



**FARKLI EGZERSİZ YAKLAŞIMLARININ KASIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE VE BİREYLERİN FONKSİYONEL PERFORMANSI
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Selim Mahmut GÜNAY

**DOKTORA TEZİ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2023

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.

Selim Mahmut GÜNAY

15/06/2023

*Sokaklarında huzur bulduğum Antakya'ya ve
depremde hayatını kaybeden insanlarımıza...*

FARKLI EGZERSİZ YAKLAŞIMLARININ KASIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE BİREYLERİN FONKSİYONEL PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

Selim Mahmut GÜNAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2023

ÖZET

İskelet kasının mekanik özellikleri ve viskoelastik yapısı yüklenme düzeyindeki değişikliklere göre farklılık gösterir. Bu çalışmanın amacı sağlıklı bireylerde farklı egzersiz programlarının kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini incelemek ve mekanik özelliklerdeki bu değişimlerin performansa etkisini araştırmaktır. Araştırmaya 40 sağlıklı kadın katılımcı dahil edildi. Katılımcılar tüm vücut vibrasyon (TVV) egzersiz (n=10), kuvvetlendirme egzersiz (n=10), aerobik egzersiz (n=10) ve kontrol (n=10) olmak üzere dört gruba ayrıldı. Çalışma grupları 4 hafta boyunca (haftada 3 gün) TVV, kuvvetlendirme ve aerobik egzersizlerle takip edildi. Kuadriseps, hamstring ve gastrocnemius kaslarının pasif mekanik özellikleri ultrasonografi ile değerlendirildi. Kuvvet ve endurans değerleri izokinetik sistemle, denge Y denge testi ile sıçrama performansı yatay ve dikey sıçrama testleri ile değerlendirildi. Tüm ölçümler dominant alt ekstremité için çalışma öncesi ve 4 hafta sonunda gerçekleştirildi. Çalışma sonucunda TVV ve kuvvetlendirme egzersizleri kuadriseps ve hamstring kas sertliklerinde daha geniş etki büyüklüğü ile artış gösterdi ($\eta^2 \geq 0,14$). TVV egzersizleriyle VMO, BF, LGK ve MGK kaslarının pasif sertliğinde anlamlı artış kaydedildi ($p < 0,05$). TVV (RF ve BF), kuvvetlendirme (VMO ve LGK) ve aerobik (VMO, SM ve LGK) egzersiz programları kas kalınlıklarında anlamlı gelişme sağladı ($p < 0,05$). Egzersiz programlarıyla izokinetik değerlendirme, denge, yatay ve dikey sıçrama sonuçlarında anlamlı gelişmeler sağlandığı görüldü ($p < 0,05$). Sonuç olarak farklı egzersiz programları kasın mekanik özelliklerinde farklı etkiler açığa çıkarmıştır. Kas sertliği ve kalınlığının avantaj veya dezavantaj oluşturma durumuna göre uygun egzersiz seçimi performansın artırılmasına ve aktiviteye uygun kas yapısının oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Bilim Kodu : 1024

Anahtar Kelimeler : Vibrasyon, kuvvetlendirme, egzersiz, sertlik, kalınlık, elastografi

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL

THE EFFECTS OF DIFFERENT EXERCISE APPROACHES ON MUSCLE
MECHANICAL PROPERTIES AND FUNCTIONAL PERFORMANCE OF
INDIVIDUALS

(Ph. D. Thesis)

Selim Mahmut GÜNEY

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF HEALTH SCIENCES

June 2023

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the effects of different exercise programs on passive mechanical properties of the muscle in healthy individuals and to investigate the effects of these changes in mechanical properties on performance. Forty healthy female participants were included in this study. Participants were divided into four groups as whole body vibration (WBV) exercise (n=10), strengthening exercise (n=10), aerobic exercise (n=10) and control (n=10). Study groups were followed up with WBV, strengthening and aerobic exercises for 4 weeks (3 per week). Passive mechanical properties of quadriceps, hamstrings and gastrocnemius muscles were evaluated with ultrasound. Strength and endurance values were evaluated with isokinetic system, balance was evaluated with Y balance test, and jump performance was evaluated with horizontal and vertical jump tests. All assessments were performed for dominant lower extremity pre and post 4-week intervention. As a result of the study, WBV and strengthening exercises showed an increase with a larger effect size on quadriceps and hamstring muscle stiffness ($\eta^2 \geq 0,14$). A significant increase in passive stiffness of VMO, BF, LGK and GK muscles was noted with WBV exercises ($p < 0.05$). WBV (in RF and BF), strengthening (in VMO and LGK) and aerobic (in VMO, SM and LGK) exercise programs provided significant improvement in muscle thickness ($p < 0.05$). As a result of exercise programs significant improvements were observed in isokinetic assessment, balance, horizontal and vertical jump performance ($p < 0,05$). In conclusion different exercise programs revealed different effects on muscle mechanical properties. Appropriate exercise selection according to the advantage or disadvantage of muscle stiffness and thickness can contribute to increasing performance and creating a muscle structure suitable for the activity.

Science Code : 1024
Key Words : Vibration, strengthening, exercise, stiffness, thickness, elastography
Page Number : 81
Supervisor : Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans döneminden başlayarak doktora eğitimim boyunca tecrübesi ve bilgi birikimiyle birlikte mesleğe bakışımı değiştiren, çözüm odaklı yaklaşımı, bitmeyen enerjisiyle bu tez çalışmasının her aşamasında emeği geçen, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli tez danışmanım Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL'e,

Uludağ Üniversitesi'nde geçirdiğim süre boyunca uygun çalışma ortamı sağlayan ve mesleki gelişimimi destekleyen başta Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Fatma JaleİRDESEL, Prof. Dr. Şüheda ÖZÇAKIR ve Başfizyoterapist Tülay KORKMAZ olmak üzere tüm Fizik Tedavi Bölümü'ne

Tez çalışmam vesilesiyle tanıştığım tüm yoğunluğuna rağmen ultrason ölçümlerini yapmayı kabul eden, nezaketi ve sabrının yanı sıra ölçüm zamanlarını eğlenceli hale getiren dünyalar iyisi Prof. Dr. Naile Bolca TOPAL'a,

Lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle desteğini esirgemeyen yüksek lisans döneminde danışmanlığımı yürüten değerli hocam Prof. Dr. İlke KESER'e

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum zor zamanlarımda verdikleri destek ve gösterdikleri yakınlıkla yola devam etmemi sağlayan fizyoterapist çalışma arkadaşlarım Akif PEKTAŞ, Elvan YILMAZ CEBELLİ, Emsal TUNÇ, Hülya ÖZDEMİR, Melike TAPAN ve Erg. Sulhiye ERDEM'e,

Çalışma hayatına birlikte başladığım ve yardımlarını bir ömür boyu unutamayacağım meslektaşım ve yol arkadaşım Dr. Fzt. Uğur SÖZLÜ'ye,

İzokinetik sistemde kas kuvvet ölçümleri gerçekleştirilmesini sağlayan başta Prof. Dr. Bedrettin AKOVA ve Dr. Onur EVREN olmak üzere Spor Hekimliği Anabilim Dalının tüm araştırma görevlisi doktorlarına, tez çalışmamın istatistiksel analizinde yardımlarını esirgemeyen değerli abim Prof. Dr. Gökhan OCAKOĞLU'na,

Beni yetiştiren ve hayatımın her aşamasında destekleyen varlıklarıyla hayata tutunduğum sevgili anneme, babama ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. İskelet Kasının Yapısı ve Fonksiyonları	5
2.1.1. İskelet kasının kasılma mekanizması	6
2.1.2. İskelet kasında eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesi: kas aktivasyonunun fizyolojisi	7
2.1.3. Kasılma döngüsü: Çapraz köprü oluşumu ve aktomiyozin etkileşimi....	8
2.1.4. İskelet kas lifi tipleri.....	9
2.2. İskelet Kası Pasif Mekanik Özellikleri	10
2.3. Kasın Pasif Mekanik Özellikleri: Klinik ve Fonksiyonel Önemi	12
2.4. Kasın Pasif Mekanik Özellikleri, Egzersiz Etkileşimi ve Performans İlişkisi...	15
2.4.1. Tüm vücut vibrasyon egzersizleri	15
2.4.2. Aerobik egzersiz.....	16
2.4.3. Kuvvetlendirme egzersizleri	17
2.4.4. Diğer egzersiz yaklaşımları	18
2.5. Kasın Pasif Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	20
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	23

	Sayfa
3.1. Katılımcılar	23
3.2. Çalışma Planı	25
3.3. Değerlendirme Yöntemleri	28
3.3.1. Demografik özellikler	28
3.3.2. Ultrasonografik ölçümler	28
3.3.3. Kas kuvveti ve endurans	30
3.3.4. Denge ve sıçrama	32
3.4. İstatistiksel Analiz.....	35
4. BULGULAR	37
4.1. Grupların Denge, Sıçrama ve İzokinetik Kuvvet Ölçümleri Başlangıç Değerlerinin Karşılaştırılması	37
4.2. Kasın Pasif Mekanik Özelliklerinin Başlangıç Değerlerinin Karşılaştırılması .	38
4.3. Çalışma Öncesi ve Sonrası Grup İçi ve Gruplar Arası Karşılaştırma Sonuçları	39
5. TARTIŞMA	49
5.1. Egzersizlerin Kasın Pasif Mekanik Özelliklerine Etkileri	50
5.2. Egzersizlerin Kas Kuvveti ve Enduransa Etkileri	53
5.3. Egzersizlerin Denge ve Sıçrama Performansına Etkileri	55
5.4. Çalışmanın Güçlü Yanları.....	57
5.5. Çalışmanın Limitasyonları	57
5.6. Çalışmanın Sonuçları ve Hipotezlerin Yorumlanması.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
EKLER.....	73
EK-1. Etik Kurul Başvuru Formu	74
EK-2. Değerlendirme Formu	77
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Grupların demografik özellikleri.....	37
Çizelge 4.2. Denge, sıçrama performansı ve izokinetik kuvvet ölçümlerinin başlangıç değerleri.....	38
Çizelge 4.3. Kasın pasif mekanik özellikleri başlangıç değerleri.....	38
Çizelge 4.4. Denge ve sıçrama ölçümlerinin grup içi ve gruplar arasında karşılaştırılması	39
Çizelge 4.5. İzokinetik kuvvet ölçümlerinin grup içi ve gruplar arası karşılaştırılması.	41
Çizelge 4.6. Kas pasif sertliği grup içi ve gruplar arasında karşılaştırılması	44
Çizelge 4.7. Grupların istirahat kas kalınlık değerlerinin grup içi ve gruplar arası karşılaştırılması	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İskelet kası morfolojik yapısı	5
Şekil 2.2. Aktin ve miyozin lifleri bant görünümü.....	6
Şekil 2.3. Kasılma döngüsü.....	8
Şekil 3.1. Çalışma akış diyagramı	23

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Tüm vücut vibrasyon egzersizleri	26
Resim 3.2. Koşu temelli aerobik egzersiz	27
Resim 3.3. Kuvvetlendirme egzersizleri.....	28
Resim 3.4. Ultrason elastografi: Vastus medialis obliquus kas kalınlık ölçümü.....	29
Resim 3.5. Ultrason elastografi: Semimembranosus _(A) ve medial gastrokinemius _(B) pasif kas sertliği ölçümleri.....	30
Resim 3.6. İzokinetik test ve rehabilitasyon sistemi.....	31
Resim 3.7. Y denge denge testi	33
Resim 3.8. Dikey sıçrama testi	34
Resim 3.9. Yatay sıçrama testi	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde
cm	Santimetre
Kg	Kilogram
m	Metre
Nm	Newton metre
P	Anlamlılık değeri
sn	Saniye
η^2	Etakare
Kısaltmalar	Açıklamalar
BF	Biceps femoris
DS	Dikey sıçrama
GKD	Gerilme kısalma döngüsü
LGK	Lateral gastrokinemius
MGK	Medial gastrokinemius
PE	Pliometrik eğitim
PNF	Propriyoseptif nöromuskuler fasilitasyon
RF	Rektus femoris
RM	Maksimum tekrar
SM	Semi membranosus
SWE	Shear wave elastografi
TVV	Tüm vücut vibrasyon
UE	Ultrason elastografi
VMO	Vastus medialis oblikus
YD	Y denge
YS	Yatay sıçrama

1. GİRİŞ

İskelet kası ekstra-sellüler matriks, membranlar, yapısal ve kontraktil proteinlerle birbirine bağlı, bu sayede kuvvet üretimi ve yük taşımayı sağlayan kompozit bir dokudur. Kasta kuvvet üretim mekanizmalarının anlaşılması ile insan hareketliliği, stabilitesi ve vital fonksiyonların devamı ile ilişkili olarak aktif kas özelliklerinin kritik rolü tanımlanabilmiştir. Bununla birlikte aktivasyon yokluğundaki pasif kas özellikleri ve mekanik özelliklerin deformasyon kuvvetlerine karşı adaptasyonları önem kazanmaya başlamıştır [1]. Kas dokusu deformasyon kuvvetlerine karşı mekanik yanıtlar oluşturan viskoelastik özellikte bir yapı olarak tanımlanır [2]. Kasın pasif mekanik özellikleri iskelet kasında istemli kasılma olmaksızın dinlenme durumundaki viskoelastik özellikler ile karakterize olup pasif mekanik özellikler kas tonusu, sertlik, elastisite ve kalınlık olarak tanımlanmıştır [3].

