaptırıldı. Oryantasyon tuber iskiadikum ile tibianın medial epikondili hattına paralel olacak şekilde sağlandı. İpek flaster ve file bandaj ile sabitleme yapıldı [111] (Resim 3.9.).



Resim 3.8. Derinin hazırlanması ve deri empedansının ölçülmesi



Resim 3.9. Biceps femoris ve semitendinosus için yEMG elektrotlarının yerleşimi

3.4.2. Maksimal istemli kontraksiyon (MİK) ölçümü

yEMG cihazları bağlanan katılımcılar prone pozisyonda yatağa uzandı. Yatağın ayarlanabilir başlığı ile katılımcıların her iki dizi 45°'lik fleksiyona alındı. Kompansasyonu

engellemek için kalça bir kemer vasıtasıyla yatağa sabitlendi. Bu pozisyonda katılımcılardan her alt ekstremité için sırayla diz fleksiyonu yapmaları istendi ve lateral malleolün yaklaşık 5 cm üzerinden uygulanan manuel direnç ile harekete engel olunarak izometrik kasılma sırasında EMG kayıtları alındı. MİK ölçümü her diz için 3'er kez 5 sn olacak şekilde kaydedildi [109] (Resim 3.10.).



Resim 3.10. Dirençli izometrik diz fleksiyonu ile MİK ölçümü

3.4.3. Sinyal analizi

EMG verilerinin sinyal analizi Noraxon myoRESEARCH® 3.14 (Noraxon USA) yazılımı ile gerçekleştirildi. Infinite Impulse Response (IIR) modunda 500 Hz low pass, 10 Hz high pass filtresi uygulandı. 100 ms aralıklarla Root Mean Square (RMS) ile düzenlendi.

3.5. Kan Akımı Kısıtlama Protokolü

Randomizasyon ile kısıtlama yapılacak olan ekstremiteler belirlendi. 80 cm uzunluğunda 10 cm genişliğinde olan manşon kısıtlama bacağında femurun proksimaline yerleştirildi. Katılımcı NHE'nin başlangıç pozisyonunu aldı. Ortostatik etkiyi en aza indirmek için ölçüm egzersiz pozisyonunda alındı. AOB'nin tespiti için bu pozisyonda nabız posterior tibial arterden vasküler doppler ultrasonografi (Hi-dop /8 mhz) ile ölçülmeye başlandı. Manşon kendine ait sfigmomanometre ile kontrollü bir şekilde şişirilerek nabızın alınamadığı basınç AOB olarak kaydedildi. Bu basıncın %60'ı egzersiz basıncı olarak hesaplanmış ve söndürülen manşon bu değere tekrar şişirilerek kan akımı kısıtlaması sağlandı [38] (Resim 3.11.).



Resim 3.11. Deney ekstremitelerinin kan akımının kısıtlanması ve AOB'nin belirlenmesi

3.6. Egzersiz Protokolü

Bir ekstremitesine kan akımı kısıtlaması uygulanan katılımcılara ısınma amaçlı 2x5 tekrarlı kalça diz fleksiyonu 90° açıda squat egzersizi yaptırıldı. Isınma sonrası Nordic sehpasına ayak bileklerini ve tabanlarını yerleştirdi ve dizlerinin üzerinde egzersiz pozisyonu aldı. Her iki ekstremiteye verilen ağırlığın eşit olması için başları dik pozisyonda karşıya bakmaları istendi. 3 set 5'er tekrar NHE yapıldı [11] (Resim 3.12.). Her bir tekrarın 5'er saniye

süreceği katılımcılara açıklandı ve ritim metronom ile sağlandı. Setler arasında 30 sn dinlenme araları verildi. Kan akışı kısıtlaması dinlenme aralarında da devam etti. Tüm tekrarlar sırasında yEMG ölçümleri kaydedildi.



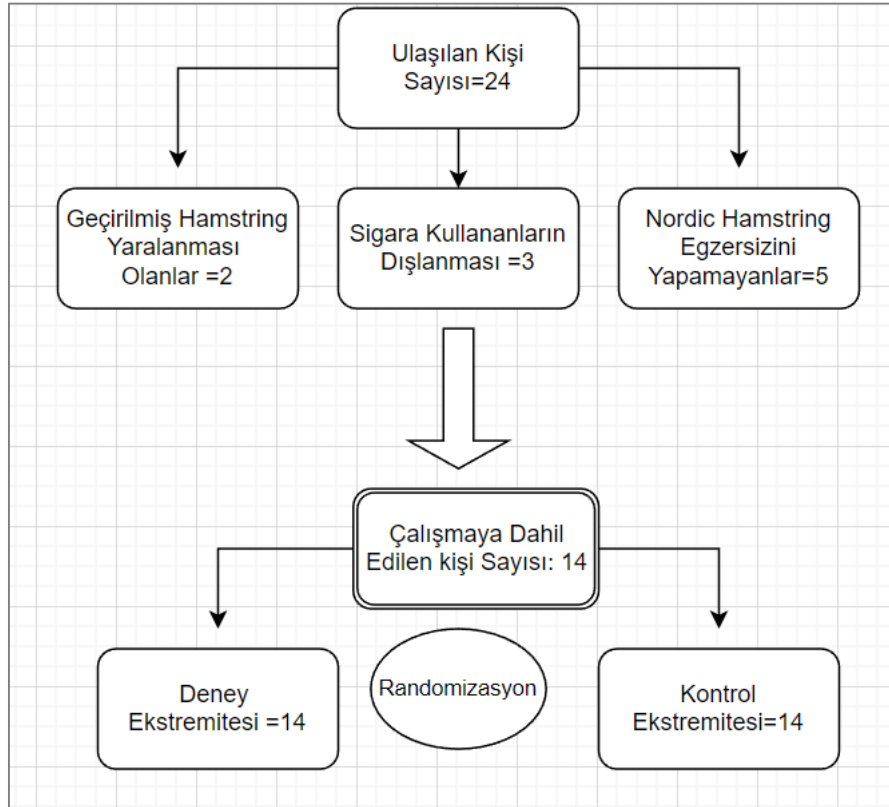
Resim 3.12. Nordic hamstring egzersizi

3.7. İstatiksel Analiz

Örneklem büyüklüğü analizi G.*Power 3.1. programıyla, Ramis ve diğ. referans makalesi kullanılarak [112] gerçekleştirildi. FMD ölçümleri için % 80 güven seviyesinde, % 5 hata payı ile deney ve kontrol grubu için % 10'luk kayıp ön görülerek 15'er olarak belirlendi. Tüm analizler için SPSS 26.0 (IBM, Armonk, USA) yazılımı kullanıldı. Tüm değişkenler için normal dağılım ve varyansların homojenliği değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart hata olarak verildi. Grupların egzersiz öncesi ABKİ, popliteal arter çapı ve FMD değerlerinin karşılaştırılması için bağımsız t testi kullanıldı. ABKİ, yEMG ve FMD ölçümlerinin kontrol (kan akımı kısıtlaması olmayan ekstremit) ve deney (kan akımı kısıtlaması uygulanan ekstremit) grupları arasında karşılaştırılması için iki yönlü tekrarlayıcı ölçümler ANOVA analizi kullanıldı. yEMG verilerinin değerlendirilmesinde Mauchly'nin küresellik testi dikkate alındı ve küreselliğin sağlandığı görüldü. Grup içi karşılaştırmalar için Paired Student t testi uygulandı. Çoklu ölçümleri değerlendirmek için Bonferroni düzeltmesi yapıldı. İstatistiksel anlamlılık için alfa düzeyi 0,05 olarak belirlendi.

4. BULGULAR

Çalışma için 24 kişiye ulaşıldı. 24 kişi arasında geçirilmiş HY olan 2 kişi, sigara kullanan 3 kişi ve NHE'yi doğru şekilde yapamayan 5 kişi olmak üzere toplam 9 kişi çalışmadan dışlandı. Çalışma akış şeması şekil 4.1.' dir.



Şekil 4.1. Çalışma akış şeması

Katılımcıların demografik verileri Çizelge 4.1.'de verildi. 14 katılımcının yaş ortalaması $27,5 \pm 1,24$, vücut ağırlığı ortalaması $76,78 \pm 1,54$ kg, boy ortalaması $179,28 \pm 1,91$ cm, VKİ ortalaması $23,91 \pm 0,44$ kg/cm² idi. Topa vurulan ayak üzerinden belirlenen alt ekstremitte dominant taraf değerlendirmesi tüm katılımcılar için sağ taraf idi.

Çizelge 4.1. Katılımcıların demografik verileri

Katılımcı Sayısı	Yaş (yıl)	Vücut Ağırlığı (kg)	Boy (cm)	VKİ (kg/cm ²)	Dominant taraf	
	X±SH	X±SH	X±SH	X±SH	Sağ	Sol
14	27,50 ±1,24	76,78±1,54	179,28±1,91	23,91±0,44	14	0

X=Ortalama, SH=Standart Hata

Grupların yEMG ölçümleri öncesi değerlendirilen deri empedansının değerleri Çizelge 4.2.'de verildi. Tümü 2Ω 'un altındaydı ve ST ve BF kaslarının değerleri arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık yoktu ($p>0,05$).

Çizelge 4.2. Grupların yüzeyel elektromyografi ölçümleri öncesi ölçülen deri empedansı değerleri

	Deney Grubu	Kontrol Grubu	
	X $\pm$ SH	X $\pm$ SH	p
ST	0,74 $\pm$ 0,05	0,80 $\pm$ 0,1	0,592
BF	0,79 $\pm$ 0,07	0,91 $\pm$ 0,12	0,386

X=Ortalama, SH=Standart Hata, ST: Semitendinosus, BF: Biceps Femoris

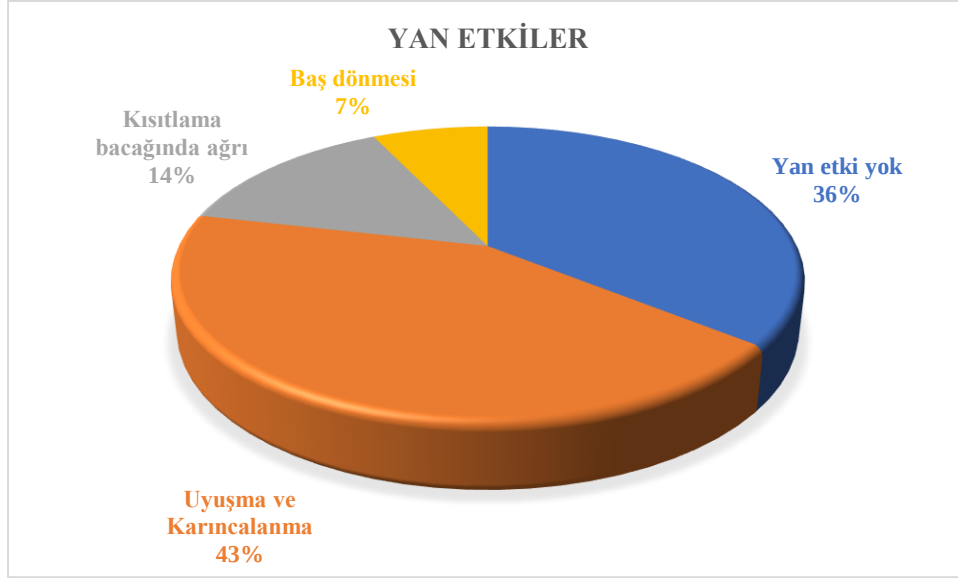
Katılımcıların kısıtlama yapılacak ekstremiteleri basit randomizasyon (kura ile) yöntemiyle belirlendi. Deney grubunun AOB ve kısıtlama basıncı değerleri Çizelge 4.3'de verildi. 10 sağ, 4 sol ekstremitenin kan akışı kısıtlanmıştır. Bu ekstremiteler için AOB ortalama 212,85 $\pm$ 6,96 mmHg ve kısıtlama basıncı 126,85 $\pm$ 3,90 mmHg olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Kan akımı kısıtlaması uygulanan (deney) grubunun arterial oklüzyon basıncı ve kısıtlama basıncı değerleri

Deney Grubu (N)	AOB (mmHg)	Kısıtlama Basıncı (mmHg)	Uygulanan Ekstremiteler	
	X $\pm$ SH	X $\pm$ SH		
14	212,85 $\pm$ 6,96	126,85 $\pm$ 3,90	Sağ 10	Sol 4

X=Ortalama, SH=Standart Hata, AOB: Arterial Oklüzyon Basıncı

14 katılımcının 6 tanesi kısıtlama sonrası uyuşma ve karıncalanma, 2 tanesi kısıtlama bacağına ağrı, 1 tanesi ise baş dönmesi olduğunu bildirdi. 5 olguda ise herhangi bir yan etki görülmedi (Şekil 4.1.).