Aktiviteye uygun kas sertliği ve tonus düzeyi sportif performansın belirleyici parametrelerinden biri olarak ele alınabilir. Fiziksel aktivite düzeyi ve spor branşı kas yapısında birtakım değişiklikler oluşturabilir. Sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığında sporcularda kas sertliği ve tonus değerlerinin daha düşük düzeyde olduğu gözlenmiştir [4]. Ancak mekanik özelliklerin yarış sırasında ortalama hızla doğru orantılı olduğu bildirilmiştir [5].

Süratli koşu, sıçrama ve yön değiştirme gibi çabuk ve/veya tekrarlı gerilme-kısalma döngüsü aktivitelerinde alt ekstremitelerde kaslarında sertliğin fazlalığı bir avantaj oluşturabilir. Literatürde yüksek musküler sertliğin futbolcularda atletik performansa olumlu etki yapabileceği vurgulanırken, kasın pasif mekanik özellikleri ve dinamik yetenekler arasındaki ilişkinin antrenman stratejilerini de etkileyebileceği belirtilmektedir [6,7]. Ancak bazı çalışmalarda alt ekstremitelerde kas sertliğindeki total artışın koşucularda özellikle aşıl tendon yaralanma riskini artırabileceği ve bu doğrultuda kas sertliğindeki azalmanın kas yaralanmalarını da azaltabileceği ileri sürülmüştür [8].

Kasın pasif mekanik özelliklerinin aktiviteye göre avantaj veya dezavantaj olarak karşımıza çıkması optimal performans için kas dokuda aktiviteye uygun pasif mekanik özelliklerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kişiye, aktivite ve spora özgü normatif kas sertliği değerleri belirlenerek, egzersiz yaklaşımlarının dokuda aktiviteye uygun mekanik özellikler oluşturacak şekilde planlanması sağlanabilir.

Egzersiz yaklaşımları sağlıklı bireylerde veya rehabilitasyon sürecinde gelişime katkı sağlarken, kas dokusunda yapısal ve fizyolojik değişimlere yol açabilmektedir [9]. Spora ve aktiviteye özgü egzersiz yaklaşımlarının tercih edilmesi hareket özelliklerine uygun mekanik kas özelliklerinin kazanılmasına yardımcı olmaktadır. Bu doğrultuda kasın pasif mekanik özelliklerinde değişiklik oluşturabilecek sıklıkla germe, kuvvetlendirme ve aerobik karakterde egzersizlerin tercih edildiği bildirilmiştir [10].

Literatürde alt ekstremitte sertliğinin atletik performansı artıracağı gibi yumuşak doku yaralanma insidansını da azaltabileceği belirtilmiştir. Ancak çok yüksek kas sertliği değerlerinin yaralanmalara zemin hazırlayabileceği de bilinmektedir [11]. Bu noktada egzersiz ve pasif kas mekanikleri arasındaki etkileşimin anlaşılması yaralanmaları önleme programlarının şekillendirilmesine de katkı sağlayacaktır.

Egzersizlerin kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerinin incelendiği çalışmalarda değerlendirilen katılımcı profili, egzersiz protokolleri, programın süresi ve pasif mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler değişkenlik göstermektedir. Mekanik özelliklerin yaş, cinsiyet ve aktivite tipine göre normatif değerleri ile ilgili kanıtlar henüz yeterli düzeyde değildir. Ek olarak incelenen egzersiz yaklaşımlarıyla ilgili yeterince kanıt olmaması aktiviteye uygun mekanik değişiklikleri ortaya çıkaracak planlamanın yapılmasını da güçleştirmektedir [10,12,13]. Bu bağlamda fonksiyonel durumu ve performansı geliştiren egzersizlerin pasif kas mekaniğine etkilerine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Egzersizlerin kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini inceleyen çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir [11]. Literatürde sağlıklı ve klinik popülasyonda çok geniş yelpazede kullanılan tüm vücut vibrasyon (TVV) egzersizlerinin kas dokusuna etkilerini araştıran az sayıda araştırma yer almaktadır. Benzer şekilde elastik bantlarla yapılan dirençli egzersiz formundaki kuvvetlendirme egzersizlerinin ve aerobik karakterde koşu çalışmalarının etkilerini tanımlamaya çalışan az sayıda kanıt mevcuttur. Bu kapsamda planlanan tez çalışmasının amacı; sağlıklı bireylerde farklı egzersiz programlarının (kuvvet, aerobik ve TVV) kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini incelemek ve varsa mekanik özelliklerdeki bu değişimlerin kuvvet, denge ve sıçrama performansına etkilerini araştırmaktır.

Bu doğrultuda çalışmanın hipotezleri şöyledir:

Hipotez I

H₀: Tüm vücut vibrasyon, aerobik ve kuvvet egzersizlerinin alt ekstremitte kaslarının pasif mekanik özelliklerine etkisi yoktur.

H₁: Tüm vücut vibrasyon, aerobik ve kuvvet egzersizlerinin alt ekstremitte kaslarının pasif mekanik özelliklerine etkisi vardır.

Hipotez II

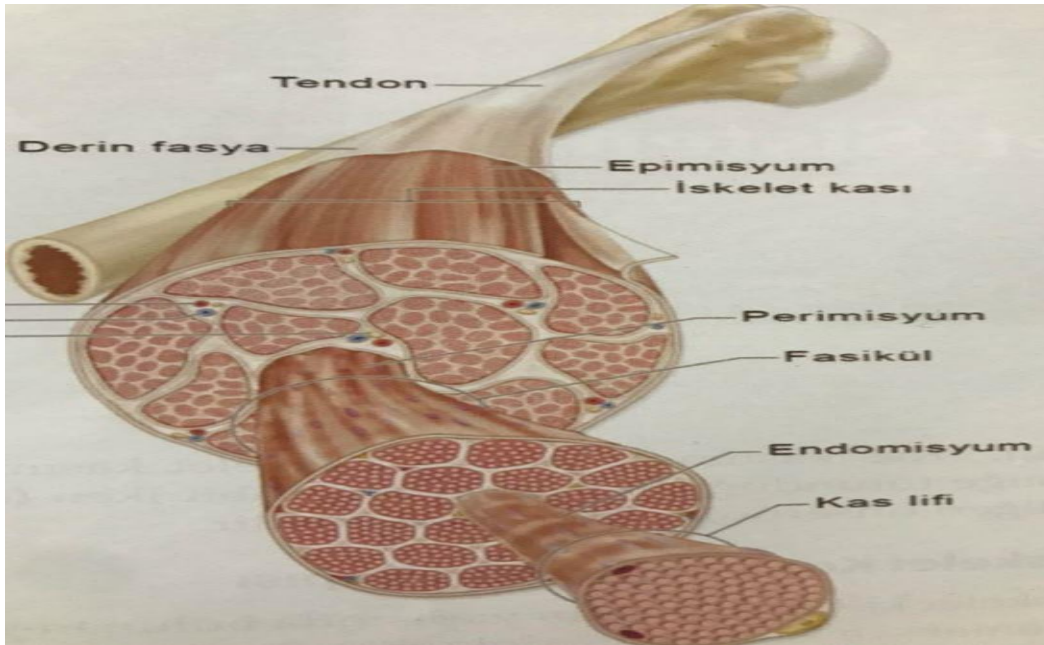
H₀: Tüm vücut vibrasyon, aerobik ve kuvvet egzersizlerinin alt ekstremitte kas kuvveti ve performansına etkisi yoktur.

H₁: Tüm vücut vibrasyon, aerobik ve kuvvet egzersizlerinin alt ekstremitte kas kuvveti ve performansına etkisi vardır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İskelet Kasının Yapısı ve Fonksiyonları

Kas dokusu iskelet kası, miyokard ve düz kasları içermektedir. Kas dokusunun büyük kısmı iskelet kaslarından oluşmaktadır. İskelet kası insan vücudunun en dinamik ve plastik dokularından biridir. İnsanlarda iskelet kası toplam vücut ağırlığının yaklaşık %40'ına denk gelirken tüm vücut proteinlerinin %50-75'ini içerir ve tüm vücut protein dönüşümünün büyük kısmı kas dokusunda gerçekleşmektedir [14].



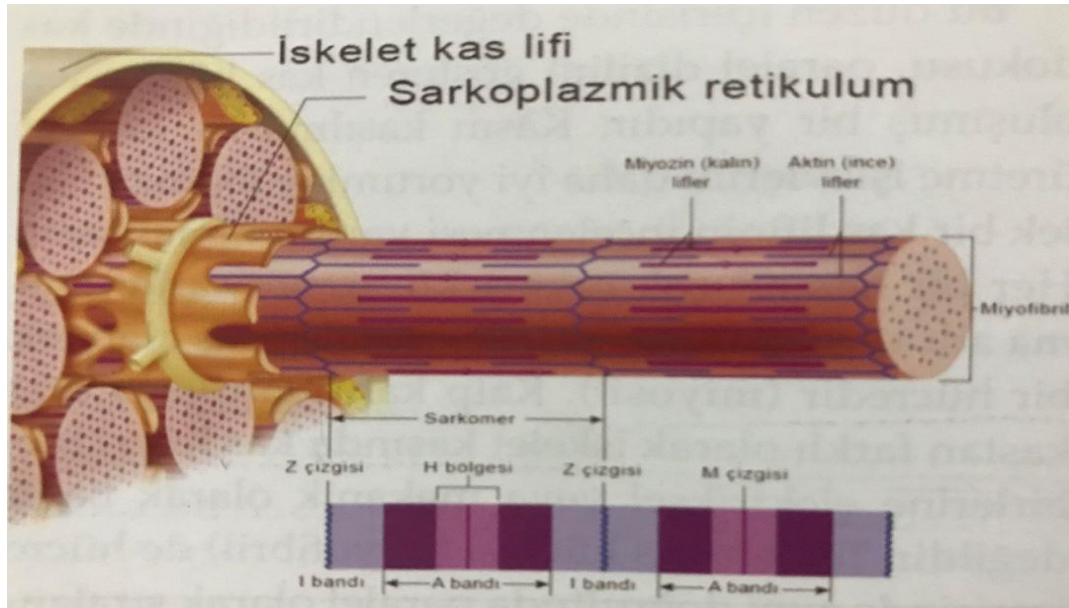
Şekil 2.1. İskelet kası morfolojik yapısı [16]

İskelet kası morfolojik yapı olarak ele alındığında büyük kas grupları fasya ile birbirinden ayrılmaktadır. İskelet kası değişken sayıda kas lifinden oluşur epimisyum adı verilen bağ doku ile çevrilidir. Perimisyum iskelet kasını oluşturan fasikülleri, endomisyum ise fasikülleri meydana getiren miyofibrilleri saran bağ dokularıdır. Kası çevreleyen dokular arasında yer alan yoğun nörovasküler oluşumlar dokunun innervasyonunda ve beslenmesinde görev almaktadır [15] (Şekil 2.1).

Kas dokusu paralel dizilim gösteren bir yapıdır. Bu doğrultuda tek bir kas lifinin incelenmesi kas kasılması ve fonksiyonların anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Sarkolemma ile çevrili kas lifi hücresi miyosit olarak adlandırılır. İskelet kası lifleri arasında elektriksel veya

mekanik olarak bağlantı yoktur. Bu özelliği ile kalp kası ve düz kaslardan farklıdır. Tek bir kas hücresi (miyofibril) hücre içerisinde aynı doğrultuda paralel dizilim gösteren ince (aktin) ve kalın (miyozin) miyofilamanlardan oluşmuştur [14].

İskelet kas lifi kendini tekrar eden birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler içerisinde geniş bölgeler bant, dar bölgeler ise çizgi olarak tanımlanır. Tekrar eden birimlerin sınırlarını Z çizgileri oluşturur. İki Z çizgisi arasında kalan bölüm sarkomer olarak tanımlanmıştır. Sarkomer içerisinde koyu renkli bölgeler A bandı, açık renkli bölgeler ise I bandı olarak adlandırılır. Kas dokusu içerisinde aktin ve miyozinler bazı bölgelerde iç içe geçmektedir. Aktin ve miyozinin üst üste bindiği bölgeler A bandının daha koyu renkli olduğu kısımlara denk gelir. H bandı miyozin liflerince oluşturulurken yerleşim olarak A bandının ortasında bulunmaktadır. M çizgisi sarkomerin merkezini göstermektedir. M çizgisi sarkomere dik konumda yer alarak miyozin liflerinin düzenli yerleşimini sağlayan çeşitli proteinleri bünyesinde barındırır [16] (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Aktin ve miyozin lifleri bant görünümü [16]

2.1.1. İskelet kasının kasılma mekanizması

İskelet kasının kasılabilmesi sinirsel uyarı ile mümkün olabilmektedir. Medulla spinalis ön boynuzundan çıkan alfa motor nöronlar periferik sinirler aracılığıyla kaslara ulaşarak sinirsel uyarılmanın gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bir motor nöron ve uyardığı tüm kas lifleri

motor ünite olarak tanımlanmaktadır. Motor nöronun kas lifini uyardığı bölgede sinir hücreleri miyelin kılıfını kaybederek terminal dallarına ayrılır. Sinir hücresinin kas ile etkileşime girdiği kısım sinir kas kavşağı olarak tanımlanırken, sarkolemmanın motor nöronu bir cep gibi sardığı ve sinir-kas etkileşiminin kuvvetlendirildiği bu bölge motor son plak olarak adlandırılır [16].