Şekil 4.2. Katılımcı tarafından bildirilen yan etkiler

Kan akımı kısıtlaması uygulanan ekstremitelerin (deney grubu) egzersiz öncesi popliteal arter çapı ortalaması $5,8 \pm 0,14$ mm olarak idi. Kısıtlama uygulanmayan ekstremitelerin (kontrol grubu) popliteal arter çapı ortalaması $5,8 \pm 0,13$ mm idi. Grupların popliteal arter çapı başlangıç ölçümleri benzerdi ($p > 0,05$) (Çizelge 4.4.).

Egzersiz öncesi deney grubu FMD değerleri ortalaması $5,09 \pm 0,39$ idi. Kontrol grubu için ise bu değer $4,93 \pm 0,31$ 'di. Gruplar arasında istatistiki açıdan benzerdi ($p > 0,05$) (Çizelge 4.4.).

Egzersiz öncesi deney grubu ABKİ değerleri ortalaması $1,13 \pm 0,027$ idi. Bu değer kontrol grubu için $1,12 \pm 0,022$ idi. Gruplar istatistiki açıdan benzerdi ($p > 0,05$) (Çizelge 4.4.).

Çalışmada katılımcıların hiçbirinde egzersiz öncesi ve sonrası deney ve kontrol ekstremitesinde venöz trombüs formasyonuna rastlanmadı.

Çizelge 4.4. Grupların egzersiz öncesi flow mediated dilation, ayak bileği kol indeksi, popliteal arter çapı değerlerinin karşılaştırılması

	Deney Grubu (n=14)	Kontrol Grubu (n=14)		
	X±SH	X±SH	%95 CI	p
Popliteal Arter Çapı (mm)	$5,8 \pm 0,14$	$5,8 \pm 0,13$	$(-0,4) - (0,41)$	0,972
FMD %	$5,09 \pm 0,39$	$4,93 \pm 0,31$	$(-0,88) - (1,2)$	0,758
ABKİ	$1,13 \pm 0,027$	$1,12 \pm 0,022$	$(-0,06) - (0,08)$	0,81

X=Ortalama, SH=Standart Hata, FMD: Flow Mediated Dilation, ABKİ: Ayak Bileği Kol İndeksi

Grupların popliteal arter çap ölçümlerinin egzersiz öncesi ve sonrası değerleri Çizelge 4.5.' de verilmiştir. Deney grubu için popliteal arter çap ölçümleri egzersiz sonrası istatistiksel olarak anlamlı derecede artış gösterdi ($p < 0,05$). Kontrol grubunda da egzersiz sonrası popliteal arter çap değerleri egzersiz sonrası anlamlı derecede artış gösterdi ($p < 0,05$). Egzersiz sonrası gruplar arasında popliteal arter çap değerleri açısından bir farklılık bulunmadı ($p < 0,05$) (Şekil 4.2.).

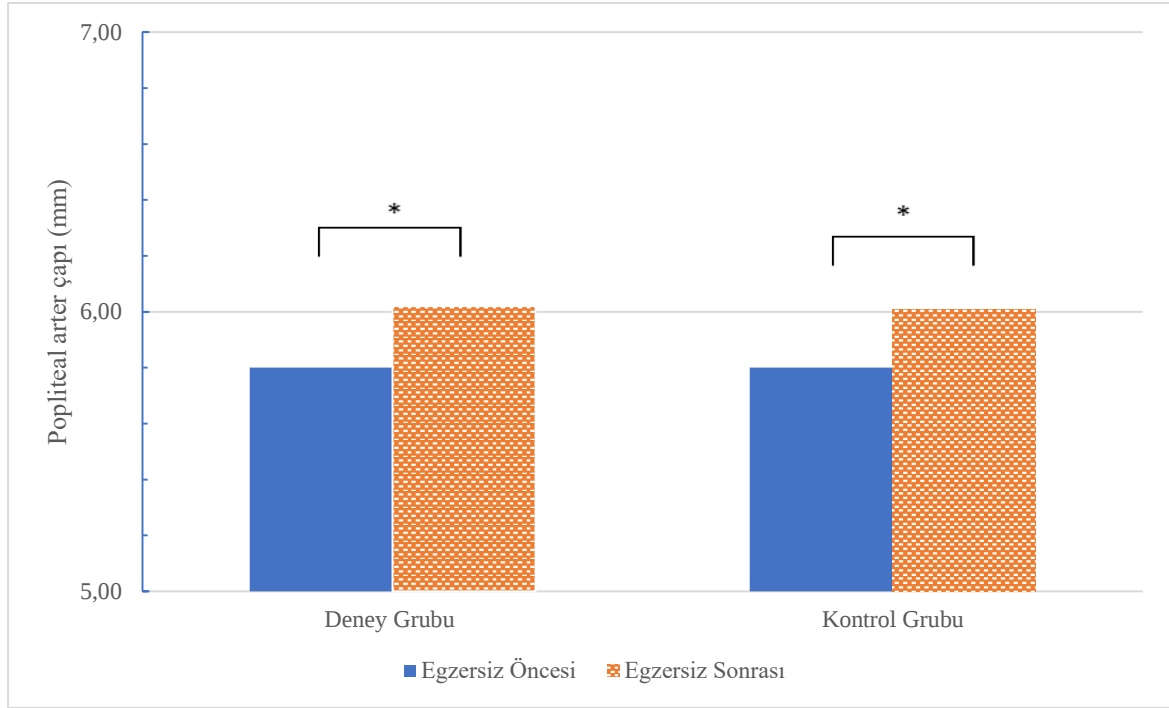
Grupların FMD ölçümlerinin egzersiz öncesi ve sonrası değerleri Çizelge 4.5.' de verilmiştir. Deney grubu FMD ölçümleri egzersiz öncesi ve sonrası istatistiki açıdan bir farklılık göstermedi ($p > 0,05$). Kontrol grubu FMD ölçümleri de egzersiz öncesi ve sonrası istatistiki açıdan benzerdi ($p > 0,05$). Egzersiz sonrası gruplar arasında FMD ölçümü açısından istatistiki anlamlı bir farklılık yoktu ($p > 0,05$) (Şekil 4.3.).

Grupların ABKİ ölçümlerinin egzersiz öncesi ve sonrası değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Deney grubu ABKİ ölçümleri egzersiz öncesi ve sonrası değerleri arasında istatistiki açıdan anlamlı bir farklılık yoktu ($p > 0,05$). Kontrol grubu ABKİ ölçümleri egzersiz öncesi ve sonrası istatistiki açıdan farklı değildi ($p > 0,05$). Egzersiz sonrası ABKİ değerleri gruplar arasında istatistiki açıdan benzerdi ($p > 0,05$) (Şekil 4.4.).

Çizelge 4.5. Grupların egzersiz öncesi ve sonrası flow mediated dilation, ayak bileği kol indeksi, popliteal arter çapı değerlerinin karşılaştırılması

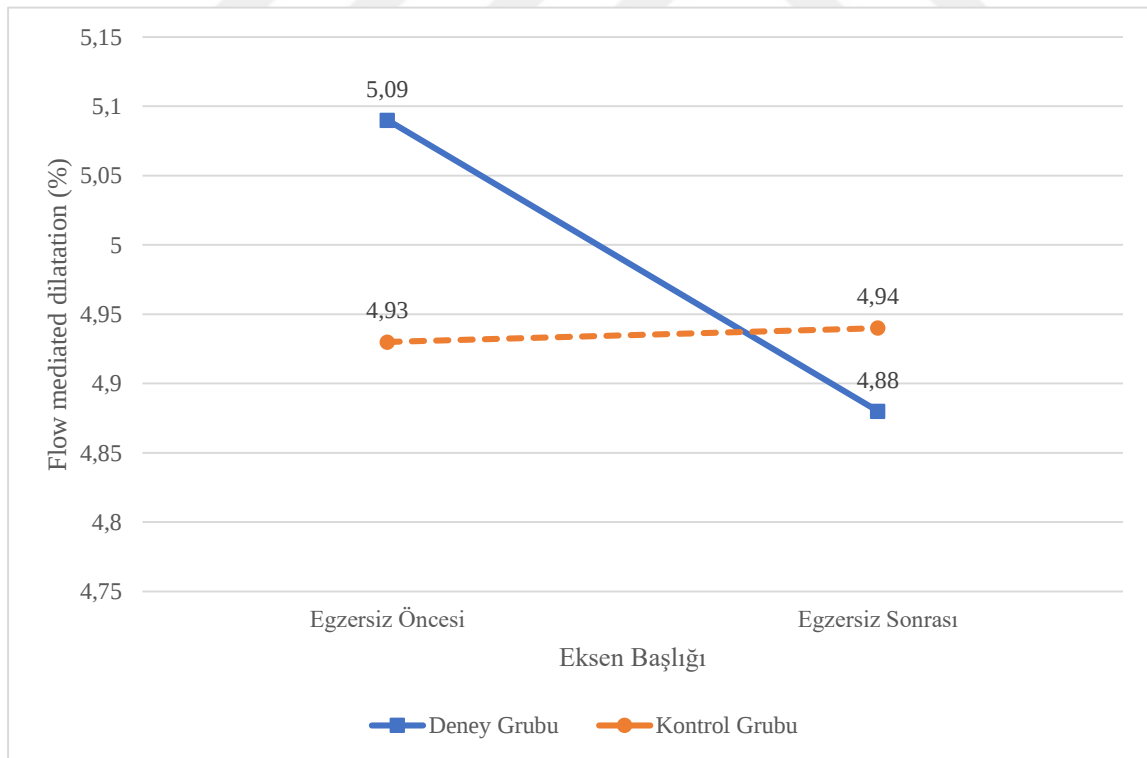
	Deney Grubu (n=14)			Kontrol Grubu (n=14)			Gruplar Arası Karşılaştırma
	Egzersiz Öncesi	Egzersiz Sonrası	Grup İçi Karşılaştırma	Egzersiz Öncesi	Egzersiz Sonrası	Grup İçi Karşılaştırma	
	X±SH	X±SH	p	X±SH	X±SH	p	p
Popliteal Arter Çapı (mm)	5,8±0,143	6,02±0,145	0,004*	5,8±0,138	6,01±0,153	0,000*	0,942
FMD (%)	5,09±0,397	4,88±0,271	0,62	4,93±0,320	4,94±0,197	0,993	0,7
ABKİ	1,13±0,028	1,14±0,025	0,594	1,12±0,023	1,13±0,017	0,441	0,655

X=Ortalama, sh=Standart Hata, FMD: Flow Mediated Dilation, ABKİ: Ayak Bileği Kol İndeksi