Sinir kas kavşağında motor nöronun uyarılması ile;

- Motor nöronda ilerleyen aksiyon potansiyeli akson sonlanmasına ulaşır.
- Voltaja duyarlı kalsiyum kanalları açılarak akson sonlanmasında hücre içerisine kalsiyum girişi olur.
- Asetilkolin içeren veziküller hücre zarı ile kaynaşır ve sinaptik aralığa asetilkolin salınır.
- Asetilkolinin sinaptik boşlukta difüzyonu gerçekleşir.
- Asetilkolinin kas hücresi üzerinde nikotinik reseptörlere bağlanması ile kanallar açılır ardından hücre sodyum ve potasyum iyonlarına geçirgen hale gelir.
- Hücre içerisine giren katyonlara bağlı olarak motor son plakta depolarizasyon oluşur.
- Eşik aksiyon potansiyelinin aşılmasıyla birlikte sarkolemma yüzeyindeki voltaja duyarlı sodyum kanalları açılarak hücre içerisine sodyum girişi olurken hücre dışına da bir miktar potasyum çıkışı olur.
- Oluşan aksiyon potansiyeli tüm hücreye yayılır.
- Sinaptik aralığa salınan asetilkolinin sarkolemma yüzeyindeki asetilkolinesteraz enzimleri ile yıkımı sağlanır ve inaktivasyon gerçekleşir.

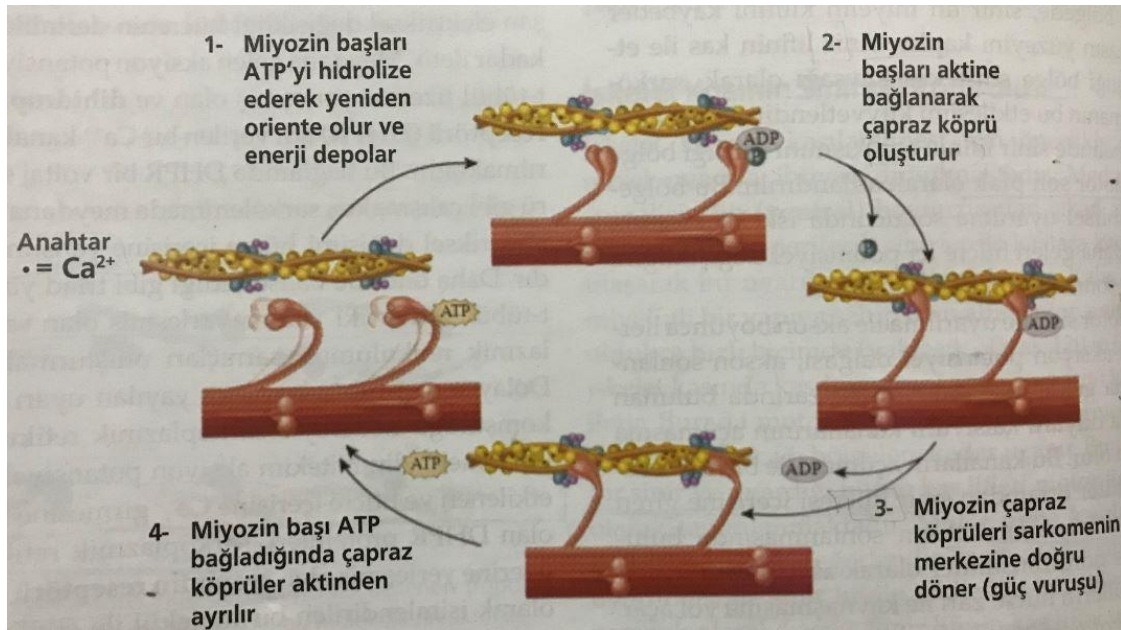
2.1.2. İskelet kasında eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesi: kas aktivasyonunun fizyolojisi

Eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesi kuvvet üretimi için gerekli süreçlerin koordinasyonudur. Bu doğrultuda sinirsel uyarının triada iletilmesi, sarkoplazmik retikulum sisternalarından kalsiyum salınması ve aktin ile miyozin arasındaki etkileşimle çapraz köprü oluşumu önem kazanmaktadır. Kas yüzeyinde oluşan aksiyon potansiyeli kas hücresi boyunca yayılır, bunun yanı sıra ortaya çıkan elektriksel değişiklikler t-tübüller vasıtasıyla hücrelerin derin kısımlarına doğru iletilir. Ortaya çıkan aksiyon potansiyeliyle birlikte t-tübül üzerine yerleşmiş dihidropiridin reseptörü (DHPR) olarak adlandırılan voltaja duyarlı Ca^{++} kanalı uyarılarak sarkolemmadaki elektriksel değişiklikler hücre içerisine yansıtılır [17].

DHPR proteinleri aksiyon potansiyelinden etkilenecek hücre içersine Ca^{++} geçişine olanak sağlar. Bu proteinler aynı zamanda sarkoplazmik retikulumda yerleşmiş ryanodin reseptörleri (RyR) ile etkileşime girmektedir. RyR Ca^{++} duyarlı bir iyon kanalıdır. RyR kanallarının açılmasıyla birlikte sarkoplazmik retikulumdan Ca^{++} çıkışı olduğu belirtilmektedir. Sarkoplazma içersine salınan Ca^{++} troponin-C ye bağlanarak aktin filamentinin aktif bölgesini bloke eden tropomiyozinin ayrılmasına ve aktin-miyozin etkileşimine neden olmaktadır. Moleküler düzeyde gerçekleşen bu olayların sonucunda aktin ve miyozin filamentlerinin kayması ve kuvvet oluşumu gerçekleşir [14].

2.1.3. Kasılma döngüsü: Çapraz köprü oluşumu ve aktomiyozin etkileşimi

Hücre içersinde Ca^{++} yoğunluğunun yükselmesiyle birlikte miyozinin aktine bağlanacağı noktalar açılır. Miyozinin aktine tutunabilmesi miyozin başının ATP'yi önceden bağlamasıyla mümkün olabilir. Bu safhada ATP hidrolize edilmesine rağmen bileşenlerine ayrılmamıştır.



Şekil 2.3. Kasılma döngüsü [16]

Hidroliz sonrasında inorganik fosfatın ADP'den ayrılmasıyla miyozin başı aktine tutunur. Aktin ve miyozin arasındaki bu bağlantı çapraz köprü olarak adlandırılır. ADP'nin miyozinden ayrılmasıyla kuvvet vuruşu olarak bilinen olay gerçekleşir ve bu olay sırasında kuvvet üretimi gerçekleşir. Miyozin başı bükülerek aktini kasılma eksenine doğru bir miktar

çeker. Bu aşamada her iki uçtaki miyozinin aktini çekmesi ile sarkomer uçları birbirine yaklaşır. Miyozinin aktinden ayrılarak eski konumuna dönmesi yeni bir ATP molekülünün miyozin başına bağlanmasıyla gerçekleşir. Ortamda Ca^{++} olduğu sürece aktomiyozin etkileşimi devam edebilir. Bununla birlikte kasılma döngüsü içerisinde miyozinin aktini tutup çekmesi ve bırakması için 2 ATP molekülü gerekir. Bu doğrultuda ortamda yeterli ATP olması durumunda hücre içi Ca^{++} yoğunluğu azalana kadar aktomiyozin etkileşimi devam eder [18] (Şekil 2.3).

2.1.4. İskelet kas lifi tipleri

İskelet kas lifleri arasında makroskopik farklılıklar olmamasına rağmen kontraksiyon hızı, kuvvet üretebilme yetenekleri, yorgunluğa dayanma kapasiteleri bakımından kas liflerinde ayrımlar gözlenmektedir. İskelet kas lifleri yapısal, biyokimyasal ve/veya işlevsel özelliklerine göre kategorize edilmektedir. İnsan kas dokusunda temel olarak 3 tip kas lifi tipi bulunabilmektedir. Kas liflerinden biri yavaş kasılan lifler (tip I) diğer ikisi ise hızlı kasılan liflerdir (tipIIa ve tip IIx).

Tip I liflerin mitokondriyel içerik bakımından oldukça zengin olup oksidatif metabolizmaları oldukça gelişmiştir. Diğer kas liflerine oranla hücre içi miyogloblin yoğunluğu daha yüksektir. Yaygın bir kapiller ağ yapısı mevcuttur. Yüksek mitokondri sayısı ve gelişmiş kapiller sistem sayesinde aerobik metabolizma bu lif tipinde daha baskın olarak çalışır. Bu bakımdan tip I kas lifleri diğer kas lifi tiplerine göre yorgunluğa daha dirençlidir. Tip I liflerdeki miyozin ATPaz etkinliğinin diğer lif tiplerine oranla daha yavaş olmasına bağlı olarak kasılma hızının da daha yavaş olmasına neden olmaktadır. Hücresel düzeyde kasın kasılıp gevşemesinde görev alan proteinler de lif tipleri arasında farklılık göstermektedir. Tip I liflerdeki SERCA etkinliği hızlı kasılan liflere göre daha yavaştır. Bu noktada sarkoplazmik retikulumdan Ca^{++} geri çekilmesi daha uzun sürmektedir. Benzer şekilde troponin ve tropomizyozin moleküllerindeki farklılık kasılmadaki kalsiyum duyarlılığını etkileyebilmektedir.

Tip I lifler hızlı kasılan liflerle karşılaştırıldığında daha az kuvvet üretirken kuvvet açığa çıkarılması sürecinde harcanan enerji bakımından hızlı liflere göre daha verimli çalışırlar [18].

Tip IIX liflerin mitokondri içeriği tip I kas liflerine oranla daha azdır. Bu lif tipinde oksidatif kapasite sınırlı ve glikolitik enzim içeriğinin yüksek olması nedeniyle anaerobik metabolik yolak daha baskın kullanılır. Tip IIX lifleri daha kolay yorulmalarına karşın tip I liflere kıyasla daha fazla kuvvet açığa çıkarabilirler.

2.2. İskelet Kası Pasif Mekanik Özellikleri

İskelet kasında aktin ve miyozin etkileşimine kalsiyumun da eklenmesiyle aktif kuvvet oluşumu ortaya çıkar. Kas kasılması üzerine çalışmalar 1950’li yıllardan itibaren yaygın olarak yapılmaktadır [19,20]. Kısalmış kas lifinin normal uzunluğuna geri dönmesinin pasif bir süreç olduğu bilinmesine rağmen bu yöndeki araştırmalar daha sonra başlamıştır [21].

Kas dokusu deformasyon kuvvetlerine karşı sergilediği mekanik yanıtlarla viskoelastik özellikli yapılar arasında yer almaktadır [2]. Kasların pasif mekanik özellikleri, iskelet kasında istemli kasılma olmaksızın stabil durumdaki viskoelastik özellikler ile karakterizedir [10]. Kas tonusu aktif olarak sinir sistemi tarafından oluşturulurken pasif olarak kasın intrinsik viskoelastik özelliklerinden etkilenir. Pasif sertlik, doğal yapısal ve mekanik özellikler kas tonusunun nöral olmayan intrinsik faktörleridir [3,22].

Kas tonusu hiyerarşik ve resiprokal anatomik bağlantılar sonucu ortaya çıkan kompleks dinamik bir durumdur. Tonus temel olarak kuvvetin intrinsik olarak dengelendiği motor kontrol yapısı şeklindedir. Bu yapı hiyerarşik olarak incelendiğinde korteks, bazal gangliyon, serebellum, beyin sapı retiküler sistemi, spinal kord ve kas iğciklerinden oluşur [11].

Kas tonusu geleneksel olarak ‘istirahat durumundaki kastaki gerilim’ veya ‘kaslar istirahat halindeyken kasın pasif gerilmesiyle hissedilen direnç’ olarak tanımlanmaktadır [23]. Bu tanımlamalarda pasif gerilimin klinisyen tarafından tespit ediliyor olması değerlendiriciler arasında farklılıklara neden olmaktadır. Bu noktada objektif ölçümlerle yapılan yeni tanımlamalar kas tonusunun diğer bileşenlerine de yer vermektedir.

Elektromiyografik (EMG) değerlendirmelerle yapılan çalışmalar genel olarak kas tonusunu dinlenme durumundaki EMG düzeyi ile eşitler. Bununla birlikte motor ünitenin aktivasyonundan kaynaklanan ve EMG ile saptanabilen aktif veya kontraktıl parametrelerin

yanı sıra kas tonusunun EMG tarafından tespit edilemeyen nöral aktiviteden bağımsız olarak pasif veya viskoelastik komponenti de mevcuttur [24].

Kas tonusunun pasif bileşeni sarkomerik aktin-miyozin çapraz köprülere, kontraktil filamentlerin viskozitesi, elastikiyeti ve uzayabilirliğine, non-kontraktil sarkomerik proteinlerin (desmin, titin vs) filamentöz bağlantılarına, hücrelerin osmotik basıncına ve çevre konnektif doku özelliklerine bağlıdır [25,26]. Kas tonusunun aktif ve pasif bileşenlerinin etkilenmesiyle birlikte patolojik süreçler ortaya çıkmaktadır. Kas tonusunun pasif mekanik sertlik ve elastik özellikleri enerji verimliliği ile optimal postür kontrolü sağlamaktadır. Bu bağlamda istirahat kas tonusu denge, stabilite ve duruşun korunmasında önemli bir etken olarak kabul edilmektedir [27].

Kas tonusunun pasif bileşeni kasın intrinsik viskoelastik bileşenleri tarafından oluşturulur. Bu bileşenler kasın sertliği, elastisitesi ve kalınlığı gibi doğal mekanik özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

Sertlik, dokuların mekanik olarak gerilme kuvvetlerinin ortaya çıkardığı deformasyona karşı koyma yeteneğidir [28]. Dokunun yapısı ve uyarıcı mekanik stresin özellikleri deformasyon miktarına ve fonksiyona etki etmektedir. Kas içerisinde aktif ve pasif olmak üzere iki tür sertlik vardır. Güç darbesi sırasında miyozin başı aktin filamentleri üzerindeki konformasyonunu değiştirdiği sırada çapraz köprülerin aktivasyonu ile gerilim ortaya çıkar. Bu durum aktif sertlik olarak tanımlanmaktadır [29]. Kas dokusunun deformasyon kuvvetlerine karşı gösterdiği direnç pasif kas sertliğidir [30]. Pasif kas sertliği; pasif kuvvetteki değişikliği kas uzunluğundaki değişikliklerle ilişkilendirerek kas içinde depolanan elastik enerji miktarını ve daha uzun kas uzunluklarında gerilmeye karşı direnci belirleyen önemli bir parametredir [31].

Sertlik, dinamik performans ve yaralanma riski arasında karmaşık ve çok yönlü bir ilişki olduğu bildirilmektedir. Bu kompleks ilişkiye ek olarak kas sertliği dışında vertikal sertlik, tendon sertliği, eklem sertliği, muskuloartiküler sertlik şeklinde çeşitli sertlik ölçümleri rapor edilmiştir [11].

Elastisite deformasyona uğramış bir yapının normal haline geri gelme yeteneğidir. Kas dokusu hem katı hem de sıvı içeriğe sahip viskoelastik yapıdadır. Kas dokusunun

kasılmadan sonra ilk şeklini kazanma yeteneği kas elastisitesi olarak tanımlanır [32]. Kas elastisitesi matematiksel ifadeyle logaritmik azalma olarak hesaplanır. Elastisite yeteneği logaritmik azalmayla ters orantılıdır. Antrene kastaki azalma oranı küçüldükçe, doku elastikiyeti artış gösterir. Azalan elastikiyet daha çabuk kas yorgunluğuna neden olarak hareket hızında da kısıtlanma meydana gelir [33].

Kas kalınlığı iki fasya arasında kalan mesafenin ölçülmesi ile elde edilir. Kalınlık; kas dokusunun anatomik kesitsel alanı, kas hacmi ve yağsız vücut kitlesi ile korelasyon gösterir [34]. Bu bakımdan kas kalınlığındaki değişim fiziksel aktivite ve performansa etki edebilmektedir. Kas kalınlığı kuvvetin bir göstergesi olarak kabul edilirken yaşla beraber değişen fonksiyonel durumun tanımlanmasında da yardımcı olur [35,36].

2.3. Kasın Pasif Mekanik Özellikleri: Klinik ve Fonksiyonel Önemi

İskelet kasları ekstrasellüler matriks, membranlar, yapısal ve kontraktil proteinlerden oluşmaktadır. Kas dokusunun kompozit yapısı kuvvet üretimi ve yük taşımayı mümkün kılmaktadır. İskelet kasları, insan hareketini ve günlük aktivitelerin gerçekleştirilmesini sağlar, solunum mekaniğinde önemli bir rol oynar, duruş ve dengenin korunmasına yardımcı olur. Kas dokusunun aktif mekanik özellikleri hareket, stabilite ve vital fonksiyonların sürdürülmesinde kritik öneme sahip olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte kas dokusunun istirahat durumundaki pasif mekanik özelliklerinin tanımlanması fonksiyonel düzgünlüğün sağlanması noktasında aktif mekanik özellikler kadar önemli olduğu ileri sürülmüştür [1].

İskelet kasının pasif mekanik özellikleri; günlük yaşam aktivitelerinin sürdürülebilmesi, geniş hareket açıklığı gerektiren sportif aktivite ve egzersizlerin gerçekleştirilmesine katkı sağlar. Mekanik özelliklerin bu aktiviteler sırasında minimum enerji harcanması, algılanan efor ve yaralanma riskini etkileyebileceği düşünülmektedir [12].

Kas yaralanmaları, yaş ve nörolojik durumlarda kas tonusu ve sertliği başta olmak üzere kasın yapısı ve bileşiminde değişiklikler meydana gelir. Serebral palsy, musküler distrofi, inme ve Parkinson gibi nörolojik hastalıklarda anormal tonus değişiklikleri (spastisite, rijidite) ve kas sertliğinde artış olduğu kaydedilmiştir [37]. Anormal tonus değişikliklerinin temel sebebi olarak spinal ve supraspinal mekanizmalardaki farklılaşmalar ön plana çıkmaktadır. Anormal tonus cevabının bir diğer sebebi de kas dokusunun ve çevre dokuların

viskoelastik özellikleri olduğu belirtilmektedir [23]. İnme sonrasında hemiplejik tarafta pasif harekete artan direnç, pasif kas ve eklem sertliğindeki değişimler yürüyüş paternini etkilerken günlük yaşam fonksiyonlarını kısıtlamaktadır [38]. Bununla birlikte hemiplejik vakaların etkilenmeyen kontralateral ekstremiteleri sağlıklı kontrollerle karşılaştırıldığında, kuvvet ve sensorimotor fonksiyonlarda azalma tespit edilmiştir. Kullanmamaya bağlı olarak etkilenen tarafın kontralateral stabilizasyonunun azalması ve ipsilateral motor fonksiyonlardaki hasar, kontralateral tarafta istirahat kas tonusunda azalmaya yol açabilir [39].

Kas tonusu ve sertliği potansiyel sportif performansın göstergesi olarak kullanılabilir. Bersoja ve ark. sert tırmanışlar içeren patika koşucularının performansına etki eden iki ana faktörün ağırlık ve gastrokinemius kas tonusu olduğunu bildirmiştir. Düşük ağırlığın daha hızlı bitirme süresi için yeterli olmayacağı vurgulanırken kas tonusu ve sertliğinin ortalama hızla doğru orantılı olduğu kaydedilmiştir [5]. Fiziksel aktivite düzeyi ve spor branşı da tonus ve sertlik için önemli bir etkidir. Kros kayakçılar ve triatlon sporcularında kas dokusunun yapısı incelendiğinde sağlıklı bireylere göre daha düşük kas tonusu ve sertlik tespit edilmiştir [4].

Kas sertliği temel olarak gerilmeye karşı direnç olarak ifade edilir. Deformasyon kuvvetlerine maruz kalan dokular elastik enerjiyi depolayan ve geri veren özelliktedir. Düşük sertlikte ve su içeriği yüksek olan dolayısıyla daha kolay deforme olabilen dokuların farklı mekanik kuvvet ve uyaranlara karşı harekete daha kolay uyum sağlayabilecekleri düşünülmektedir [13]. Kas dokusundaki yüksek sertlik ise gerilme-kısalma döngüsü içeren sportif aktivitelerde kuvvet geliştirme hızı ve performansa etki edebilen önemli bir parametredir [6].

Takım sporlarında müsabaka sırasında tipik olarak sıçrama, yön değiştirme, sprint ve çeviklik gibi dinamik aktivitelerin gerçekleştirilmesi gerekir. Aktivite sırasında fiziksel performansın en üst seviyede sergilenme yeteneği güç, kuvvet, teknik ve hareket hızına bağlıdır. Bununla birlikte mekanik sertlik özellikle dinamik performans ile ilişkilidir [30].

İnsan hareketlerinde sprint ve sıçrama aktivitelerinde genel olarak kas gruplarında uzamayı takiben kısalma gerçekleşir. Uzama kısalma aksiyonlarının birleşmesi “Gerilme-Kısalma Döngüsü” (GKD) olarak adlandırılır. GKD’nin eksantrik fazında depolanan elastik enerji

konsantrik fazda serbest bırakılarak metabolik enerjinin korunması sağlanır. Kas sertliği ve kas-tendon ünitesinin uyumu GKD verimliliğine katkı sağlar. Dahası GKD verimliliği maksimum performans için belirleyici etmenler arasındadır [7]. Kalkhoven ve ark. hızlı GKD içeren aktivitelerde daha yüksek sertliğin performans için avantaj oluşturabileceğini belirtmişlerdir [36]. Benzer şekilde Bret ve ark. daha yüksek sertlik seviyelerinin büyük eklem hareketlerinin kullanılmadığı aktivitelerde elastik enerjinin daha hızlı serbest bırakılmasına katkı sağladığını bildirmiştir [40]. Ek olarak oyun koşullarının maksimum çabayı gerektirdiği takım sporlarında artmış pasif kas sertliğinin kuvvet üretme yeteneğini artırabileceği düşünülmektedir [6].

Alt ekstremitte sertliğinin optimal atletik performans için önemi birçok çalışmada vurgulanmıştır [30,40,41]. Bununla birlikte yüksek sertlik seviyelerinin daha yüksek yaralanma insidansı ile sonuçlanabileceğini gösteren kanıtlar mevcuttur [43-45]. Artmış alt ekstremitte sertliği azalan eklem hareketi ve alt ekstremitede artan şok kuvvetleri ile ilişkilendirilirken, düşük sertlik seviyesi aşırı eklem hareketi ile karakterize edilmiştir. Kas sertliğinin aşırı artması, yüksek seviyelerde tepki kuvvetleri ve yüklenme oranlarına yol açarak stres fraktürü ve diz osteoartriti gibi kemiksel yaralanmalar riskini de artırır. Çok düşük sertlik seviyeleri ise olası yumuşak doku yaralanmalarına zemin hazırlar [30,43].

Pasif kas sertliğinin avantaj ve dezavantaj oluşturma durumu yapılan sportif aktiviteyle de ilişkilidir. Albin ve ark. koşucularda ortalama alt ekstremitte sertliğindeki artışın aşıl tendon yaralanma riskini artırabileceğini diğer yandan futbolcularda sertlik artışının atletik performansa fayda sağlayabileceğini belirtmiştir [8].

Kas dokusunun pasif mekanik özelliklerinin optimal değerleri optimal performans için gereklidir. Kişiye, aktivite ve spora özgü normatif kas sertliği değerlerinin oluşturulması anormal kas sertliği veya tonus artış ve normal kas fonksiyonunda değişikliklere yatkınlık belirlenebilir veya rehabilitasyon sürecinin planlanmasına katkı sağlayabilir [46]. Egzersiz programı ve sportif aktivitenin gerektirdiği atletik performansa katkı sağlayan mekanik özellikler spor branşına ve yüklenme düzeyine göre farklılık gösterdiği bilinmektedir [4,7,8].

2.4. Kasın Pasif Mekanik Özellikleri, Egzersiz Etkileşimi ve Performans İlişkisi

Egzersiz uygulamaları sağlıklı bireylerde fonksiyonel durumun korunması, performansın artırılması ve yaralanmaların önlenmesi amacıyla kullanılırken, patolojik durumlarda terapötik amaçlı kullanılmaktadır. Sağlıklı popülasyonda veya hastalık durumunda uygulanan egzersiz yaklaşımları klinik ve fonksiyonel anlamda katkı sağlarken, kasta fizyolojik değişimler ve mekanik adaptasyonlar ortaya çıkmaktadır [9,12].

Egzersiz ve antrenman programları spora ve aktiviteye uygun pasif mekanik özelliklerin kazanılmasına katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda temel olarak germe, kuvvetlendirme ve aerobik karakterde egzersizler izole veya kombine programlar şeklinde uygulanarak kas mekaniğine müdahale edilebilmektedir [10,12, 47].

2.4.1. Tüm vücut vibrasyon egzersizleri

Tüm vücut vibrasyon (TVV) egzersizleri yatay ve dikey düzlemde belli frekans ve genlikte titreşim açığa çıkaran vibrasyon platformları üzerinde uygulanmaktadır [48]. TVV uygulamaları sağlıklı bireylerde kas kuvveti ve aktiviteye özgü performansı artırmak amacıyla kullanıldığı gibi sarkopeni, kronik bel ağrısı, fibromiyalji, spastisite inhibisyonu gibi farklı klinik problemlerde rehabilitasyon ve önleme programları içerisinde yer alabilmektedir [49].

TVV uygulamaları sonrası ortaya çıkan değişiklikleri ve kas aktivitesini açıklamak amacıyla çeşitli spinal ve supraspinal mekanizmalar önerilmiştir. Üzerinde görüş birliği olmamasına rağmen tonik vibrasyon refleksinin uyarılması ön plana çıkmaktadır. Doğrudan veya dolaylı olarak kas-tendon yapılarının vibrasyonla uyarılmaları sırasında bu refleksin ortaya çıktığı bildirilmiştir. Buna bağlı olarak kas içcikleri uyarılır, Ia afferentlerin aktivasyonu ile birlikte motor ünitelerin ve kas aktivasyonunun kademeli artışı gerçekleşir [50]. Spinal reflekslere ek olarak nöromusküler değişiklikler, artan kas içi sıcaklık ve periferik kan akımı TVV programı sonrası kas performansına çeşitli düzeylerde katkı sağlayabilir [49].

TVV egzersizlerinin kas yapısında meydana getirdiği değişiklikler egzersiz sırasında kullanılan frekans ve amplitüdle ilişkilidir. Bu kapsamda ortalama 25-50 Hz frekans ve 2mm amplitüdle uygulanan programın kas dokusunun pasif sertliğinde değişiklik oluşturabileceği belirtilmektedir [51].

2.4.2. Aerobik egzersiz

Aerobik egzersiz (AE) (yürüme, koşma, bisiklet, dans, yüzme vb) büyük kas gruplarının kullanıldığı, sürekli, ritmik ve dinamik yapıda olup kardiyovasküler fonksiyon, metabolik regülasyon ve aerobik kapasite ile ilişkilidir [52]. Bununla birlikte AE programı sonrasında iskelet kası moleküler regülasyonu ve protein metabolizmasında değişiklikler olmaktadır. AE, mitokondriyal homeostaz ve iskelet kası protein metabolizmasını düzenleyen yollar arasındaki iletişimi uyararak kas hipertrofisinde rol oynayabilir [53].