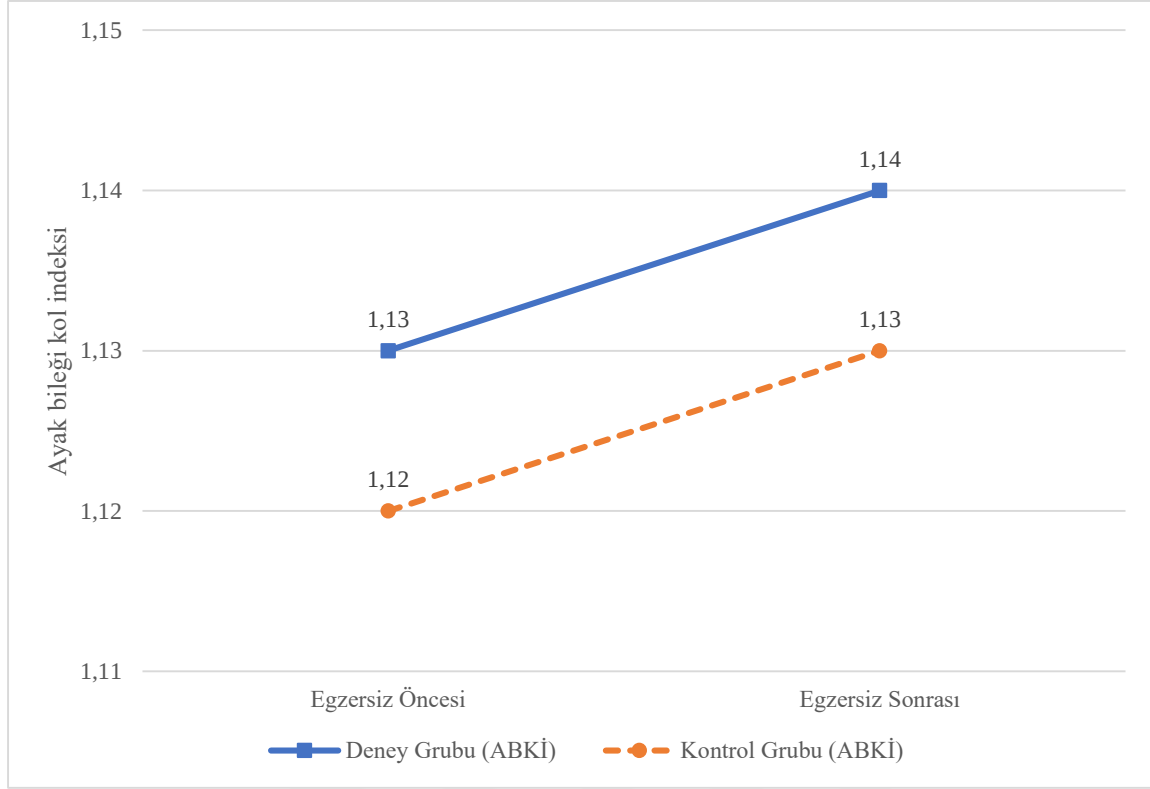


*p<0,05

Şekil 4.3. Popliteal arter çapı



Şekil 4.4. Flow mediated dilation



Şekil 4.5. Ayak bileği kol indeksi

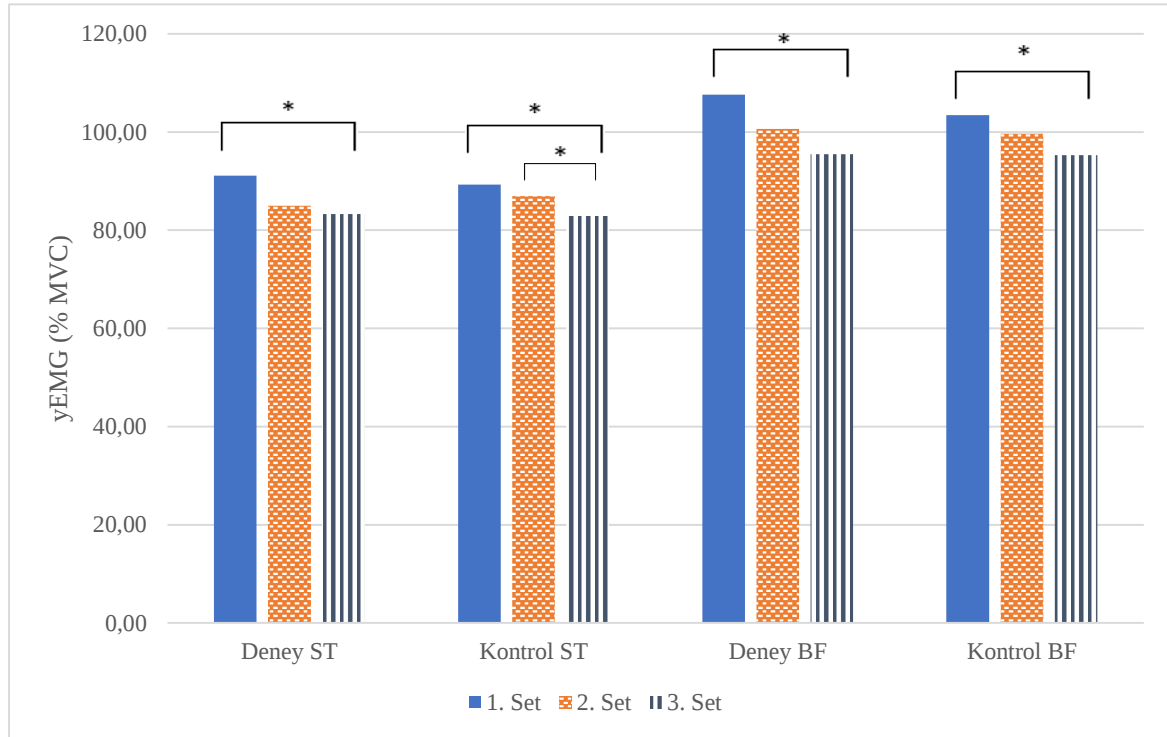
Grupların 1. 2. ve 3. setlerdeki yEMG değerleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Deney grubu için setler arası karşılaştırmada ST kasının % MİK değerleri arasında anlamlı derecede farklılık vardı ($p<0,05$). Yine deney grubunda setler arası karşılaştırmada BF kasının % MİK değerleri arasında anlamlı derecede farklılık vardı ($p<0,05$). Kontrol grubu için setler arası karşılaştırmada ST kasının % MİK değerleri arasında anlamlı derecede farklılık vardı ($p<0,05$). Kontrol grubu için setler arası karşılaştırmada BF kasının % MİK değerleri arasında anlamlı derecede farklılık vardı ($p<0,05$). ST kasının % MİK değerlerinin gruplar arası karşılaştırmasında bir farklılık bulunmadı ($p>0,05$). Yine BF kasının % MİK değerlerinin gruplar arası karşılaştırmasında farklılık yoktu ($p>0,05$).

Çizelge 4.6. Grupların egzersiz sırasında yüzeyel elektromyografi değerlerinin karşılaştırılması

	Deney Grubu(n=14)				Kontrol Grubu (n=14)				
	1.Set	2.Set	3.Set	Grup içi Karşılaştırma	1.Set	2.Set	3.Set	Grup içi Karşılaştırma	Gruplar Arası Karşılaştırma
	X±SH	X±SH	X±SH	RMANOVA (p)	X±SH	X±SH	X±SH	RMANOVA (p)	RMANOVA (p)
ST(%MİK)	91,13±6,65	85,01±5,71	83,26±5,52	0,007*	89,25±6,41	86,92±5,50	82,91±5,32	0,007*	0,448
BF(%MİK)	107,57±7,70	100,64±5,90	95,45±5,83	0,005*	103,39±7,70	99,65±5,90	95,31±5,83	0,003*	0,527

X=Ortalama, SH=Standart Hata, ST: Semitendinozus, BF: Biceps Femoris, MİK: Maksimal İstemli Kontraksiyon, RMANOVA: Tekrarlayıcı Ölçümler Anova

Grup içi yapılan ikili karşılaştırmalarda deney grubu için ST kasının 1. ve 3. set yEMG değerleri arasında istatistiki açıdan anlamlı derecede farklı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubunda da ST kasının yEMG değerleri için 1. ve 3. set arasında ($p=0,01$), 2. ve 3. set arasında anlamlı derecede farklılık görülmüştür ($p=0,01$). BF kası için yapılan grup içi setler arası karşılaştırmalarda deney grubunda 1. ve 3. setler arasında anlamlı derecede farklılık vardı ($p<0,01$). Kontrol grubunda da BF kası yEMG değerleri 1. ve 3. set arasında anlamlı derecede farklıydı ($p<0,01$) (Şekil 4.5.).



ST: Semitendinosus, BF: Biceps Femoris, *: $p<0,05$

Şekil 4.6. yEMG (% MİK) değerleri

5. TARTIŞMA

Sağlıklı bireylerde NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlamasının nöromusküler aktivasyon ve vasküler yapılar üzerine olan etkisini araştıran bu tez çalışması, kan akımı kısıtlamalı egzersizle NHE'yi kombine eden ilk çalışmadır. Çalışmamızda BF ve ST kaslarının nöromusküler aktivasyonunun hem deney hem de kontrol grubunda setler arasında zamanla azaldığı ancak gruplar arasında bir fark olmadığı ortaya konmuştur. Benzer şekilde ABKİ, FMD, popliteal arter çapı ve venöz trombus formasyonu değerleri açısından kontrol ekstremitesi ile kısıtlama ekstremitesi arasında fark ortaya çıkmadığı gösterilmiştir.

Literatürde KAKE çalışmaları çoğunlukla kas odaklıdır ve hipertrofi ve kuvvet artışına yoğunlaşmıştır. Ancak ekstremiteye giden kan kısıtlandığında bu durumdan yalnızca kaslar etkilenmez. Egzersiz sırasında arterial kan akımının kısmi, venöz kan akımının ise tümüyle kısıtlanması özellikle arter ve venler olmak üzere vasküler yapılar üzerinde de etkiler ortaya çıkarmaktadır. Geleneksel aerobik egzersizlerin NO'nun verimliliğini artırması, ROT'u azaltması ile vasküler fonksiyon üzerine olumlu etkileri daha önceki derlemelerde gösterilmiştir [113, 114]. Yine direnç egzersizleri sırasında artan kan akışının yarattığı hiperemik etki shear stresi (kayma gerilimi) uyarır ve böylece vazodilatasyona neden olan hormonlar ve metabolitler salgılanır [115]. Bu yolla kasların artan metabolik ihtiyacı karşılanır. Tekrarlayıcı olarak bu etkiye maruz kalmak hem kayma gerilimini normalleştirmek hem de kaslara yeterli oksijen sağlanması açısından arterial fonksiyonda ve kapillarizasyonda değişiklikler ortaya çıkartır. Bu süreç anjiogenezi uyarır [116]. KAKE uygulaması geleneksel yüksek dirençli egzersizi tolere edemeyen post-op hastalarda, geriatric bireylerde, osteoartrit, osteoporoz ve KOAH hastalarında kas kuvvetini ve kitlesini artırmakta alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır [117]. Ancak bu popülasyondaki olguların temel problemlerden bir tanesi de vasküler sorunlardır [113, 118]. KAKE'de metabolit birikimi ile ortaya çıkan anaerobik ortam, metaborefleksi ve buna bağlı olarak vasküler vazokonstriksiyonu ve periferik direnci artırma potansiyeli taşımaktadır [119]. Yine diğer endişelerden bir tanesi uygulanan kısıtlama sonrası oluşabilecek iskemik reperfüzyon hasarıdır ve bu durumun en önemli bulgusu endotel hasarıdır [120]. Bu çalışmada vasküler fonksiyon reaktif hiperemi sonrası arter genişlemesini ölçen ve NO'nun indirekt olarak göstergesi olan FMD yöntemiyle değerlendirilmiştir. Deney ekstremitesinde % FMD değeri 0,2 oranında düşmüş ancak grup içinde ve kontrol grubuyla arasında istatistiksel bir fark görülmemiştir. Meydana gelen bu düşüş istatistiki anlamda fark

yaratmasa da klinik olarak önemli olabilir. Arterial sağlığın bir diğer göstergesi olan ABKİ değerleri için de kısıtlama ekstremitesi ile kontrol ekstremitesi arasında anlamlı fark bulunmadı. Vasküler parametrelerden bir diğeri olan popliteal arter çapı ise egzersiz sonrası her iki grupta anlamlı derecede artış göstermiştir, ancak bu artış gruplar arasında farklı bulunmamıştır.