AE çalışmaları kasın moleküler ve morfolojik yapısının yanı sıra mimari özelliklerine de etki edebilmektedir [54]. Buna ek olarak AE'nin kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini inceleyen az sayıdaki çalışmada pasif sertliğin etkilendiği bildirilmiştir [55,56].

Andonian ve ark. ultra-maraton (330 km) koşusunu tamamlayan atletlerin kuadriseps femoris kasını ultrason elastografi yöntemiyle analiz ederek yarış sonrasında kas sertliğinde azalma olduğunu analiz etmişlerdir. Kas sertliğindeki azalmaya uzun süreli ekstrem kas etkinliğine bağlı kastaki ödem ve inflamasyonun sebep olduğu düşünülse de yarış dinamikleri (hava durumu, eğim) ve koşu aktivitesi ile ilişkisi belirgin değildir [55]. Bir başka çalışmada 30 dakikalık aerobik koşu protokolü uygulanan katılımcılarda alt bacak arka kas grubu incelendiğinde fleksör digitorum longus ve tibialis posterior kaslarının sertliğinde anlamlı artış olduğu ve bu artışın medial tibial stres sendromu açısından risk faktörü oluşturabileceği vurgulanmıştır [56]. Dumke ve ark. ise daha sert kas ve tendon yapısının koşu verimliliğine katkı sağlayacağını belirtmişlerdir. Antrene erkek koşucularda kas sertliğinin yüksek olduğu durumlarda depolanan elastik enerjinin harekete dönüşümü sırasında daha az kas aktivasyonu dolayısıyla daha az oksijen tüketimi ortaya çıkabilmektedir [57].

Egzersiz programlarının iskelet kası pasif mekanik özelliklerine etkilerinin incelendiği çalışmalarda değerlendirilen katılımcı profili, egzersiz protokolleri, programın süresi ve pasif mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler değişkenlik göstermektedir. Mekanik özelliklerin yaş, cinsiyet ve aktivite tipine göre normatif değerleri ile ilgili kanıtlar henüz yeterli düzeyde değildir. Ek olarak incelenen egzersiz yaklaşımlarıyla ilgili yeterince kanıt olmaması aktiviteye uygun mekanik değişiklikleri ortaya çıkaracak planlamanın yapılmasını da güçleştirmektedir [28,34,46].

2.4.3. Kuvvetlendirme egzersizleri

Kuvvetlendirme egzersizleri kas boyutu ve gücünü artırmak yoluyla performansın geliştirilmesi amacıyla sağlıklı, klinik ve atletik popülasyonda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kapsamda serbest ağırlıklar, dirençli egzersiz bantları, özel cihazlar, kum torbaları veya klinisyen manuel direnci uygulamalarda yer almaktadır. Dirençli egzersizlerin akut ve kronik olarak kas dokusunun mekanik özelliklerine etkilerinin incelendiği çalışmalar son yıllarda artmaya başlamıştır [12].

Blazeviç, iskelet kasının pasif mekanik özelliklerinin farklı kullanım paternlerine adaptasyonunu incelediği derlemesinde dirençli egzersizlerin mekanik özellik ölçümlerinde artışa yol açtığı ancak ortaya çıkan değişimin düşük düzeyde etkiye sahip olduğunu belirtmiştir [12]. Dankel ve Razano, dirençli egzersiz sonrasında akut olarak kas sertliğinde artış meydana gelirken kronik dönemde ultrason elastografi yöntemiyle yapılan değerlendirmelerde sertlikte değişim olmadığını rapor etmişlerdir [10].

Uygulanan egzersiz programı, katılımcı profili ve egzersiz sırasındaki kontraksiyon farklılığı gibi nedenlerle egzersizlerin mekanik özelliklere etkileri noktasında çelişkili bulgular yer almaktadır [40]. Akagi ve ark. haftada 3 gün 6 hafta boyunca triceps brachii kasını sabit kol ağırlığı ile bir maksimum tekrarın (1RM) %80'inde çalıştırarak kas kalınlığında ve 1RM değerinde anlamlı artış sağlarken kas sertliğinde farklılık olmadığını rapor etmişlerdir [58]. Bununla birlikte Stefanaki ve ark. farklı direnç miktarı belirleyerek (1RM %30 ve %80'i) 6 hafta süresince dirençli eğitimin sonunda katılımcılarda kas kalınlığı ve kuvvetinde sağlanan artışın direnç düzeyinden etkilenmediğini ileri sürmüştür [59]. Bir başka çalışmada 8 haftalık dirençli eğitimle kas kalınlığı, kuvveti ve sertliğinde artış olduğu kaydedilmiştir. Kas kuvvetindeki artışın kas sertliğindeki artışla ilişkili olabileceği belirtilmiştir [60].

Dirençli egzersizlerin kasta oluşturduğu kasılma tipi nöromuskuler ve mekanik adaptasyonlar için belirleyici olabilir. Uysal ve ark. kuadriseps ve hamstring kas gruplarını eksantrik ve konsantrik yüklenme ile çalıştırarak katılımcıları 8 hafta takip etmişler. Çalışma sonunda her iki grupta da performans artışı gözlenirken eksantrik egzersiz çalışılan grupta pasif kas sertliğinde azalma, konsantrik sertlikte artış tespit edilmiştir [61]. Zhi ve ark. çalışmasında ise düşük hız ve yoğunluktaki eksantrik diz fleksiyon egzersizlerinin hamstring pasif kas sertliğini azaltmada daha etkili olduğu kaydedilmiştir [62]. Dirençli egzersizler kas

dokuda kollajen oluşumunu artırır. Ancak yüklenme tipine göre kollajen dizilimindeki farklılık mekanik adaptasyonları da etkileyebilir. Eksantrik çalışma ile oluşan gerilim tipi yüklenmenin aksine, konsantrik kasılma ile kas dokuda kompresif yüklenme meydana gelir. Bu doğrultuda konsantrik çalışma programı kaslarda daha yoğun ve sıkı kollajen birikimine yol açarken eksantrik çalışmayla daha doğrusal ve daha az yoğunlukta kollajen dizilimi oluşur [61].

2.4.4. Diğer egzersiz yaklaşımları

Germe egzersizleri ve pliometrik eğitim çalışmaları sonrasında kas dokusunda meydana gelen mekanik çok sayıda çalışmada incelenmiştir.

Statik, dinamik, balistik ve propriyoseptif nöromuskuler fasilasyon (PNF) germe egzersizleri rehabilitasyonda ve sportif aktivitelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Egzersiz ve aktivite öncesi uygulanan statik germe ile eklem hareket açıklığında artış ve pasif kas sertliğinde azalma sağlanır. Bununla birlikte statik germenin akut etkisiyle kas performansının olumsuz etkilenebileceği, maksimal istemli kuvvette ve kas gücünde azalma olabileceği belirtilmiştir [63,64]. Kuvvet ve performansta meydana gelen değişimlerin sebebi olarak azalmış merkezi kontrol ve kasın dokusunun mekanik özellikleri gösterilmiştir [65]. Dinamik germe sonrasında kas kasılması, sprint, sıçrama ve denge ölçümlerinde akut artış sağlanabileceği gözlenmiştir [66,67].

Kastaki mekanik değişimler ve performans germe egzersizlerinin tipi, süresi ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Fukaya ve arkadaşları farklı germe yoğunluklarının pasif sertlik ve hareket açıklığına etkilerini derledikleri çalışmalarında daha yüksek germe yoğunluklarında plantar fleksör ve diz fleksör kas gruplarında pasif kas sertliğini azaltmada akut olarak daha etkili olduğunu rapor etmiştir. Aynı çalışmada kronik dönem için az sayıda kanıt olduğu ve bu çalışmalarda pasif sertliğin kronik dönemde anlamlı değişmediği belirtilmiştir [68]. Bununla birlikte yüksek yoğunluklu statik germenin düşük yoğunluğa göre 4 haftalık program sonunda pasif sertliği azaltmada ve hareket açıklığını artırmada daha etkili olduğunu gözlemlemiştir [69].

Yüksek yoğunluklu germeyi takiben sertlikte azalma meydana sertlikteki değişim germe süresine bağlı olarak ortalama 10-20 dakika sonra ortadan kalkmaya başlar [70]. Nakamura

ve arkadaşları 5 haftalık yüksek yoğunluklu germe programı sonrasında ayak bileği dorsifleksiyon hareket açıklığında artma ve plantar fleksörlerde sertlikte azalma tespit etmişlerdir. Buna ek olarak germe programı sonlandırıldığında elde edilen kazanımların etki süresinin 5 hafta sonra ortadan kalkarak başlangıç değerlerine gerilediği ifade edilmiştir [71].

Klinik ve sportif aktivite öncesinde sıklıkla statik germe uygulamaları tercih edilse de son yıllarda müsabaka öncesinde dinamik germe kullanımı yaygınlaşmaktadır [72]. Hareket açıklığı boyunca kas kontraksiyonu da içeren dinamik germe egzersizleri aktivite öncesi uygulamalara dahil edilmektedir. Buna ek olarak dinamik germe kas kontraktilesi, sprint, sıçrama ve dengede akut artışlar sağlayabilir [66]. Meerits ve ark. eğitimli atletizm sporcularında statik ve dinamik germe egzersizlerinin hamstring kas tonusu ve sıçrama performansına etkisini değerlendirdikleri çalışmada dinamik germenin kasta oluşturduğu elastik deformasyonun statik germeye oranla daha az olduğu gözlenmiştir. Bunun yansıra sıçrama performansı ölçümlerinde dinamik germe sonrası artış ortaya çıkarken statik germeyele birlikte azalma olduğu kaydedilmiştir [73]. Statik germe sonucunda mekanik özelliklerdeki negatif etkilenim ve aktin-miyozin zincirinin optimum mesafesinin bozulması kuvvet ve performanstaki düşüşün nedeni olabilir [74]. Dinamik germe sonrası nöral aktivasyon artışı, reseptör duyarlılığı ve impuls iletim hızının artması, kas tonusu ve elastisitedeki değişimler performans artışının gerekçesi olarak gösterilmiştir [73]. Konrad ve ark. statik, balistik ve PNF germe yöntemlerinin 2 dakikalık uygulama (30x4sn) sonrasında tüm gruplarda akut olarak dorsifleksiyon hareket açıklığının arttığı, pasif sertliğin ise azaldığı tespit edilmiştir. PNF grubunda uygulama sonrasında maksimal istemli kuvvette azalma olduğu ve bu azalmanın PNF germe sırasında oluşan yorgunluktan kaynaklanmış olabileceği belirtilmiştir [75]. Bu bakımdan dinamik uygulamaların muskulotendinöz sistemi sonraki aktivitelere hazırlamak için diğer germe yaklaşımlarına göre daha tercih edilebilir olduğu söylenebilir.

Pliometrik Eğitim (PE) atletik popülasyonda ve sağlıklı bireylerde sıklıkla kullanılırken belirli hastalık gruplarında da tercih edilebilmektedir. PE muskuloskeletal ve nöromuskuler adaptasyonlar oluşturarak sıçrama, sprint, koşu mesafesi ve maksimal istemli kuvvet gibi parametrelerin gelişmesine katkı sağlayabilir [76]. PE sırasında hareketin eksantrik fazından konsantrik fazına hızlı geçişi doğal bir GKD aktivitesi olarak karşımıza çıkar. PE eksantrik ön aktivasyon aşamasında golgi tendon organları normal kuvvet çalışmalarına oranla daha

fazla gerilir. Bu durum koruyucu fonksiyonların inhibisyonunu artırarak konsantrik güç çıkışında artışa yol açar. PE ile kas, tendon ve konnektif dokuların mekanik özelliklerinde değişiklik meydana gelirken çapraz köprü mekaniği ve motor ünite aktivasyonunun optimize edilmesi sağlanır [77].

PE'nin kas dokusunun mekanik özelliklerine belirgin etkisi olmadığını belirten az sayıda çalışma [12] olmakla birlikte çalışma sonrasında akut ve kronik dönemde gerilme toleransı, tonus, pasif sertlik ve kas kalınlığında farklılıklar olduğu bilinmektedir [78,79]. Mroczek ve ark. çalışmasında erkek voleybol sporcularına uygulanan 6 haftalık spesifik PE programı sonunda tibialis anterior ve kuadriseps kaslarında pasif sertliğin arttığı ve sıçrama performansında anlamlı gelişme olduğu bildirilmiştir [79].

Kas sertliğinin aşırı artması yaralanmaya yatkınlık oluşturabilmektedir. Ancak sert bir kas ve tendon yapısının kas kuvvetinin iskelete hızlı iletimine ve kuvvet oluşturma oranının artmasına katkı sağlamaktadır. PE aktiviteye özgü uygulamaları kas mekaniğinde oluşturduğu değişikliklerle GKD aktivitelerinde optimal performansın açığa çıkarılmasında etkili olmaktadır [77]. Daha fazla kas sertliği GKD aktivitelerinde elastik enerjinin daha fazla depolanmasına, serbest bırakılmasına ve verimli bir şekilde yeniden kullanılmasına olanak sağlamaktadır [80].

2.5. Kasın Pasif Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Palpasyon uygulamaları klinik değerlendirmede geleneksel olarak kullanılmaktadır. Kas dokunun tonus ve sertlik gibi mekanik özelliklerinde anormal değişiklikler tespit edilebilir. Bununla birlikte palpasyon klinisyene bağımlı ve dokuya ilişkin sınırlı bilgi verebilen subjektif temelli bir yöntemdir [81]. Fiziksel performansı, yaralanma riskini ve yaşam kalitesini etkileyebilen kasların mekanik özelliklerinin objektif yöntemlerle incelenmesi önemlidir. Bu doğrultuda muskuloskeletal sistemin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde teknolojik cihazların kullanımı objektif verilere ulaşılmasını sağlamıştır [82].

Manyetik rezonans elastografi (MRE), elektromyografi (EMG), miyotonometri ve ultrason elastografi (UE) iskelet kaslarının pasif mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan objektif yöntemlerdendir.

MRE yüksek çözünürlükte ve farklı kaslarda geniş alanda ölçüm yapabilme avantajı sağlamaktadır. Ancak MRE pahalı ve zaman alıcı bir yöntemdir. Bazı cihazlar dışında MRE taramalarının statik olarak sırtüstü, yüzüstü ve yan yatarken yapılması gerekir. Bu durum hedef kasta pozisyonel farklılıklardan kaynaklı değişiklikler oluşturarak ölçümleri etkileyebilir [83].

EMG kas fonksiyonlarının objektif olarak değerlendirildiği yöntemlerdendir. Toplam kas aktivitesi yüzeysel ve iğne elektrotlar yardımıyla incelenebilir. Ancak izole kas özelliklerinin belirlenebilmesi invaziv ve ağırlı işlem gerektirir. Buna ek olarak EMG daha çok kas tonusunun nöral komponenti hakkında bilgi sağlarken diğer pasif mekanik özellikler gözlenememektedir [82,84].

Miyotonometri portatif bir cihaz yardımıyla dokuya eksternal uyarım verilerek kasın mekanik özellikleri hakkında fikir veren bir yöntemdir. Miyotonometre kullanılarak elle palpe edilebilen herhangi bir dokuda (cilt yüzeyinin 2 cm altında) ve statik koşullarda aktif ve pasif mekanik özellikler değerlendirilebilir. Bu yöntem daha az kullanıcı deneyimi gerektirse de gözlem yapılabilen alanın ultrason görüntülemesine göre daha dar ve yüzeysel olduğu bilinmektedir. Doku özellikleri klinisyenin prob yardımıyla kasa uyguladığı kuvvetin kişiye göre farklılık gösterebilmesi ölçüm hassasiyetini etkileyebilmektedir. Bu durum ölçüm yönteminin kullanıcıya bağımlı hale gelmesine neden olmaktadır [85].

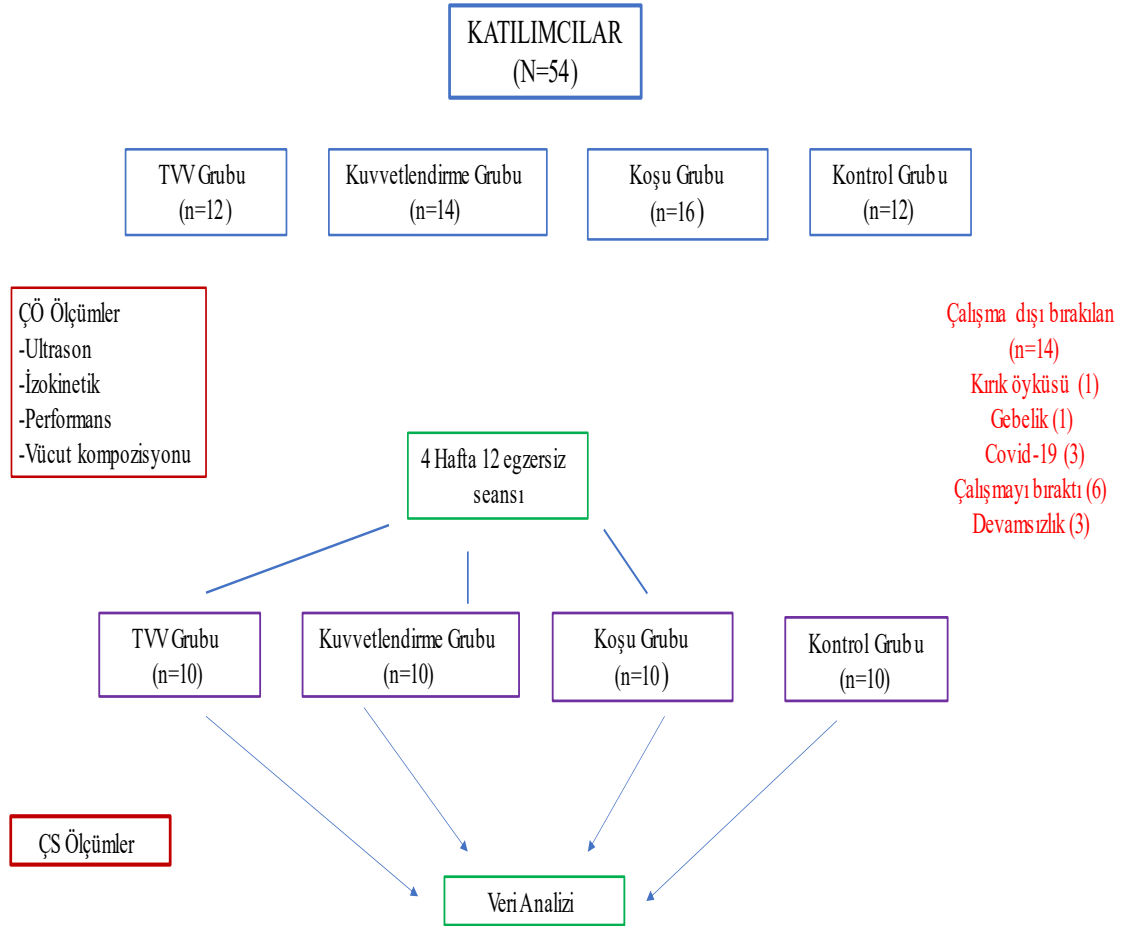
Ultrasonografi kullanımı doksanlı yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlasa da muskuloskeletal yapıları incelemek amacıyla UE görüntüleme yöntemi son zamanlarda yaygınlaşmıştır [86]. UE, B-mod ve doppler görüntüleme teknikleri kas sertliği, kalınlığı ve vaskülarizasyonu hakkında bilgi verebilir. Muskuloskeletal görüntüleme amacıyla strain elastografi (SE) ve shear wave elastografi (SWE) yöntemleri kullanılmaktadır. SE yöntemi klinisyenin ultrason probu ile manuel olarak oluşturduğu kompresyon kuvveti ile dokuda oluşan deformasyon veya gerilimin hesaplanması temeline dayanır. Ancak bu yöntem uygulayıcıya bağımlı, elde edilen veriler yarı kantitatif veya oransaldır [87]. SWE’de ise konvansiyonel ultrason dalgalarının akustik yayılım kuvveti, ses dalgalarının doku ile etkileşimi sırasında ultrason dalgalarına dik olarak transvers planda yayılım gösteren ve dokularda küçük yer değiştirmelere yol açan kesme dalgalar (shear wave) oluşur [88]. Bu teknikte, hafif prob teması yeterli olup kullanıcı değişkenliği ortadan kaldırılmıştır. Dokuya uygulanan kuvvet değişmez olup tek değişken “shear wave” ilerleme hızıdır. SWE mevcut

bölgenin boyut, şekil ve derinlik sınırlamalarına rağmen kas ve tendon yapılarının değerlendirilmesinde diğer yöntemlere kıyasla daha kullanışlı, uygulayıcıya bağımlılığı ortadan kaldıran nispeten tekrarlanabilir ve objektif bir yöntemdir (87).

Literatürde üst seviyede performansın açığa çıkarılmasında güç, kuvvet ve hareket hızının temel etkenler arasında olduğu bildirilmektedir [30]. Bununla birlikte performansın belirleyicisi olarak gösterilen fiziksel uygunluk parametrelerinin kas yapısıyla ilişkili olduğunu belirten yayınlar mevcuttur [36,40]. Kasın pasif mekanik özellikleri sportif aktivitenin içerdiği hareket paternlerine göre kişiye avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte egzersize cevap olarak kasın mekanik yapısında değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu noktada kas dokusunun mekanik yapısının aktiviteye uygun hale getirilmesi kuvvet ve performansın geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Ancak literatürde farklı paterndeki egzersizlerle kasın pasif mekanik yapısındaki değişime odaklanan az sayıda çalışma yer almaktadır. Mevcut kanıtlar arasında egzersiz ve pasif mekanik yapı ilişkisi farklı görüşleri içermektedir. Bu çalışmanın amacı farklı egzersiz yaklaşımlarının kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak ve kas mekaniğindeki değişimlerin performansa yansımalarını incelemektir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmaya dört grupta, toplam 40 sağlıklı kadın katılımcı dahil edildi. Çalışmanın akış diyagramı şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma akış diyagramı

3.1. Katılımcılar

Bu tez çalışması Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon, Radyoloji ve Spor Hekimliği Anabilim Dalları ile Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü arasında koordineli olarak gerçekleştirildi. Çalışmaya Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu’nun (20 Kasım 2019 tarihli 2019-19/21 nolu kararı ile) onay alınarak başlandı (Ek-1). Ölçümler Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon, Radyoloji ve Spor Hekimliği Anabilim dallarında yapıldı.

G*Power 3.1 programı kullanılarak yapılan örneklem büyüklüğü analizine göre; %85 gücünde klinik anlamlılığı 0,05 alınması için çalışmaya 40 katılımcı alınması gerektiği tespit edildi.

Çalışmaya Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi polikliniklerine gelen hasta yakınları davet edilerek dahil edilme kriterlerine uygun 18-40 yaşları arasındaki sağlıklı kadın bireyler fizyoterapist tarafından değerlendirildikten sonra gönüllülük esası ile çalışmaya dahil edildi. Vakalar basit rastgele örnekleme yöntemiyle “Tüm vücut vibrasyon (TVV)” grubu, “Aerobik Egzersiz” grubu, “Dirençli Egzersiz” grubu ve “Kontrol” grubu olmak üzere dört gruba ayrıldı. Randomizasyon “Random Allocation Software 2.0” programı ile yapılarak çalışmaya dahil edilen katılımcıların hangi grupta yer alacağı programın belirlediği sıraya göre karar verildi.

Çalışmaya egzersiz programına katılmalarında sakınca olmayan sağlıklı bireyler davet edildi. Katılımcıların mevcut sağlık durumları egzersiz yapmaya uygun olsa bile daha önce geçirilmiş cerrahi, nöromuskuler veya nörodejeneratif hastalık varlığı, kalp yetmezliği, kalpte stent varlığı, gebelik gibi durumların varlığında vakalar çalışmadan çıkarıldı. Düzenli egzersiz alışkanlığı olmayan sağlıklı kadın katılımcılar çalışmaya dahil edildi.

Çalışmaya katılan bireyler egzersizler sırasında herhangi bir rahatsızlık hissetmeleri veya kendi iradeleri ile ayrılmak istemeleri durumunda devam etmeleri yönünde herhangi bir zorlama olmaksızın çalışma dışı bırakıldı. Ardı sıra 3 egzersiz seansına gelmeyen veya toplamda ikiden fazla devamsızlık yapan katılımcılar çalışmadan çıkarılarak veri analizine dahil edilmedi.

Dahil edilme kriterleri;

- Egzersiz yapmayı engelleyen herhangi bir sağlık problemi bulunmamak
- Son 6 ay içerisinde alt ekstremiteye yönelik herhangi bir yaralanma ya da cerrahi hikayesi olmamak.
- 18-40 yaşında arasında kadın olmak

Dışlama kriterleri;

- Cerrahi öyküsü
- Nöromuskuler veya nörodejeneratif hastalık varlığı
- Kalp yetmezliği
- Stent veya implant varlığı
- Gebelik
- Egzersize katılımı engelleyecek herhangi bir durumun varlığı
- Ultrason değerlendirmesine engel olabilecek deride enfeksiyon varlığı

3.2. Çalışma Planı

Çalışmaya gönüllü olarak katılan kişilerden yazılı onam formu alınarak demografik bilgileri kaydedildi. Kasın pasif mekanik özelliklerinin değerlendirildiği ultrason elastografi (UE) ölçümleri katılımcıların hangi grupta olduğunu bilmeyen uzman radyolog tarafından yapıldı. UE ölçümleri sonrasında denge ve sıçrama performansı ölçümleri fizyoterapist tarafından gerçekleştirilirken son aşamada izokinetik kuvvet ölçümleri spor hekimliği anabilim dalında hekim tarafından yapıldı.

Çalışma öncesinde ve çalışma sonunda performans ve izokinetik ölçümlerin yaratacağı akut fiziksel yüklenmenin pasif mekanik özellikleri etkilememesi adına ilk olarak UE ölçümleri yapıldı.

Katılımcılar 4 gruba ayrıldıktan sonra çalışma gruplarına haftada 3 gün 4 haftalık egzersiz programı uygulandı. Çalışma öncesinde ve çalışma sonunda değerlendirmeler yapıldı. Tüm egzersizler fizik tedavi polikliniğinde yer alan egzersiz salonunda ve fizyoterapist eşliğinde uygulandı.

TVV egzersizleri özel egzersiz platformuna sahip cihaz üzerinde yaptırıldı. TVV cihazı, çeşitli popülasyonlarda kas gücünü, vücut dengesini, kemik yoğunluğunu ve ağrıyı arttırdığı gösterilen kas kasılmalarına ve nöro stimülasyona neden olan belirli bir frekans ve genlikte salınım yapan bir platformdur [89]. Çalışmamızda Uniphy Elektromedizin GmbH ve CoKG tarafından ISO 9001: 2000 ve DIN EN ISO 13485: 2003 uluslararası kalite standartlarına

uygun olarak üretilen “Compex Winplate” marka tüm vücut vibrasyon cihazı kullanıldı (Resim 3.1.).