Literatürde KAKE'nin vasküler fonksiyon üzerine olan etkisini inceleyen çalışmaların farklı sonuçlar elde ettikleri görülmektedir. Bazı çalışmalar endotel üzerine olumsuz etki yaratabileceğini ortaya koymuşlardır [61, 121-126]. Renzi ve diğ. KAKE ile yürümeyi kombine ettiği bir çalışmada 160 mmHg basınçta kısıtlama uygulamıştır. İki dk'lık 5 set boyunca yaklaşık 3,2 km/h hızla yürüyüş egzersizi yaptırılmış, setler arasında 1 dakikalık dinlenme verilmiştir. Toplamda 20 dk süren uygulamada popliteal arter endotel fonksiyonu kan kısıtlaması uygulanan ve uygulanmayan ekstremiteler için öncesinde ve sonrasında değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda FMD değerlerinin kısıtlama uygulanan ekstremitelerde anlamlı derecede düştüğü gösterilmiştir [61]. Benzer sonuçlara sahip bir başka çalışmada, Credeur ve diğ., 12 katılımcıya 4 hafta boyunca 80mmHg basınç kısıtlama ile, dakikada 15 tekrar olacak şekilde 20 dk boyunca 1 MT'nin yüzde 60'ında handgrip egzersizi yaptırmışlar ve diğer ekstremiteleri kontrol grubu olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda kuvvet parametreleri her iki grup içinde artarken, endotel fonksiyonunu değerlendiren brachial arter FMD değerleri kısıtlama grubunda ortalama % 30 oranında düşerken, kontrol grubunda bu değer ortalama % 24 artış göstermiştir [121]. Bu iki çalışma KAKE'nin vasküler fonksiyonu bozabileceğini ortaya koymuştur. Ancak bu durumu yorumlarken metodolojileri gözden kaçırmamak gerekir. Her iki çalışmada 20 dk'lık kısıtlama periyodu uygulamışlardır. Farklı çalışmalar incelendiğinde bu sürenin KAKE uygulaması için göreceli olarak uzun bir süre olduğu söylenebilir [5]. Literatürde KAKE uygulaması genellikle 30-15-15-15 tekrarlarla olmak üzere 4 set uygulanmakta olup dinlenmelerle birlikte ortalama 5 dk kısıtlama uygulanmaktadır [28, 127]. Çalışmamızda da NHE'ye özel oluşturulmuş bir protokolden modifiye edilen bir egzersiz seti kullanılmış ve kısıtlama süresi ortalama 5-6 dk olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Uzayan kısıtlama süreleri ROT'ları daha fazla uyararak ve NO kullanılabilirliğini azaltarak endotel fonksiyonu üzerinde negatif etkiler yaratabilirken, çalışmamızda olduğu gibi görece daha kısa süreli uygulamalar bu etkiyi yaratmayabilir. Kısıtlama da kullanılan basınç miktarı da bu konudaki sonuçları etkileyebilir. Renzi ve diğ.'nin kullandığı 160 mmHg basınç göreceli olarak yüksek görünmektedir. Bu çalışmada kişiye özel AOB hesaplanmış ve % 60'ında ortalama 126,86 mmHg değerinde bir kısıtlama

basıncı uygulanmıştır. AOB'nin % 80'inde kısıtlama basıncı kullanan bir diğer çalışmada katılımcılara 6 hafta boyunca diz ekstansiyonu egzersizi yaptırılmış ve diğer alt ekstremite kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Yüksek basınç tercih eden bu çalışmada da kalf kas grubu kan akışı kontrol grubunda artarken, kısıtlama grubunda değişiklik görülmemiştir [122]. Bu bağlamda yüksek basınçların vasküler sağlık üzerine negatif etkiler oluşturma potansiyeli daha yüksek olabilir. Öte yandan daha yakın tarihli 9 genç sağlıklı erkek katılımcı ile gerçekleştirilen tekrarlayıcı ölçümlü randomize dizaynli çalışmada, uygulanan basınç ve egzersiz tekrar sayıları optimal olsa da KAKE'nin endotel üzerine olumsuz etkiler yarabileceğini ortaya koymuştur. %60 AOB basıncı ile kısıtlama yapılan ve klasik 30-15-15-15 tekrar sayılarıyla 1MT'nin yüzde 20'sinde uygulanan egzersiz setinin endotel progenitör hücre cevabını negatif etkilediği gösterilmiştir [124]. 9 erkek katılımcı ile gerçekleştirilen bir başka çalışmada 1 kola 80 mmHg basınçla KAKE uygulanmış, diğer kol ise kontrol grubu olarak belirlenmiş ve 4 hafta, haftada 3 gün 1 MT'nin % 40'ında 3 set 20 tekrar olacak şekilde kavrama egzersizi yaptırılmıştır [128]. Çalışmamızla benzer şekilde kontrol ve kısıtlama grubu arasında brachial arter FMD değerlerinde bir değişiklik görülmemiş ancak arter yapısını yansıtan çap değerlerinde KAKE grubu için artış saptanmıştır. Kısıtlama olmaksızın 1 MT'nin % 40'ında egzersiz yapan kontrol grubunda brachial arter çapında bir değişiklik olmamıştır. Egzersiz seviyesinin düşük dirençli olması arter yapısının değişmemesindeki temel sebep olabilir. Bizim sonuçlarımıza göre hem kontrol grubunda hem de kısıtlama grubunda popliteal arter çapı değerleri artmıştır. NHE direnç seviyesi yüksek bir egzersizdir ve akut olarak arterial yapıyı değiştirebilir. Biceps brachii kası odaklı yapılan 50 tekrarlı maksimal eksentrik egzersizin brachial arter çapını egzersiz sonrası 1. ve 48. saatte artırdığı gösterilmiştir [129]. Egzersiz sonrası arter çapının artmasının temel sebebi artan enerji ihtiyacını karşılama amaçlı olarak vücudun kapillarizasyonu artırmasıdır [130].

Literatürde, uygulanan kan kısıtlamasının endotel üzerine pozitif etki oluşturacağını gösteren çalışmalar da mevcuttur [112, 131-133]. 11 sağlıklı erkek üzerinde yapılan, 110 mmHg basınçla kan akışı kısıtlaması uygulanan, 1 MT'nin % 30'unda haftada 3 set tükenene kadar yapılan 6 haftalık plantar fleksiyon egzersizi içeren bir çalışmada FMD değerlerinin başlangıça kıyasla 2. ve 4. Haftada arttığı ancak 6. Hafta sonunda başlangıç değerleriyle benzer olduğu gösterilmiştir [131]. Aynı basınçla haftada 3 gün, 4 hafta boyunca 1 MT'nin % 25'inde plantar fleksiyon egzersizi yapan yaşlı popülasyonda da kan akışı parametrelerinde kısıtlama grubu kontrol grubuna üstünlük sağlamıştır [132]. Kısıtlama

basıncını alt ekstremitte için femoral arter kan basıncı, üst ekstremitte için brachial arter kan basıncı olarak belirleyen ve 65 yaş üstü 40 katılımcının bulunduğu çalışmada 2 alt, 2 üst ekstremitte egzersizi kullanılmış ve KAKE uygulamasının endotel fonksiyonu geliştirebileceği ortaya konmuştur [133]. Düşük seviye egzersizle kombine kan akımı kısıtlamasını geleneksel yüksek direnç seviyesindeki egzersizle karşılaştıran bir çalışmada, 8 haftalık egzersiz sonrası FMD sonuçlarının KAKE grubunda anlamlı derecede yükseldiği gösterilmiştir [112]. Yol bisikletçileri üzerinde yapılan yüksek yoğunluklu aralıklı antrenmanla (YYAA) KAKE'yi kombine eden güncel bir çalışmada, katılımcılar YYAA, normal bisiklet antrenmanı, YYAA+KAKE olmak üzere 3'e ayrılmışlar ve 12 haftalık egzersiz sonucu tüm gruplarda hem brachial arter hem de popliteal arter FMD değerlerinde anlamlı artışlar saptamışlardır [134]. Kronik ölçümlerde ortaya çıkan bu iyileşmeler homeostazi gereği vücudun geliştirdiği adaptasyonlar sonucu oluşmuş olabilir. Akut ölçümlerde ortaya çıkan bozulmuş endotel fonksiyonu [61, 121, 124] doğru seviyede uygulanan kısıtlama basıncı ve egzersizle ilerleyen haftalarda gelişen antioksidan adaptasyonlarla tersine dönebilir. Aynı yüksek irtifada kalan sporcuların düşük oksijen seviyelerinde, oksijene bağımlılığı artırmak için eritrosit sayısının artması [135] ya da alışılmadık eksentrik egzersizlerle ortaya çıkan gecikmiş kas ağrılarının, egzersizler tekrarlayıcı olarak yapıldığında "Repeated Bout Effect" ile ortadan kalkması gibi [136], tekrarlayıcı olarak KAKE'ye maruz kalan bireylerde artan ROT miktarına karşı olarak, endothelial nitrik oksit sentezinin ve VEGF'nin artması sonucu vazodilatör mekanizmalar gelişmiş olabilir [137, 138]. SAID (specific adaptation imposed demands) prensibi gereğince insan vücudu içinde bulunduğu ve maruz kaldığı durumlara özel olarak adaptasyonlar geliştirir [139]. Ancak hangi seviyede kısıtlama basıncının, hangi süreyle uygulandığında ya da hangi egzersiz hacmiyle yapıldığında bu adaptasyonların ortaya çıkacağı belirsizdir. Kısıtlama basıncının yüksek seviyelerde, uzayan sürelerde uygulanması iskemik reperfüzyon hasarı açısından risk oluşturabilir. İskeminin olmadığı normal fizyolojik şartlarda NO endotelden az miktarda sentezlenir ve vazodilatasyon, trombosit işlevlerinin ve hücre içi sinyal iletiminde görev yapar [140, 141]. Ancak iskemi oluştuğunda NO ortamda oluşan süperoksit radikallerle reaksiyona girerek ciddi toksik etkiler yaratan peroksinitrit (ONOO-) ve nitrojen trioksiti (N₂O₃) oluşturur [141, 142]. Bu durumda NO'nun endotel üzerindeki vazodilatör ve düzenleyici etkileri engellenir.

Literatürde ortaya çıkan bu tutarsız sonuçların diğer bir önemli sebebi metodolojilerdeki temel farklılıklar olabilir. Uygulanan basınçların standardize olmaması, kullanılan kısıtlama

materyallerinin farklılığı, farklı egzersizlerin seçilmesi, popülasyonlardaki çeşitlilik, kısıtlamaya maruz kalma süresi gibi birçok detay KAKE'nin vasküler sistem üzerine olan etkilerini değiştirebilir.

Çalışmamızda ultrasonografi ile değerlendirdiğimiz alt ekstremitelerinde, hiçbir olguda kontrol ya da deney ekstremitesinde venöz trombüse rastlanmamıştır. Literatürde KAKE ile ilgili VTE çalışmaları akut uygulamalarda genellikle kan pıhtılaşma faktörlerini değerlendirmişlerdir. Fry ve diğ., 70 yaş üzerindeki 7 olgu ile yaptıkları çalışmada 200 mmHg gibi yüksek bir kısıtlama basıncı uygulanmış ve 1MT'nin % 20'sinde 30-15-15-15 tekrarlı olarak 4 set bilateral diz ekstansiyon egzersiz yapmışlardır. Egzersiz öncesi ve egzersizden 15 dk sonra değerlendirilen D-dimer değerlerinin grup içerisinde ve kontrol grubuna kıyasla farklı olmadığı gösterilmiştir [44]. Genç erkeklerde yapılan bir başka çalışmada da düşük yoğunluklu egzersize kan kısıtlaması ilave edilmesinin akut olarak pıhtılaşma faktörlerini etkilemediği gösterilmiştir [143]. Kronik çalışmalarda da ortaya çıkan sonuçlar benzerdir [45-47]. Tennen ve diğ. postoperatif diz cerrahisi (artroplasti) hastalarında uyguladıkları KAKE uygulaması kuvvet ve fonksiyonel skorlarda kontrol grubuna üstünlük sağlamış ve çalışmamızda olduğu gibi ultrasonografi ile takip edilen venlerde trombus formasyonuna rastlanmamıştır [46]. 2006 yılında Japonya'da konuyla ilgili yapılan bir anket çalışmasında KAKE uygulanan 12642 kişiden yalnızca 7'sinde (0.055%) DVT görüldüğü, 1 kişi de ise PE (0.008%) ortaya çıktığı gösterilmiştir [55]. Enteresan bir şekilde çalışmanın bu sonuçları Asya'nın DVT insidansının (% 0.2-0.26) bile oldukça altındadır [5, 144]. KAKE ile ilgili genel kanı uygulanan kısıtlama basıncının ve süresinin trombus formasyonu oluşturma konusunda yetersiz olduğudur. Ancak tüm bu veriler Covid-19 öncesine aittir. Corona virüs hastalığının VTE riskini artırdığı bilinmektedir [145] ve KAKE uygulanacak bireylerde bu detay mutlaka sorgulanmalı, özellikle hipertansiyon, diyabet ve obeziteye sahip bireylerde VTE riski mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışma ST ve BF kasları için NHE sırasında oluşan yEMG değerlerinin hem deney hem de kontrol grubu için setler arasında anlamlı derecede azaldığını, ancak bu azalmanın gruplar arasında farklı olmadığını ortaya koymuştur. Konvansiyonel dirençli egzersizde antrene olmayan kişilerde yorgunlukla birlikte setler arasında nöromusküler aktivasyonun arttığı gösterilmiştir [146]. Öte yandan antrene kişilerde yapılan bir başka çalışmada myoelektrik aktivasyonu setler arasında değişiklik göstermemiştir [147]. Yorgunluğun

NHE'ye etkisini inceleyen amatör futbolcular üzerinde yapılan bir çalışmada 6 set 5 tekrar NHE yapan katılımcıların BF ve medial hamstring EMG değerleri setler arasında hareketin ilk açılarında zamanla arttığı ancak maksimal aktivasyonu etkilemediği görülmüştür. Çalışmamız da ise kassal aktivasyonların setler arasında zamanla azaldığı gösterilmiştir. Bu farklılığın temel sebebinin uygulanan kan akımı kısıtlamasının tekrar sayısı arttıkça oluşturduğu rahatsızlığın “kırılma noktası” (break point) açısını değiştirdiği bu sebeple de nöromuskuler aktivasyonun bilateral olarak azaldığını tahmin etmekteyiz. Bu açı kişi yere yaklaşırken eksentrik kontrolü sağlayamayıp hızlıca yere düştüğü açıdır [148]. NHE'nin kinematik analizini yapan bir çalışmada maksimum kassal aktivasyonun yaklaşık 65° diz fleksiyon açılarında meydana geldiği ortaya konmuştur [104]. Bu açıdan daha erken seviyede meydana gelebilecek kırılmalar NHE için nöromuskuler aktivasyonu düşürecektir. Çalışmamızda bu açı ölçülmemiştir ancak NHE tek başına yapıldığında dahi tolerasyonu zor bir egzersizken, beraberinde kan akımının kısıtlanması kırılma noktasını daha yüksek açılara çekebilir. Çalışmaya katılan 14 katılımcıdan 6'sı uygulama sırasında bacaklarında uyuşma ve karıncalanma, 2 olgu kısıtlama bacağına ağrı, 1 olgu ise hafif baş dönmesi bildirdi ancak bu durum kısıtlama sona erdiğinde ortadan kalktı. Ortaya çıkan bu veriler yakın zamanda yapılan bir anket çalışması ile uyumludur [127].

NHE hamstring kasları için yüksek nöromuskuler aktivasyon oluşturan bir egzersizdir. Önceki çalışmalar BF ve ST için MİK'in %80'i üzerinde bir aktivasyon oluşturduğunu ortaya koymuştur [104, 149, 150]. Çalışmamızda da aktivasyonlar setler ilerledikçe azalsa da literatürle tutarlı bir şekilde tüm yEMG değerleri MİK'in %80'inin üzerindeydi.

Daha önce yapılan çalışmalarda düşük direnç düzeyindeki egzersize kan akımı kısıtlaması eklenmesinin elektromyografik aktiviteyi artırdığı gösterilmiştir [151-157]. Artan myoelektrik aktivite, kuvvet ve hipertrofi kazanımlarıyla ilişkilendirilmiştir [158, 159]. KAKE uygulamasında venöz dönüşün kısıtlanmasıyla beraber oluşan metabolit birikiminin, yorgunluğu artırması ve tip III ve Tip IV afferent liflerini uyarması vasıtasıyla yüksek eşikli motor ünitelerin ateşlenmesini sağlaması beklenmektedir [160]. Bu mekanizma düşük yoğunluklu direnç egzersizine kıyasla düşük yoğunluklu direnç egzersizine ilave edilen KAKE'in myoelektrik aktiviteyi artırmasının muhtemel sebebidir [161]. Oluşan bu anaerobik ortam çalışmamızda nöromuskuler aktivasyonların düşmesini engelleyememiştir. Mevcut çalışmalar genellikle KAKE'yi düşük yoğunluklu konsentrik direnç egzersizi ile birlikte kullanmışlardır. Literatürde düşük yoğunluklu eksentrik egzersizle KAKE'yi

birleştiren sınırlı sayıdaki çalışmada ise sonuçlar tartışmalıdır (148-150). Yasuda ve diğerleri 10 sağlıklı erkek katılımcı ile kurguladıkları çalışmada 100 mmHg basınçla kan kısıtlaması uygulamışlar ve 1 MT'nin yüzde 30'unda 30-15-15-15 tekrar sayılarıyla 4 set eksentrik dirsek fleksiyonu egzersizi yaptırmışlardır. Biceps brachii nöromuskuler aktivasyonunun incelendiği çalışmada, setler arasında herhangi bir değişiklik olmadığı gösterilmiştir (148). Maksimal eksentrik torkun % 30'unda, sistolik kan basıncının % 130'una denk gelen basınç değeri ile kan akımı kısıtlaması uygulanan bir başka çalışmada KAKE grubu quadriceps kasının nöromuskuler aktivasyonu açısından kısıtlama uygulanmayan gruba üstünlük sağlamıştır (149). Yine düşük yoğunlukta eksentrik egzersizle kan akımı kısıtlamasının kullanıldığı bir başka çalışmada da KAKE grubun vastus medialis kası nöromuskuler aktivasyonlarının daha yüksek olduğu gösterilmiştir [157]. Ancak bu çalışmaların hepsi düşük dirençli eksentrik egzersizlerle yapılmıştır. NHE ise yüksek yoğunluklu direnç egzersizi sınıfında eksentrik bir egzersizdir. Bu sebeple karşılaştırmayı hem eksentrik hem de yüksek yoğunlukta direnç egzersizleriyle kombine edilen KAKE çalışmalarıyla yapmak daha doğru olacaktır. Ancak literatürde bu şekilde kurgulanmış çok az sayıda çalışma vardır [162, 163]. Sudo ve diğ.'nin Wistar sıçanları üzerinde yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu eksentrik egzersize kan akımı kısıtlaması eklemenin kaslarda protein sentezini ve hipertrofiyi artırabileceğini göstermişlerdir [163]. Ancak bu sonuçları destekleyen insanlar üzerinde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. ACL rekonstrüksiyonu geçiren 34 katılımcı ile gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, 1 MT'nin yüzde 70'inde, haftada 2 kez, 4 set 10 tekrar diz ekstansiyon egzersizine kan akışı kısıtlaması ilave etmenin, ne eksentrik ne de konsantrik egzersiz grubu için kontrol grubuna kıyasla quadriceps femoris kas kuvveti, aktivasyonu ve hacminde ekstra bir fayda sağlamadığı gösterilmiştir [162]. Bu sonuçlar KAKE'nin yüksek dirençli egzersizle kombine edildiğinde kas aktivasyonunu artırmadığı gösteren bir başka çalışma ile örtüşmektedir [164]. Çalışmamızda da NHE'ye KAKE ilave etmek nöromuskuler aktivasyon açısından bir fayda sağlamamıştır. Aksine hem deney ekstremitesinde hem de kontrol ekstremitesinde kas aktivasyonu zamanla azalmıştır. Bu durum NHE'nin kuvvet ve hipertrofi üzerine olan olumlu etkilerini azaltabilir. Ancak araştırmamız tek bir seferlik egzersiz programı ve kan akımı kısıtlaması protokolü ile gerçekleşmiştir. NHE ile KAKE'nin kombine edildiği, kuvvet, hipertrofi ve kas mimarisinin değerlendirildiği uzun vadeli çalışmalara ihtiyaç vardır.

5.1. Çalışmanın Güçlü Yanları

Çalışmanın en güçlü yanı özgünlüğüdür. Literatürde daha önce KAKE ile NHE'yi bir arada kullanan bir çalışma bilgimiz dahilinde bulunmamaktadır. Yine yüksek dirençli eksentrik egzersizle kan akımı kısıtlaması bir arada kullanan birkaç çalışmadan biridir.

5.2. Çalışmanın Limitasyonları

Çalışmamızın en önemli limitasyonu NHE'de kasların nöromusküler aktivasyonunu etkileyen kırılma noktasındaki açının ölçülmemiş olmasıdır. Bu açı ortaya çıkan EMG aktivasyonu ile yakından ilişkilidir. Diğer bir limitasyonumuz ise çalışmanın belli bir yaş aralığında sporcu olmayan bir popülasyonla yapılmış olmasıdır. Bu sebeple bu sonuçlar genellenemez. Bir diğer limitasyonumuz çalışmamızın KAKE'nin yalnızca akut etkilerini değerlendirmiş olmasıdır. Bu durum KAKE'nin NHE sırasında uygulanması konusunda kronik durumlar için bir fikir verebilir ancak uzun dönem sonuçları tahmin edilemez.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

NHE'ye ilave edilen KAKE'nin hamstring kaslarının nöromuskuler aktivasyonu ve vasküler yapılar üzerine olan akut etkisini araştıran çalışmamızın sonuçları aşağıdaki gibidir:

- KAKE uygulaması NHE ile birlikte kullanıldığında endotel fonksiyonu değerlendiren ve NO'nun indirekt ölçümü olan FMD akut değerleri üzerinde grup içerisinde ve kontrol grubuna göre bir fark yaratmaz.
- Hem kontrol hem de kısıtlama grubunda popliteal arter çap değerleri egzersiz sonrası artış göstermiştir. Ancak gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur.
- Alt ekstremitte arterlerinin sağlığının bir göstergesi olan ABKİ değerleri egzersiz öncesi ve sonrası kısıtlama ve kontrol ekstremitelerinde farklı değildi.
- Egzersiz öncesi ya da sonrası, kısıtlama ve kontrol ekstremitesinde venöz trombüs formasyonuna rastlanmadı.
- Çalışmaya katılan katılımcılar uygulama sırasında literatürle uyumlu bazı yan etkiler (uyuşma ve karıncalanma, ağrı, baş dönmesi) bildirdiler ve bu yan etkiler uygulama sonrası ortadan kalktı.

NHE sırasında uygulanan kan akımı kısıtlaması vasküler yapılar üzerine akut olarak olumlu ya da bir olumsuz bir etki yaratmamaktadır ve uygulama venöz trombüs açısından akut olarak güvenli görünmektedir. Kronik etkilerin anlaşılması için bu kombinasyonun kullanıldığı uzun vadeli çalışmalara ihtiyaç vardır.

- KAKE uygulaması ile yapılan NHE sonucu hamstring kaslarının nöromuskuler aktivasyonu hem ST hem de BF için kontrol ve deney gruplarında setler arasında azalma gösterdi. Bu azalma gruplar arasında farklı değildi.

Önceki çalışmalarla kıyaslandığında KAKE uygulaması verdiği rahatsızlık sebebiyle NHE'nin kalitesini etkilemiş olabilir ve nöromuskuler aktivasyonun bilateral olarak düşmesine neden olmuş olabilir. Bu durumu anlamının en iyi yolu kontrol grubu ve deney grubunun farklı katılımcılardan oluştuğu ve kan akımı kısıtlamasının bilateral olarak uygulandığı yeni bir çalışma kurgulamaktır.

Mevcut sonuçlara göre NHE sırasında KAKE uygulaması vasküler sonuçlar açısından risksiz görünse de hamstring kaslarının myoelektrik aktivasyonu açısından ilave bir fayda sağlamayacağı gibi hareketin kalitesini bozarak aktivasyonun düşmesine neden olabilir. Nöromuskuler aktivasyonun düşmüş olması uzun süreli uygulamalarda NHE'nin hipertrofi ve kuvvet üzerine olan pozitif etkilerini azaltma potansiyeli taşımaktadır. Bu yüzden NHE sırasında kan akımı kısıtlaması kullanmak rasyonel görünmemektedir. Ancak bu akut bir çalışmadır ve kas mimarisi, kuvvet ve vasküler yapılara üzerine olan kronik etkilerin belirlenebilmesi için NHE ve KAKE'nin kombine edildiği uzun takipli çalışmalara ihtiyaç vardır.



KAYNAKLAR

1. 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.
2. Lixandrao, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., and Roschel, H. (2018). Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361-378.
3. Slys, J., Stultz, J., and Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 669-675.
4. Bielitzki, R., Behrendt, T., Behrens, M., and Schega, L. (2021). Current techniques used for practical blood flow restriction training: A systematic review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(10), 2936-2951.
5. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., and Laurentino, G. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533.
6. Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., and Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1003-1011.
7. 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.
8. 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(4), 308-314.
9. da Cunha Nascimento, D., Petriz, B., da Cunha Oliveira, S., Vieira, D. C. L., Funghetto, S. S., Silva, A. O., and Prestes, J. (2019). Effects of blood flow restriction exercise on hemostasis: a systematic review of randomized and non-randomized trials. *International Journal of General Medicine*, 12, 91.
10. 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.
11. Arnason, A., Andersen, T., Holme, I., Engebretsen, L., and Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18(1), 40-48.