Resim 3.1. Tüm vücut vibrasyon egzersizleri

Katılımcılara platform üzerinde statik ve dinamik egzersiz protokolü uygulandı. 30° de statik squat, 30-60° dinamik derin squat, parmak ucunda yükselme, squat sırasında ağırlık aktarma, tek ayak üzerinde statik ve dinamik çömelme egzersizleri kullanıldı [90]. Her bir egzersiz 30-50 sn süresince, 30-45 Hz frekans ve 2mm amplitüdle gerçekleştirildi. Egzersizler 3 set olarak planlandı ve setler arasında 3 dakikalık dinlenme süresi verildi. Egzersizler haftalık olarak katılımcıların egzersizlere uyumuna göre tedricen artırılarak 30-45 dk süresince uygulandı.

Aerobik egzersiz grubuna standart yürüyüş bandı üzerinde aerobik karakterde koşu çalışması yaptırıldı. Katılımcılar haftada 3 olmak üzere her seansta 30-45 dakika maksimal kalp hızının %65-80'inde, orta-yüksek dereceli, koşmayı içeren aerobik çalışma gerçekleştirildi (Resim 3.2). Egzersiz şiddetinin Borg skalasına göre 12-14 (biraz zor) seviyesinden aşağıya düşmesi durumunda program katılımcının toleransına göre revize edildi. Egzersiz sırasında katılımcıların Borg ölçeği ile yorgunluk düzeyleri, pulse oksimetre ile de kalp hızları gözlemlendi. Aerobik egzersiz olarak koşu temelli egzersiz programı kullanıldı.



Resim 3.2. Koşu temelli aerobik egzersiz

Kuvvetlendirme grubuna dirençli egzersiz bantları kullanılarak alt ekstremiteye yönelik güçlendirme egzersizlerini içeren program uygulandı. Program dahilinde yatak içerisinde dört yönlü düz bacak kaldırma, diz fleksiyonu, dört yönlü ayak bileği egzersizleri; yatak kenarında diz ekstansiyonu; ayakta dört yönlü bacak egzersizleri, öne-yana adımlama ve çömelme egzersizleri elastik egzersiz bantları yardımıyla dirençli olarak çalışıldı.

Egzersizler için Thera-Band® (Ohio, USA) marka dirençli elastik bantlar tercih edildi. Başlangıç direncini belirlemek amacıyla egzersizlerden birinin 8-12 tekrarlı yapılması istenerek hissedilen eforun derecesi Borg skalasına göre 12-14 (biraz zor) ise bu direnç ile egzersize başlandı. Direnç haftalık olarak benzer şekilde değerlendirildi. Algılanan zorluk derecesi “biraz zor” seviyesinden daha olduğu durumda dirençli eğitim programı revize edildi (Resim 3.3.).



Resim 3.3. Kuvvetlendirme egzersizleri

Kontrol grubunda katılımcılara hiçbir uygulama yaptırılmadı. Sadece değerlendirmeleri yapılarak elde edilen veriler çalışma grupları verileri ile karşılaştırıldı.

3.3. Değerlendirme Yöntemleri

3.3.1. Demografik özellikler

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

3.3.2. Ultrasonografik ölçümler

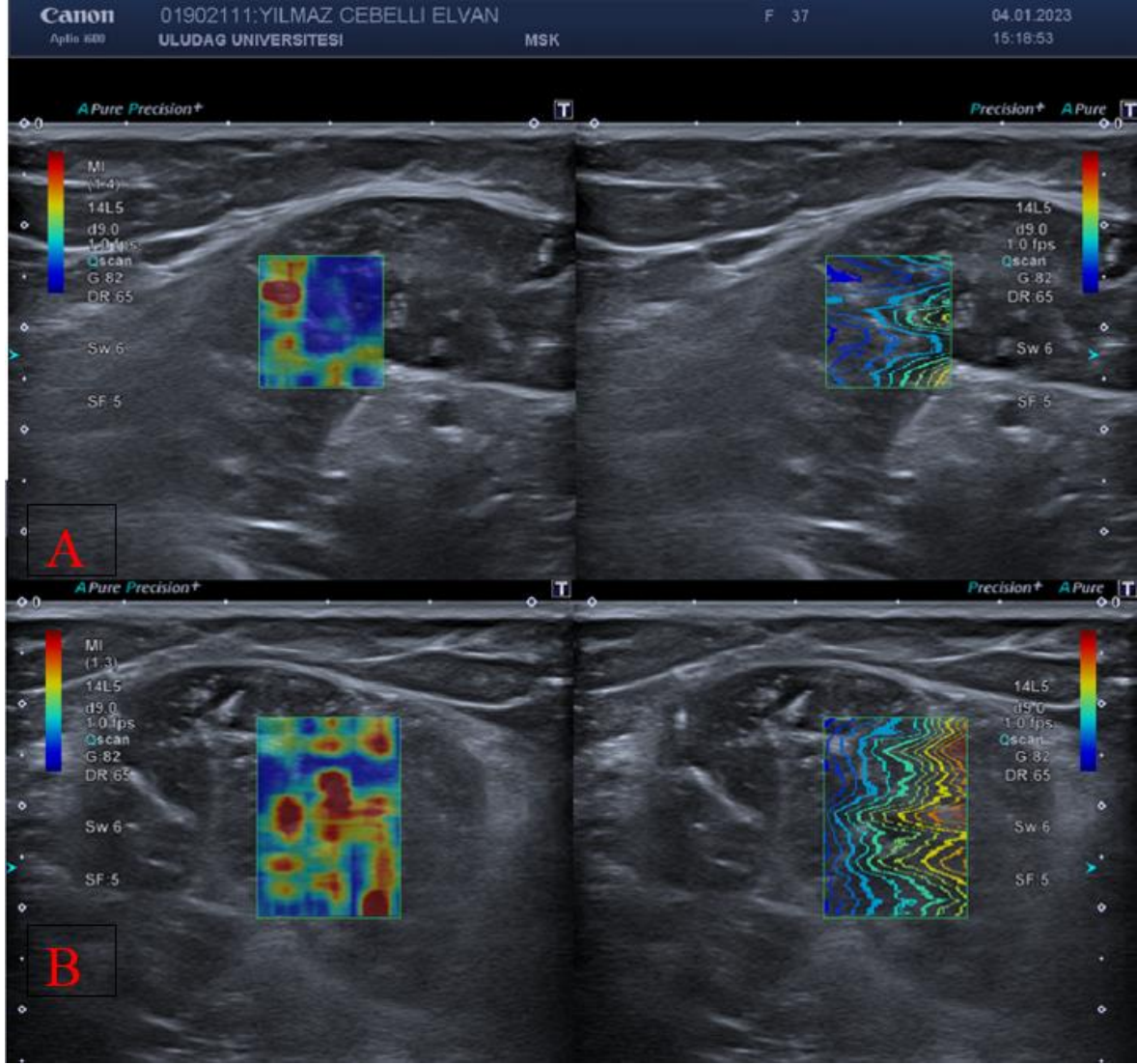
Kasların mekanik özelliklerindeki değişimler Canon Aplio i600 renkli doppler ultrasound (Canon Medical Systems USA, Inc. 2441 Michelle Drive Tustin, CA 92780) cihazı kullanılarak shear wave elastografi yöntemi ile değerlendirildi. Dokuların üzerine uygulanan tekrarlayıcı bası etkisine, sertlik özelliklerine göre kasların verdikleri esneyebilme yanıtı ölçülerek kaydedilecektir. Doku sertliğini görüntüleme metodu Young'un elastisite modülüne dayanmaktadır. Esneklik katsayısı, eksternal güç uygulandığında bir maddenin deforme olma eğiliminin matematiksel ifadesidir. Birimi Pascal (N/m²) dir. Esneklik

katsayısı (Young modülü değeri) incelenen yapının şekil ve boyut özelliklerinden bağımsız olduğu için dokuların kendisinden çok fonksiyonel özellikleri hakkında bilgi vermekte ve elastiklik değerleri farklı olan dokular arasında kıyaslama yapılmasına da olanak sağlamaktadır [91]. Ultrason cihazı yardımı ile kasın sertlik özelliklerindeki değişimler shear wave elastografi (SWE) yöntemi ile kaydedildi. Ölçümler dominant alt ekstremiteye yapılarak kuadriseps (vastus medialis obliquus, rectus femoris), hamstring (biceps femoris, semimembranosus) ve gastrokinemius (lateral ve medial kısım) kaslarının mekanik özelliklerindeki değişimler incelendi (Resim 3.3). Kas kalınlığının belirlenmesi için elde edilen ultrasonografik görüntülerde kas-subkutan yağ ara yüzeyi ve kas-kemik ara yüzeyi belirlenerek ara yüzeyler arasındaki mesafe kaydedildi [92]. VMO kas kalınlık ölçümü için prob patella superomedial kenarının 4 cm proksimali ve 3 cm medialine kas liflerine paralel olacak şekilde oblik-sagittal planda yerleştirilerek, RF kas kalınlığı ölçümü için prop patella superior kenarı ve superior iliaca anterior superior arasındaki mesafenin % 50'si ölçülüp işaretlenerek yapıldı. BF ve SM kas kalınlığının ölçümü için bireyler yüzüstü uzandı. BF kas kalınlığının ölçümü için tuberositas iskium ve femurun lateral kondili arasındaki mesafenin orta noktası SM kas kalınlığının ölçümü için ise tuberositas iskium ve femurun medial kondilinin orta noktası işaretlenerek ölçüm yapıldı. Prob ile cilt arasında akustik teması sağlamak için ultrason jeli kullanıldı. Tüm ölçümler 3 defa yapılarak ortalama değer kaydedildi.



Resim 3.4. Ultrason elastografi: Vastus medialis obliquus kas kalınlık ölçümü

Kas sertliği ile ilgili ölçümler ilgili kas istirahat halindeyken yapılarak kPascal cinsinden elde edilen elastisite değeri veri analizinde kullanıldı (Resim 3.6).



Resim 3.5. Ultrason elastografi: Semimembranosus (A) ve medial gastrocnemius (B) pasif kas sertliği ölçümleri

3.3.3. Kas kuvveti ve endurans

Kas kuvvet değeri değerlendirmeleri izokinetik sistemle izometrik, konsantrik ve eksantrik olarak yapıldı. Ayrıca endurans ölçümü gerçekleştirildi Bu amaçla Humac NORM izokinetik test ve rehabilitasyon sistemi (CSMI Computer Sports Medicine, Inc. 101 Tosca Drive Stoughton, MA.02072 ABD) kullanıldı (Resim 3.6).



Resim 3.6. İzokinetik test ve rehabilitasyon sistemi

Dominant alt ekstemitede kuadriseps femoris ve hamstring kaslarına yönelik izokinetik değerlendirme ölçümleri yapılarak veriler toplandı. Kuadriseps femoris ve hamstring kaslarının izometrik değerlendirmesi 60 derece diz fleksiyon pozisyonunda değerlendirildi [93]. Bireylere kuadriseps femoris kası için güçlü bir şekilde tekme atar gibi dizlerini düzeltmeye çalışmaları ve bunu 5 sn süreyle devam ettirmeleri, hamstring kasının ölçümü için ise ters yönde dizlerini bükmeye çalışarak bunu 5 sn süreyle korumaları gerektiği anlatıldı. Her iki test öncesinde de 3 tekrarlı 5 sn süreli submaksimal ısınma tekrarı yaptırılarak 1 dk dinlenme süresi verildi. Ölçümler 5 tekrarlı yapıldı Her 5 sn'lik kontraksiyonun ardından 10 sn dinlenme süresi belirlendi. Sistemden elde edilen pik tork değerleri kaydedildi.

Konsantrik kuvvet değerlendirmesi 0-90 derece diz fleksiyon aralığında, 60°/sn hızda yapıldı. Testler 90 derece diz fleksiyon pozisyonundan başlatıldı. Test öncesi 3 tekrarlı submaksimal ısınma tekrarından sonra bir dakikalık dinlenme arası verilerek 5 maksimal test tekrarı yaptırıldı. Hamstring ve kuadriseps kasları için pik tork değerleri kaydedildi.

Eksantrik kuvvet değerlendirmesi 20-90 derece diz fleksiyon aralığında, 60°/sn hızda, 5 tekrarlı olarak yaptırıldı. İki denemeden sonra bir dakikalık dinlenme sonrasında ölçümler

kuadriseps femoris kasının testi için 20 derece diz fleksiyonu, hamstring kası içinse 90 derece diz fleksiyon pozisyonundan başlatılarak elde edilen pik tork değerleri kaydedildi.

Kassal enduransın değerlendirilmesi için 0-90 derece diz fleksiyon aralığında, 300°/sn hızda 3 deneme tekrarının ardından bir dakikalık dinlenme verilerek test 15 tekrarlı yaptırıldı. Hamstring ve kuadriseps kasları için elde edilen pik tork değerleri kaydedildi.

3.3.4. Denge ve sıçrama

Denge değerlendirmek amacıyla dominant alt ekstremiteye yönelik Y denge testi kullanıldı [94]. Test öncesinde alt ekstremita uzunluk ölçümü yapıldı. Test sırasında katılımcılardan önceden hazırlanan düzener üzerinde anterior, 135° posteromedial ve 135° posterolaterale uzanabildikleri kadar uzanmaları istendi. Her yöne altı kez ısınma yapılarak testler 3 tekrarlı uygulandı ve her yöndeki en yüksek skor değerlendirmeye alındı (Resim 3.7). Katılımcılar arasında bacak uzunluğundan kaynaklanan avantajı elimine etmek amacıyla;

$$\frac{[(\text{Anterior} + \text{Posteromedial} + \text{Posterolateral}) / (3 \times \text{Alt ekstremita uzunluğu})] \times 100}{\text{formülü}}$$
 kullanılarak kompozit denge skoru elde edildi [94].