12. 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 and Science in Sports*, 13(4), 244-250.
13. Goode, A. P., Reiman, M. P., Harris, L., DeLisa, L., Kauffman, A., Beltramo, D., and Taylor, A. B. (2015). Eccentric training for prevention of hamstring injuries may depend on intervention compliance: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 349-356.
14. van der Horst, N., Smits, D.-W., Petersen, J., Goedhart, E. A., and Backx, F. J. (2015). The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(6), 1316-1323.
15. Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., and Barnes, P. G. (2005). The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 363-368.
16. Woods, C., Hawkins, R., 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.
17. Opar, D. A., Williams, M. D., and Shield, A. J. (2012). Hamstring Strain injuries. *Sports Medicine*, 42(3), 209-226.
18. Ekstrand, J., Waldén, M., and Häggglund, M. (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: A 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 731-737.
19. Ekstrand, J., Healy, J. C., Waldén, M., Lee, J. C., English, B., and Häggglund, M. (2012). Hamstring muscle injuries in professional football: The correlation of MRI findings with return to play. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 112-117.
20. Barnes, C., Archer, D., Hogg, B., Bush, M., and Bradley, P. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095-1100.
21. Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1-5.
22. McCall, G., Byrnes, W., Dickinson, A., Pattany, P., and Fleck, S. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2004-2012.
23. 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(2), 187-200.
24. Wernbom, M., Apro, W., Paulsen, G., Nilsen, T. S., Blomstrand, E., and Raastad, T. (2013). Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction

- increased protein signalling and number of satellite cells in human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 113(12), 2953-2965.
25. Das, A., and Paton, B. (2022). Is There a minimum effective dose for vascular occlusion during blood flow restriction training? *Frontiers in Physiology*, 461.
 26. 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.
 27. Takarada, Y., Takazawa, H., and Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusions diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(12), 2035-2039.
 28. Loenneke, J. P., Abe, T., Wilson, J. M., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., and Bemben, M. G. (2012). Blood flow restriction: an evidence based progressive model (Review). *Acta Physiol Hung*, 99(3), 235-250.
 29. 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(3), 313-325.
 30. Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., and Bemben, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 2903-2912.
 31. Segal, N. A., Williams, G. N., Davis, M. C., Wallace, R. B., and Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 7(4), 376-384.
 32. Segal, N., Davis, M. D., and Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of blood flow-restricted low-load resistance training for quadriceps strengthening in men at risk of symptomatic knee osteoarthritis. *Geriatric Orthopaedic Surgery and Rehabilitation*, 6(3), 160-167.
 33. 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.
 34. 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 and Conditioning Research*, 27(11), 3068-3075.
 35. Yamanaka, T., Farley, R. S., and Caputo, J. L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2523-2529.

36. Abe, T., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Bell, Z. W., Buckner, S. L., Mattocks, K. T., and Loenneke, J. P. (2019). A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(3), 329-335.
37. 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 and Conditioning Research*, 31(9), 2462-2472.
38. 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.
39. Patterson, S. D., and Brandner, C. R. (2018). The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Journal of Sports Sciences*, 36(2), 123-130.
40. Saatmann, N., Zaharia, O.-P., Loenneke, J. P., Roden, M., and Pesta, D. H. (2021). Effects of blood flow restriction exercise and possible applications in type 2 diabetes. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 32(2), 106-117.
41. Spranger, M. D., Krishnan, A. C., Levy, P. D., O'Leary, D. S., and Smith, S. A. (2015). Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309(9), 1440-1452.
42. Vopat, B. G., Vopat, L. M., Bechtold, M. M., and Hodge, K. A. (2020). Blood flow restriction therapy: Where we are and where we are going. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 28(12), e493-e500.
43. Şener, E. E., ve Daldal, İ. (2019). Venöz tromboembolizm tanımı ve fizyopatolojisi. *TOTBİD Dergisi*, 18, 469-473.
44. Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., and Rasmussen, B. B. (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1199-1209.
45. Clark, B., Manini, T., Hoffman, R., Williams, P., Guiler, M., Knutson, M., and Kushnick, M. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(5), 653-662.
46. Tennent, D. J., Hylden, C. M., Johnson, A. E., Burns, T. C., Wilken, J. M., and Owens, J. G. (2017). Blood flow restriction training after knee arthroscopy: A randomized controlled pilot study. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(3), 245-252.
47. Yasuda, T., Fukumura, K., Iida, H., and Nakajima, T. (2015). Effects of detraining after blood flow-restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older women. *Springer Plus*, 4(1), 1-7.

48. Loenneke, J., Thiebaud, R. S., and Abe, T. (2014). Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(6), e415-422.
49. Sieljacks, P., Matzon, A., Wernbom, M., Ringgaard, S., Vissing, K., and Overgaard, K. (2016). Muscle damage and repeated bout effect following blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 513-525.
50. Nielsen, J. L., Aagaard, P., Prokhorova, T. A., Nygaard, T., Bech, R. D., Suetta, C., and Frandsen, U. (2017). Blood flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. *The Journal of Physiology*, 595(14), 4857-4873.
51. Koçer, M., Karakısa, H., Akkan, A., ve Satar, S. (2016). Rabdomiyoliz. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 586-607.
52. Zimmerman, J. L., and Shen, M. C. (2013). Rhabdomyolysis. *Chest*, 144(3), 1058-1065.
53. Tabata, S., Suzuki, Y., Azuma, K., and Matsumoto, H. (2016). Rhabdomyolysis after performing blood flow restriction training: A case report. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 2064-2068.
54. Thompson, K. M., Slysz, J. T., and Burr, J. F. (2018). Risks of exertional rhabdomyolysis with blood flow–restricted training: beyond the case report. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 28(6), 491-492.
55. Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., and Nagata, T. (2006). Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2(1), 5-13.
56. da Silva, L. F., and BSc, P. F. A.-N. (2021). Application and side effects of blood flow restriction technique. *Medicine*, 100(18), e25794.
57. Allison, R. C., and Bedsole, D. L. (2003). The other medical causes of rhabdomyolysis. *The American Journal of the Medical Sciences*, 326(2), 79-88.
58. Şener, G., ve Yeğen, B. Ç. (2009). İskemi reperfüzyon hasarı. *Klinik Gelişim*, 22(3), 5-13.
59. da Cunha Nascimento, D., Schoenfeld, B. J., and Prestes, J. (2019). Potential implications of blood flow restriction exercise on vascular health: A brief review. *Sports Medicine*, 1-9.
60. Gross, G. J., and Auchampach, J. A. (2007). Reperfusion injury: does it exist? *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 42(1), 12-18.
61. Renzi, C. P., Tanaka, H., and Sugawara, J. (2010). Effects of leg blood flow restriction during walking on cardiovascular function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), 726-732.

62. Storch, A. S., Mattos, J. D. d., Alves, R., Galdino, I. d. S., and Rocha, H. N. M. (2017). Methods of endothelial function assessment: description and applications. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, 30(3), 262-273.
63. Yaylalı, Y. T., ve Küçükaslan, M. (2011). Endotel disfonksiyonu. *Pamukkale Tıp Dergisi*, 4(3), 152-157.
64. Wu, M., KK, and Thiagarajan, M., P. (1996). Role of endothelium in thrombosis and hemostasis. *Annual Review of Medicine*, 47(1), 315-331.
65. Endemann, D. H., and Schiffrin, E. L. (2004). Endothelial dysfunction. *Journal of the American Society of Nephrology*, 15(8), 1983-1992.
66. Pennathur, S., and Heinecke, J. W. (2007). Oxidative stress and endothelial dysfunction in vascular disease. *Current Diabetes Reports*, 7(4), 257-264.
67. Ross, R. (1999). Atherosclerosis-an inflammatory disease. *The New England Journal of Medicine*, 340(2), 115-126.
68. Celermajer, D. S., Sorensen, K. E., Gooch, V. M., Spiegelhalter, D. J., Miller, O. I., Sullivan, I. D., and Deanfield, J. E. (1992). Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet*, 340(8828), 1111-1115.
69. Thijssen, D. H., Bruno, R. M., van Mil, A. C., Holder, S. M., Fata, F., Greyling, A., and Luscher, T. (2019). Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *European Heart Journal*, 40(30), 2534-2547.
70. Ras, R. T., Streppel, M. T., Draijer, R., and Zock, P. L. (2013). Flow-mediated dilation and cardiovascular risk prediction: a systematic review with meta-analysis. *International Journal of Cardiology*, 168(1), 344-351.
71. Cerrah, A. O., Ertan, H., ve Soylu, A. R. (2010). Spor bilimlerinde elektromiyografi kullanımı. *Spor metre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 8(2), 43-49.
72. Stegeman, D., and Hermens, H. (2007). Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). *Enschede: Roessingh Research and Development*, 10, 8-12.
73. Criswell, E. (2010). *Cram's introduction to surface electromyography*: Burlington: Jones and Bartlett Publishers.
74. Papagiannis, G. I., Triantafyllou, A. I., Roumpelakis, I. M., Zampeli, F., Garyfallia Eleni, P., Koulouvaris, P., and Babis, G. C. (2019). Methodology of surface electromyography in gait analysis: review of the literature. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 43(1), 59-65.
75. Rash, G. S., and Quesada, P. (2003). Electromyography fundamentals. Retrieved February, 4, 1-9.

76. Knutson, L. M., Soderberg, G. L., Ballantyne, B. T., and Clarke, W. R. (1994). A study of various normalization procedures for within day electromyographic data. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 4(1), 47-59.
77. Silvers Graneli, 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.
78. Edouard, P., Branco, P., and Alonso, J.-M. (2016). Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *British Journal of Sports Medicine*, 50(10), 619-630.
79. Macdonald, B., McAleer, S., Kelly, S., Chakraverty, R., Johnston, M., and Pollock, N. (2019). Hamstring rehabilitation in elite track and field athletes: applying the British athletics muscle injury classification in clinical practice. *British Journal of Sports Medicine*, 53(23), 1464-1473.
80. Alonso, J.-M., Edouard, P., Fischetto, G., Adams, B., Depiesse, F., and Mountjoy, M. (2012). Determination of future prevention strategies in elite track and field: analysis of Daegu 2011 IAAF Championships injuries and illnesses surveillance. *British Journal of Sports Medicine*, 46(7), 505-514.
81. 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.
82. Askling, C. M., Tengvar, M., Saartok, T., and Thorstensson, A. (2007). Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(10), 1716-1724.
83. Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., and Thelen, D. G. (2011). Hamstring musculotendon dynamics during stance and swing phases of high-speed running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(3), 525-532.
84. Brukner, P. (2012). *Brukner and Khan's clinical sports medicine*. North Ryde: McGraw-Hill.
85. Kerin, F., Farrell, G., Tierney, P., McCarthy Persson, U., De Vito, G., and Delahunt, E. (2022). Its not all about sprinting: Mechanisms of acute hamstring strain injuries in professional male rugby union-a systematic visual video analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 56(11), 608-615.
86. Larruskain, J., Celorrio, D., Barrio, I., Odriozola, A., GIL, S. M., Fernandez Lopez, J. R., and Aznar, J. M. (2018). Genetic variants and hamstring injury in soccer: An association and validation study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(2), 361-368.
87. 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 and Sports Physical Therapy*, 43(9), 636-640.
88. Erickson, L. N., and Sherry, M. A. (2017). Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 262-270.
 89. van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., and Witvrouw, E. (2016). Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: a 4-year cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(7), 1789-1795.
 90. Sole, G., Milosavljevic, S., Nicholson, H., and Sullivan, S. J. (2011). Selective strength loss and decreased muscle activity in hamstring injury. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical therapy*, 41(5), 354-363.
 91. Kopydlowski, N. J., Weber, A. E., and Sekiya, J. K. (2014). Functional anatomy of the hamstrings and quadriceps. In *Hamstring and Quadriceps Injuries in Athletes*. Boston: Springer, 1-14.
 92. Linklater, J. M., Hamilton, B., Carmichael, J., Orchard, J., and Wood, D. G. (2010, June). Hamstring injuries: anatomy, imaging, and intervention. Paper presented at the Seminars in musculoskeletal radiology. *Thieme Medical Publishers*, 14(2), 31-161.
 93. Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., and Hodson, A. (2002). The football association medical research programme: An audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 36(6), 436-441.
 94. 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 and Science in Sports*, 14(5), 311-317.
 95. Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., and Reid, W. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 556-568.
 96. Baroni, B., Rodrigues, R., Franke, R., Geremia, J., Rassier, D., and Vaz, M. (2013). Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. *International Journal of Sports Medicine*, 34(10), 904-911.
 97. Geremia, J. M., Baroni, B. M., Bobbert, M. F., Bini, R. R., Lanferdini, F. J., and Vaz, M. A. (2018). Effects of high loading by eccentric triceps surae training on Achilles tendon properties in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 118(8), 1725-1736.
 98. Ebben, W. P. (2009). Hamstring activation during lower body resistance training exercises. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(1), 84-96.
 99. Shield, A. J., and Bourne, M. N. (2018). Hamstring injury prevention practices in elite sport: Evidence for eccentric strength vs. lumbo-pelvic training. *Sports Medicine*, 48(3), 513-524.

100. Medeiros, D. M., Marchiori, C., and Baroni, B. M. (2020). Effect of nordic hamstring exercise training on knee flexors eccentric strength and fascicle length: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(3), 482-491.
101. 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.
102. Fernandes, A. D. A., Silva, C. D. D., Costa, I. T. D., and Marins, J. C. B. (2015). The “FIFA 11+” warm-up programme for preventing injuries in soccer players: A systematic review. *Fisioterapia em Movimento*, 28, 397-405.
103. Hammes, D., Aus der Fünten, K., Kaiser, S., Frisen, E., Bizzini, M., and Meyer, T. (2015). Injury prevention in male veteran football players—a randomised controlled trial using “FIFA 11+”. *Journal of Sports Sciences*, 33(9), 873-881.
104. Ditroilo, M., De Vito, G., and Delahunt, E. (2013). Kinematic and electromyographic analysis of the Nordic Hamstring Exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(5), 1111-1118.
105. Impellizzeri, F. M., McCall, A., and van Smeden, M. (2021). Why methods matter in a meta-analysis: A reappraisal showed inconclusive injury preventive effect of Nordic hamstring exercise. *Journal of Clinical Epidemiology*, 140, 111-124.
106. Keerasomboon, T., Soga, T., and Hirose, N. (2022). Influence of Altered Knee Angle on Electromyographic Activity of Hamstring Muscles Between Nordic Hamstring Exercise and Nordic Hamstring Exercise with Incline Slope Lower Leg Board. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(5), 832-840.
107. Šarabon, N., Marušič, J., Marković, G., and Kozinc, Ž. (2019). Kinematic and electromyographic analysis of variations in Nordic hamstring exercise. *PLoS One*, 14(10), e0223437.
108. Leng, G., Fowkes, F., Lee, A., Dunbar, J., Housley, E., and Ruckley, C. (1996). Use of ankle brachial pressure index to predict cardiovascular events and death: a cohort study. *British Medical Journal*, 313(7070), 1440-1443.
109. 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 and Science in Sports*, 29(1), 34-43.
110. O’Brien, M. W., Robinson, S. A., Frayne, R., Mekary, S., Fowles, J. R., and Kimmerly, D. S. (2018). Achieving Canadian physical activity guidelines is associated with better vascular function independent of aerobic fitness and sedentary time in older adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(10), 1003-1009.
111. Perotto, A. O. (2011). *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*: Illinois: Charles C Thomas Publisher.
112. Ramis, T. R., de Lemos Muller, C. H., Boeno, F. P., Teixeira, B. C., Rech, A., Pompermayer, M. G., and Ribeiro, J. L. (2020). Effects of traditional and vascular

- restricted strength training program with equalized volume on isometric and dynamic strength, muscle thickness, electromyographic activity, and endothelial function adaptations in young adults. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(3), 689-698.
113. Pedralli, M. L., Eibel, B., Waclawovsky, G., Schaun, M. I., Nisa-Castro-Neto, W., Umpierre, D., and Lehnen, A. M. (2018). Effects of exercise training on endothelial function in individuals with hypertension: a systematic review with meta-analysis. *Journal of the American Society of Hypertension*, 12(12), e65-e75.
 114. Qiu, S., Cai, X., Yin, H., Sun, Z., Zügel, M., Steinacker, J. M., and Schumann, U. (2018). Exercise training and endothelial function in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis. *Cardiovascular Diabetology*, 17(1), 64.
 115. Ercan, M., and Koksall, C. (2003). The relationship between shear rate and vessel diameter. *Anesthesia and Analgesia*, 96(1), 307.
 116. Hudlicka, O., Brown, M., and Egginton, S. (1992). Angiogenesis in skeletal and cardiac muscle. *Physiological Reviews*, 72(2), 369-417.
 117. Clarkson, M. J., May, A. K., and Warmington, S. A. (2019). Chronic blood flow restriction exercise improves objective physical function: a systematic review. *Frontiers in Physiology*, 10, 1058.
 118. Yoo, W. G. (2013). Effect of the neck retraction taping (NRT) on forward head posture and the upper trapezius muscle during computer work. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(5), 581-582.
 119. Cristina Oliveira, M., Meireles, K., Spranger, M. D., O'Leary, D. S., Roschel, H., and Pecanha, T. (2019). Clinical safety of blood flow restricted training? A comprehensive review of altered muscle metaboreflex in cardiovascular disease during ischemic exercise. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 318(1), 90-109.
 120. Seal, J. B., and Gewertz, B. L. (2005). Vascular dysfunction in ischemia-reperfusion injury. *Annals of Vascular Surgery*, 19(4), 572-584.
 121. Credeur, D. P., Hollis, B. C., and Welsch, M. A. (2010). Effects of handgrip training with venous restriction on brachial artery vasodilation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1296-1302.
 122. Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., Loenneke, J. P., Kim, D., Abe, T., and Bemben, M. G. (2014). Vascular adaptations to low-load resistance training with and without blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 114(4), 715-724.
 123. 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 and Science in Sports*, 21(6), e231-e241.

124. Montgomery, R., Paterson, A., Williamson, C., Florida-James, G., and Ross, M. D. (2019). Blood flow restriction exercise attenuates the exercise-induced endothelial progenitor cell response in healthy, young men. *Frontiers in Physiology*, 10, 447.
125. Paiva, F., Vianna, L. C., Fernandes, I., Nóbrega, A., and Lima, R. M. (2016). Effects of disturbed blood flow during exercise on endothelial function: a time course analysis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49(4), e5100-e5109.
126. Bond, V., Curry, B. H., Kumar, K., Pemminati, S., Gorantla, V. R., Kadur, K., and Millis, R. M. (2017). Restricted blood flow exercise in sedentary, overweight african-american females may increase muscle strength and decrease endothelial function and vascular autoregulation. *Journal of Pharmacopuncture*, 20(1), 23.
127. de Queiros, V. S., Dantas, M., Neto, G. R., da Silva, L. F., Assis, M. G., Almeida-Neto, P. F., and Cabral, B. G. D. A. T. (2021). Application and side effects of blood flow restriction technique: A cross-sectional questionnaire survey of professionals. *Medicine*, 100(18), e25794.
128. Hunt, J. E., Walton, L. A., and Ferguson, R. A. (2012). Brachial artery modifications to blood flow-restricted handgrip training and detraining. *Journal of Applied Physiology*, 112(6), 956-961.
129. Stacy, M. R., Bladon, K. J., Lawrence, J. L., McGlinchy, S. A., and Scheuermann, B. W. (2013). Serial assessment of local peripheral vascular function after eccentric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(12), 1181-1186.
130. Kano, Y., Padilla, D. J., Behnke, B. J., Hageman, K. S., Musch, T. I., and Poole, D. C. (2005). Effects of eccentric exercise on microcirculation and microvascular oxygen pressures in rat spinotrapezius muscle. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1516-1522.
131. Hunt, J. E. A., Galea, D., Tufft, G., Bunce, D., and Ferguson, R. A. (2013). Time course of regional vascular adaptations to low load resistance training with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology*, 115(3), 403-411.
132. 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.
133. Shimizu, R., Hotta, K., Yamamoto, S., Matsumoto, T., Kamiya, K., Kato, M., and Masuda, T. (2016). Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 749-757.
134. Tangchaisuriya, P., Chuensiri, N., Tanaka, H., and Suksom, D. (2021). Physiological adaptations to high-intensity interval training combined with blood flow restriction in masters road cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(5), 830-840.
135. Berglund, B. (1992). High-altitude training. *Sports Medicine*, 14(5), 289-303.

136. Nosaka, K., and Clarkson, P. M. (1995). Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1263-1269.
137. Ferguson, R. A., Hunt, J. E., Lewis, M. P., Martin, N. R., Player, D. J., Stangier, C., and Turner, M. C. (2018). The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Sport Science*, 18(3), 397-406.
138. Larkin, K. A., MacNeil, R. G., Dirain, M., Sandesara, B., Manini, T. M., and Buford, T. W. (2012). Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(11), 2077.
139. Lauder, M. A., & Lake, J. P. (2008). Biomechanical comparison of unilateral and bilateral power snatch lifts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 653-660.
140. Esme, H., Fidan, H., Koken, T., and Solak, O. (2006). Effect of lung ischemia-reperfusion on oxidative stress parameters of remote tissues. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 29(3), 294-298.
141. Ozcan, O., Erdal, H., ve Yonden, Z. (2015). İskemi-reperfüzyon hasarı ve oksidatif stres ilişkisine biyokimyasal bakış. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tıp Dergisi*, 6(23), 27-33.
142. Szocs, K. (2004). Endothelial dysfunction and reactive oxygen species production in ischemia/reperfusion and nitrate tolerance. *General Physiology and Biophysics*, 23, 265-296.
143. Madarame, H., Kurano, M., Takano, H., Iida, H., Sato, Y., Ohshima, H., and Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(3), 210-213.
144. Klatsky, A. L., Armstrong, M. A., and Poggi, J. (2000). Risk of pulmonary embolism and/or deep venous thrombosis in Asian-Americans. *The American Journal of Cardiology*, 85(11), 1334-1337.
145. Kollias, A., Kyriakoulis, K. G., Lagou, S., Kontopantelis, E., Stergiou, G. S., and Syrigos, K. (2021). Venous thromboembolism in COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Vascular Medicine*, 26(4), 415-425.
146. Walker, S., Davis, L., Avela, J., and Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular fatigue during dynamic maximal strength and hypertrophic resistance loadings. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 356-362.
147. Finn, H. T., Brennan, S. L., Gonano, B. M., Knox, M. F., Ryan, R. C., Siegler, J. C., and Marshall, P. W. (2014). Muscle activation does not increase after a fatigue plateau is reached during 8 sets of resistance exercise in trained individuals. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1226-1234.

148. Sconce, E., Heller, B., Maden-Wilkinson, T., and Hamilton, N. (2021). Agreement between methods and terminology used to assess the kinematics of the Nordic hamstring exercise. *Journal of Sports Sciences*, 39(24), 2859-2868.
149. Guruhan, S., Kafa, N., Ecemis, Z. B., and Guzel, N. A. (2021). Muscle activation differences during eccentric hamstring exercises. *Sports Health*, 13(2), 181-186.
150. Marshall, P. W., Lovell, R., Knox, M. F., Brennan, S. L., and Siegler, J. C. (2015). Hamstring fatigue and muscle activation changes during six sets of Nordic hamstring exercise in amateur soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3124-3133.
151. Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., and Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2097-2106.
152. Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Sato, Y., and Abe, T. (2008). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(4), 467-474.
153. Yasuda, T., Fukumura, K., Iida, H., and Nakajima, T. (2015). Effect of low-load resistance exercise with and without blood flow restriction to volitional fatigue on muscle swelling. *European Journal of Applied Physiology*, 115(5), 919-926.
154. Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., and Abe, T. (2013). Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. *Acta Physiol Hung*, 100(4), 419-426.
155. 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), e52843.
156. 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.
157. 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. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2725-2733.
158. Vigotsky, A. D., Halperin, I., Lehman, G. J., Trajano, G. S., and Vieira, T. M. (2018). Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. *Frontiers in Physiology*, 10, 985.
159. Wernbom, M., and Aagaard, P. (2020). Muscle fibre activation and fatigue with low-load blood flow restricted resistance exercise-An integrative physiology review. *Acta Physiologica*, 228(1), e13302.

160. Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Abe, T., and Loenneke, J. P. (2018). Mechanisms of blood flow restriction: the new testament. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 72-79.
161. Rolnick, N., and Schoenfeld, B. J. (2020). Blood flow restriction training and the physique athlete: a practical research-based guide to maximizing muscle size. *Strength and Conditioning Journal*, 42(5), 22-36.
162. Curran, M. T., Bedi, A., Mendias, C. L., Wojtys, E. M., Kujawa, M. V., and Palmieri-Smith, R. M. (2020). Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 825-837.
163. Sudo, M., Ando, S., Poole, D. C., and Kano, Y. (2015). Blood flow restriction prevents muscle damage but not protein synthesis signaling following eccentric contractions. *Physiological Reports*, 3(7), e12449.
164. Dankel, S. J., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Mouser, J. G., Counts, B. R., and Loenneke, J. P. (2018). Can blood flow restriction augment muscle activation during high-load training? *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(2), 291-295.



EKLER

EK-1. Etik Komisyon Formu

Evrak Tarih ve Sayısı: 08.02.2021-E.18938



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Etik Komisyonu

Sayı : E-77082166-604.01.02-18938
Konu : Değerlendirme ve Onay

Sayın Prof. Dr. Nevin Aysel GÜZEL
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölüm Başkanlığı - Öğretim Üyesi

Araştırmacı grubu Nevin A.GÜZEL, M.Koray AKKAN, Fuat YÜKSEL, Ömer Burak TOR'dan oluşan "*Nordic Hamstring Egzersizi Sırasında Uygulanan Kan Akımı Kısıtlamasının Kasal Aktivasyon ve Vasküler Yapılar Üzerine Etkisi*" başlıklı araştırma öneriniz Komisyonumuzun 12.01.2021 tarih ve 01 sayılı toplantısında görüşülmüş olup,

Çalışmanızın, yapılması planlanan yerlerden izin alınması koşuluyla yapılmasında etik açıdan bir sakınca bulunmadığına oybirliği ile karar verilmiş ve karara ilişkin imza listesi ekte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

Araştırma Kod No: 2021 - 82

Prof. Dr. İsmail KARAKAYA
Komisyon Başkanı

Ek:1 Liste

Belge Doğrulama Kodu :BECFARCRY

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Takip Adresi : <https://belgedogrulama.gazi.edu.tr/belgedogrulama.aspx>



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 Formu

GAZİ ÜNİVERSİTESİ ETİK KOMİSYONU KATILIM LİSTESİ	
TOPLANTI TARİHİ : 26.01.2021	TOPLANTI SAYISI : 02
ADI – SOYADI	İMZA
Prof. Dr. İsmail KARAKAYA Başkan	
Prof.Dr.Kemal ÖZTEMEL Başkan Yardımcısı	
Prof.Dr.C.Haluk BODUR	
Prof.Dr.Seçil ÖZKAN	
Prof.Dr.Cevriye TEMEL GENCER	
Prof.Dr.İsmet YÜKSEL	
Prof.Dr.Aymelek GÖNENÇ	
Prof.Dr.Gülşay BAYRAMOĞLU	
Prof.Dr.Makbule GEZMEN KARADAĞ	
Prof.Dr.Zehra GÖÇMEN BAYKARA	
Prof.Dr.İlyas OKUR	
Doç.Dr.Nihan KAFA	
Doç.Dr.Melek Gülşah ŞAHİN	

EK-2. Katılımcılar İçin Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

GAZİ ÜNİVERSİTESİ ETİK KOMİSYONU FORM-2

Rev-3
19.12.2017T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
ETİK KOMİSYONU

KATILIMCILAR İÇİN BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

Sizi, Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'ndan 08.02.2021 tarih / E.18938 sayılı ile izin alınan* Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL tarafından yürütülen "Nordic Hamstring Egzersizi Sırasında Uygulanan Kan Akımı Kısıtlamasının Kasal Aktivasyon Ve Vasküler Yapılar Üzerine Etkisi" başlıklı araştırmaya davet ediyoruz. Bu çalışmaya katılmak tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır. 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.

*Gazi Üniversitesi Etik Komisyon izni alındıktan sonra doldurularak kullanılacaktır.

Araştırmanın Amacı	Bu çalışma dizin arka grubunda bulunan kasları çalıştıran bir egzersiz olan <u>Nordic hamstring</u> egzersizine ilave olarak yapılacak olan kan akımı kısıtlama uygulamasının, <u>kasal</u> aktivasyona ve damarsal yapılara olan etkisini araştırmayı amaçlamaktadır.
Araştırmanın Yöntemi	Bu çalışmaya 15 sağlıklı erkek gönüllü dâhil edilecektir. Koroner kalp hastalığı, <u>diabet</u> , böbrek hastalıkları, derin ven trombozu öyküsü, kontrol edilemeyen hipertansiyon, nörolojik hastalıklar, geçirilmiş <u>hamstring</u> kas yaralanması ve sigara içenler çalışmaya alınmayacaktır. Yine çalışma başlangıcında katılımcıların ayak bileği kol indeksleri ölçülecek ve 0.9'un altında olanlar çalışmaya dâhil edilmeyecektir. . Katılımcılar ölçümlerden 12 saat öncesinde antioksidan ve <u>antiinflatuar</u> ilaçlardan, kafeinden ve alkolden uzak durması gerektiği konusunda bilgilendirilecektir Çalışma başlangıcında katılımcıların yaş, boy, vücut ağırlığı, beden kitle endeksi gibi demografik bilgileri kaydedilecektir. (1) Çalışmaya katılan 15 gönüllünün öncelikle çift taraflı olacak şekilde alt ekstremitede bir atar damar olan <u>Popliteal</u> atardamardan ultrason ölçümleri yüksek çözünürlüklü doppler ultrason ile alınacaktır. Ayrıca bu aşamada bacaklarda yer alan toplardamarlar ultrason ile tıkanıklık açısından değerlendirilecektir. Ultrason ölçümleri alanında deneyimli uzman hekim tarafından gerçekleştirilecektir. Ultrason ölçümleri alınan katılımcıların kura ile hangi bacaklarına kan kısıtlaması uygulanacağı belirlenecektir. Her iki <u>bacanın</u> arka adale grubuna <u>yüzevel elektromyografi (emg)</u> elektrotları yapıştırılacak ve öncelikle yüzü koyun pozisyonda 3 saniyelik dirence karşı dizlerini bükmeleri istenecektir. Her iki bacak için bu uygulama 2 kez yapılacaktır. 5 dakika dinlenen katılımcıların kura ile belirlenen bacaklarının üst kısmına bir manşon yerleştirilecek ve bu manşon kan akımının tam kısıtlandığı noktaya kadar şişirilecek ve bu nokta ayakta bulunan bir arterden alınan ultrason ölçümü ile belirlenecektir. Daha sonra manşon söndürülecek ve belirlenen basıncın % 60 'ına denk gelen basınçta yeniden şişirilerek güvenli bir kan kısıtlaması oluşturulacaktır. Bir bacağında manşon bulunan katılımcı egzersiz sehpasına geçerek başlıkta belirtilmiş olan egzersizi yapacaktır. Bu egzersiz sırasında kişiden dizlerinin üzerinde iken ayak bilekleri sehpa da kendisini destekleyecek pozisyonda, kolları yanda kendini yavaşça yere doğru götürmesi istenecektir. Egzersiz önce deneyimli bir fizyoterapist tarafından gösterilecek ve birkaç deneme yapması istenecektir. Daha sonra 3 set 5 tekrar olmak üzere egzersiz yapılacak, setler arasında 60 sn dinlenme verilecektir. Egzersizler sırasında bilgisayar ile kablosuz <u>kasal</u> aktivasyon(emg) ölçümü alınacaktır. Egzersizler bittikten 15 dakika sonra başta yapılan ultrason ölçümleri tekrar edilecektir.
Araştırmanın Öngörülen Süresi	15/03/2021- 15/05/2021

EK-2. (devam) Katılımcılar İçin Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

GAZİ ÜNİVERSİTESİ ETİK KOMİSYONU FORM-2

Rev-3

19.12.2017

(Başlama ve Bitiş Tarihi)	
Araştırmaya Katılması Beklenen Katılımcı/Gönüllü Sayısı	15
Araştırmanın Yapılacağı Yerler	Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi/ Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü
Görüntü ve/veya ses kaydı alınacak mı?	Evet Hayır X

Tablo katılımcıların anlayabileceği biçimde, akademik dil kullanılmadan yazılacaktır.

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 araştırma 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 yapılamayacaktır. Araştırma ile ilgili bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Bu çalışmaya hiçbir baskı altında kalmadan kendi bireysel onayım ile katılıyorum. İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

Araştırma yürütücüsü(Tez çalışmalarında Danışman tarafından imzalanacaktır.)

Adı ve Soyadı	Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL	Tarih ve İmza
Adres ve telefonu	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
Adres ve telefonu		

EK-3. Katılımcı Değerlendirme Formu

Değerlendirme Formu

No:

Kısıtlama Tarafı:

Adı Soyadı:

Sigara Öyküsü:

Yaş:

Geçirilmiş Alt Ekstremitte Yaralanmaları:

Vücut Ağırlığı (kg):

Sistemik Hastalıklar:

Boy (cm):

Düzenli ilaç Kullanımı:

VKI:

Son 12 saat içinde ilaç, kafein, alkol kullanımı:

Dominant Taraf:

Venöz trombüs:

Deri Empedansı

Sağ

Sol

Biceps Femoris:

Semitendinosus:

Ayak Bileği Kol indeksi;

Sağ Alt Ekstremit

Sol Alt Ekstremite

İlk Ölçüm;

İkinci Ölçüm:

Flow Mediated Dilatation (cm):

Sağ Alt Ekstremit

1. Ölçüm (Egzersiz Öncesi)

	Baseline 1	Baseline 2	Baseline 3	Maksimum 1	Maksimum 2	Maksimum 3
Sag						
Sol						

2. Ölçüm (Egzersiz sonrası)

	Baseline 1	Baseline 2	Baseline 3	Maksimum 1	Maksimum 2	Maksimum 3
Sag						
Sol						

EK-3.(devam) Katılımcı Değerlendirme Formu

Sol Alt Ekstremité

1. Ölçüm (Egzersiz Öncesi)

	Baseline 1	Baseline 2	Baseline 3	Maksimum 1	Maksimum 2	Maksimum 3
Sağ						
Sol						

2. Ölçüm (Egzersiz sonrası)

	Baseline 1	Baseline 2	Baseline 3	Maksimum 1	Maksimum 2	Maksimum 3
Sağ						
Sol						

Arteriel Oklüzyon Basıncı:

Kısıtlama Basıncı:

vFMG Ölçümleri

Maksimal İstemli Kontraksiyon

	Biceps Femoris		Semitendinosus	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol
1. Tekrar				
2. Tekrar				
3. Tekrar				

Nordic Hamstring Egzersizi

1. Set

	Biceps Femoris		Semitendinosus	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol
1. Tekrar				
2. Tekrar				
3. Tekrar				
4. Tekrar				
5. Tekrar				

2. Set

	Biceps Femoris		Semitendinosus	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol
1. Tekrar				
2. Tekrar				
3. Tekrar				
4. Tekrar				
5. Tekrar				

EK-3. (devam) Katılımcı Değerlendirme Formu

3. Set

	<u>Biceps Femoris</u>		<u>Semitendinosus</u>	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol
1. Tekrar				
2. Tekrar				
3. Tekrar				
4. Tekrar				
5. Tekrar				

Yan etkiler:

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜKSEL, Fuat
Uyruğu : T.C.

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
Doktora	Gazi Üniversitesi / Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı	2017
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi / Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Bölümü	2009

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2018-devam ediyor	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2017-2018	Ordu Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2016-2017	Akdemir Özel Eğitim Merkezi	Fizyoterapist
2011-2016	Fizyotıp Dal Merkezi	Fizyoterapist

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

1. Esmer, M., Güzel, N. A., Yüksel, F., and Kafa, N. (2022). Effects of rehabilitation materials with different stability properties on muscle activity: A narrative review. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 175-179.
2. Çelik, Z., Güzel, N. A., Yüksel, F., and Kafa, N. (2021). Lung age and respiratory muscle strength in female volleyball players. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 67, 1432-1436.

3. Yüksel, F., Güzel, N., Taşpınar, B., and Balaban, A. (2020). The relationship between trunk muscle endurance, respiratory functions and respiratory muscle strength in healthy individuals. *Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi (Online)*, 31(3).
4. Acaröz Candan, S., Akoğlu, A. S., Büğüşan, S., & Yüksel, F. (2019). Effects of neuromuscular electrical stimulation of quadriceps on the quadriceps strength and functional performance in nursing home residents: A comparison of short and long stimulation periods. *Geriatrics & Gerontology International*, 19(5), 409-413.





GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..