Resim 3.7. Y denge denge testi

Sıçrama performansının değerlendirilmesi amacıyla dikey ve yatay sıçrama testleri kullanıldı. Dikey sıçrama için ilk aşamada katılımcı duvar kenarında yan duruşta iken kolunu yukarı uzattığı pozisyonda mesafe ölçüldü. Daha sonra katılımcının aynı pozisyonda dominant taraf tek ayak üzerinde 3 defa sıçraması istenerek elde edilen değerlerin ortalaması kaydedildi (Resim 3.8). Katılımcıların ayakta uzanabildikleri mesafe ile sıçrayıp uzanabildikleri mesafe arasındaki fark santimetre cinsinden kaydedildi [95]



Resim 3.8. Dikey sıçrama testi

Yatay sıçrama (YS) testi tek ayak üzerinde dominant alt ekstremiteye uygulandı. Düz bir zeminde şerit yapışkan bantla başlangıç noktası belirlendi. Dominant olmayan alt ekstremitede diz hafif bükülü, katılımcıların ayak parmak ucu başlama çizgisinde, kollar yanda ve simultane bir şekilde öne arkaya salınım yaparak mümkün olduğu kadar ileriye atlamaları istendi (Resim 3.9). Atlama mesafesi olarak başlama çizgisi ile topukların yere değdiği arka noktası ölçüldü [96]. YS üç kez tekrarlanarak ölçüm sonuçlarının ortalaması kaydedildi.



Resim 3.9. Yatay sıçrama testi

3.4. İstatistiksel Analiz

Çalışmamızda egzersiz ve kontrol gruplarından elde edilen veriler SPSS 20 (Statistical Package for Social Sciences; SPSS inc. Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak analiz edildi.

Sayısal değişkenlerin gruplara göre normallik varsayımları Shapiro Wilk normallik testi, basıklık/çarpıklık değerleri ve uygun grafiksel yöntemlerle incelendi. Normal dağılım gösteren sayısal değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ortalama ve standart sapma ($X \pm SS$) ile normal dağılmayan değişkenler ise medyan (minimum-maksimum) şeklinde belirtildi. Demografik özellikler yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut kitle indeksi, yağsız vücut ağırlığı, yağ yüzdesi ve yağ kitlesi verilerine ilişkin değerlendirmeler normal dağılım gösteren değişkenler için gruplar arası karşılaştırmalarda “Tek Yönlü Varyans Analizi”, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde ise “Kruskal Wallis Testi” kullanıldı.

Çalışma öncesi ve sonrası grup içi ve gruplar arası karşılaştırılma yapılacak sayısal değişkenler arasında normal dağılım göstermeyen parametrelerin normal dağılımını ve

istatistiksel bütünlüğü sağlamak amacıyla logaritmik transformasyon yöntemi kullanıldı [97,98].

Çalışma ve kontrol gruplarından elde edilen denge, sıçrama performansı, izokinetik kuvvet ve kasın mekanik özelliklerine ilişkin verilerin grup içi değişim ve gruplar arası etkileşimleri arasındaki farklılıkların değerlendirilmesi amacıyla 4 (grup: TVV, aerobik, kuvvetlendirme, kontrol) x 2 (zaman: egzersiz öncesi-sonrası) karma desenli ANOVA test yöntemi kullanıldı. Küresellik varsayımının sağlanamadığı durumlarda Greenhouse-Geisser düzeltmesi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Gruplar arası karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğu takdirde post-hoc Bonferroni düzeltmesi yapılarak farklılık gözlenen gruplarda anlamlılık düzeyi $p < 0,013$ baz alınarak araştırıldı. İstatistiksel test sonucunda etki büyüklüğü $0,01 \leq \eta^2 < 0,06$ “düşük düzeyde etki”, $0,06 \leq \eta^2 < 0,14$ “orta düzeyde etki” ve $\eta^2 \geq 0,14$ “geniş düzeyde etki” var şeklinde yorumlandı [99].

Araştırmanın post-hoc güç analizi, G*Power 3.1 programı kullanılarak yapıldı. Grupların kas pasif sertliği skorları arasındaki fark temel alınarak yapılan post-hoc güç analizinde 0,28 etki büyüklüğü ve 0,05 hata payında, çalışmanın gücü %80 olarak belirlendi. Temel değişkenin pasif kas sertlik değeri olduğu güç analizi sonucunda, çalışmanın 40 katılımcı ile tamamlanması uygun bulundu.

4. BULGULAR

4.1. Grupların Demografik Özellikleri

Çalışmanın yaş, boy uzunluğu ve yağsız vücut ağırlığı (FFM) gruplar benzerdi ($p>0,05$). Vücut ağırlığı, vücut kitle indeksi ve yağ yüzdesi parametrelerinde Aerobik-TVV, Aerobik-Kuvvetlendirme grupları arasında anlamlı fark vardı ($p<0,05$). Bireylerin demografik özellikleri ve gruplar arası karşılaştırmaları Çizelge 4.1’de gösterildi.

Çizelge 4.1. Grupların demografik özellikleri

	TVV (n=10)	Aerobik (n=10)	Kuvvetlendirme (n=10)	Kontrol (n=10)	p değeri
Yaş (yıl)	25(21-37)	27,5(21-34)	24(21-37)	28,5(22-38)	0,263 ^a
Boy (m)	1,63(1,58-1,74)	1,62(1,58-1,72)	1,67(1,55-1,70)	1,64(1,58-1,70)	0,884 ^a
Vücut Ağırlığı (kg)	54,28±5,64	68,27±7,4	57,32±8,2	58,44±10,44	0,003 ^b
VKİ (kg/m ²)	20,03±1,54	25,53±3,32	20,95±2,61	21,49±3,52	0,001 ^b
FFM (kg)	42,65(38,2-44,7)	46,1(34,8-52,4)	45,3(37,3-50,1)	43,25(35,8-49,8)	0,075 ^a
Yağ yüzdesi (%)	5,28±1,67	7,15±2,26	6,43±2,03	7,64±2,41	0,008 ^b

Veriler medyan (minimum:maksimum) ve ortalama ± st sapma olarak ifade edilmiştir. a: Kruskal Wallis Testi, b: Tek Yönlü Varyans Analizi

4.1. Grupların Denge, Sıçrama ve İzokinetik Kuvvet Ölçümleri Başlangıç Değerlerinin Karşılaştırılması

Çalışma ve kontrol gruplarının Y denge, yatay ve dikey sıçrama ölçümlerinin ilk değerleri arasında farklılık yoktu ($p>0,05$). İzokinetik kuvvet başlangıç değerlerinde hamstring izometrik (Aerobik-TVV) ve konsantrik kuvvet değerlerinde (Aerobik-TVV, Aerobik-kontrol) gruplar arasında anlamlı fark vardı ($p<0,05$). Diğer izokinetik kuvvet ölçümlerinde gruplar benzerdi. ($p>0,05$).

Grupların denge, sıçrama ve izokinetik kuvvet ölçümleri başlangıç değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Denge, sıçrama performansı ve izokinetik kuvvet ölçümlerinin başlangıç değerleri

	TVV (n=10)	Aerobik (n=10)	Kuvvetlendirme (n=10)	Kontrol (n=10)	p değeri ^x
YB _{skor}	91,03±8,23	91,94±4,51	87,89±8,6	90,89±5,51	0,591
DS _{cm}	14,63±2,9	15,35±4,42	15,83±3,85	13,85±3,85	0,674
YS _{cm}	66,94±9,84	66,96±19,59	66±15,36	54,19±19,75	0,250
Kuadriseps İzm _(Nm)	140,5±37,45	155,7±36,07	151,3±35,6	127,6±25,81	0,272
Hamstring İzm _(Nm)	54,6±10,19	70,7±10,91	65,3±9,44	64,3±12,8	0,019*
Hkon60°/sn Flex _(Nm)	51,7±11,75	66,1±9,04	54,6±8,55	49,7±12,65	0,012*
Qkon60°/sn Ekst _(Nm)	103,1±26,84	133,4±23,88	113,1±31,3	107,6±32	0,127
Hkon300°/sn Flex _(Nm)	24,6±4,55	24,6±6,76	25,7±5,45	23,3±6,66	0,844
Qkon300°/sn Ekst _(Nm)	43,1±11,8	54,3±11,7	54,8±9,81	43,4±7,46	0,120
Kuadriseps Eks _(Nm)	130±35,63	167,3±41,2	156,9±26,61	134±38,82	0,076
Hamstring Eks _(Nm)	72,5±10,99	92±23,7	75,1±12,11	79,2±25,32	0,126

YD: Y Denge; YS: Yatay Sıçrama; DS: Dikey Sıçrama, ekst: ekstansiyon, flex: fleksiyon, izm: izometrik, kon: konsantrik, eks: eksantrik, Q: kuadriseps, H: hamstring. Veriler ortalama ± st sapma olarak ifade edilmiştir. Tek Yönlü Varyans Analizi. *: p<0,05.

4.2. Kasın Pasif Mekanik Özelliklerinin Başlangıç Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.3. Kasın pasif mekanik özellikleri başlangıç değerleri

	TVV (n=10)	Aerobik (n=10)	Kuvvetlendirme (n=10)	Kontrol (n=10)	p değeri ⁺
VMO(s)	19,37±11,13	19,05±6,54	21,56±11,19	17,59±9,05	0,760
RF(s)	21,39±9,34	23,3±14,29	18,28±5,42	22,38±9,48	0,710
BF(s)	22,37±10,13	33,86±26,07	25,43±8,62	26,64±12,45	0,609
SM(s)	25,74±10,25	30,34±14,34	23,02±6,16	21,8±11,22	0,322
LGK(s)	17,71±8,66	25,8±15,6	22,32±9,03	18,9±10,84	0,346
MGK(s)	18,2±10,11	22,61±10,08	24,66±14,79	23,99±12,15	0,625
VMO(k)	23,5±2,20	22,9±4,98	21,84±4,97	23,93±5,3	0,755
RF(k)	28,21±2,61	32,28±5,84	30,21±3,37	29,05±7,47	0,343
BF(k)	32,41±2,76	39,1±5,79	35,77±3,7	36,6±7,18	0,050
SM(k)	43,31±4,48	46,03±10,2	47,05±8,18	43,81±6,32	0,652
LGK(k)	16,8±2,50	19,01±2,75	18,32±4,03	18,05±3,63	0,461
MGK(k)	41,41±5,42	39,05±8,74	37,3±9,86	36,08±6,48	0,463

VMO: Vastus medialis obliquus, RF: Rektus Femoris, SM: Semi Membranosus; BF: Biceps Femoris; LGK: Lateral Gastroknemius; MGK: Medial Gastroknemius, s: sertlik, k: kalınlık Veriler medyan (minimum:maksimum) ve ortalama ± st sapma olarak ifade edilmiştir.

⁺Tek Yönlü Varyans Analizi *p<0,05.

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre kasın pasif mekanik özellikleri açısından çalışma öncesinde gruplar arasında anlamlı fark gözlenmedi ($p>0,05$). Kasın pasif mekanik özelliklerine ilişkin ilk değerlerin gruplar arası karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

4.3. Çalışma Öncesi ve Sonrası Grup İçi ve Gruplar Arası Karşılaştırma Sonuçları

Denge, yatay ve dikey sıçrama ve ölçümlerinin grup içi ve gruplar arasında karşılaştırılma sonuçları Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Denge ve sıçrama ölçümlerinin grup içi ve gruplar arasında karşılaştırılması

Ölçüm	Grup	ÇÖ	ÇS	Yüzde Değişim	Grup	Zaman	Grup*Zaman
					F-p (η^2)	F-p (η^2)	F-p (η^2)
YB _{skor}	TVV	91,03±8,23 ^x	102,98±7,85 ^x	13,12			
	Aerobik	91,94±4,51 ^y	97,59±6,39 ^y	6,14	1,11-0,357 (0,085)	97,29- <0,001* (0,730)	6,17-0,002* (0,340)
	Kuvvet	87,89±8,60 ^z	96,48±9,33 ^z	9,77			
	Kontrol	90,89±5,51 ^t	94,25±4,33 ^x	3,69			
DS _{cm}	TVV	14,63±2,90 ^x	19,37±2,84 ^x	32,39			
	Aerobik	15,35±4,42 ^y	17,09±3,93 ^y	11,33	2,54-0,071 (0,175)	25,73- <0,001* (0,417)	7,76-<0,001* (0,393)
	Kuvvet	15,83±3,85 ^z	18,29±3,95 ^z	15,54			
	Kontrol	13,85±3,85 ^t	13,11±2,28 ^{x,y,z}	-5,34			
YS _{cm}	TVV	66,94±9,84 ^x	83,43±14,43 ^x	24,62			
	Aerobik	61,36±24,27 ^y	71,59±28,84 ^y	13,34	3,81-0,18 (0,241)	34,02- <0,001* (0,486)	6,14-0,02* (0,339)
	Kuvvet	59,72±21,75 ^z	72,46±24,42 ^z	21,03			
	Kontrol	54,19±19,75 ^t	52,16±16,56 ^{x,y,z}	-3,02			

X: Ortalama Değer; SS: Standart Sapma; i; p: Anlamlılık düzeyi; η^2 : etki büyüklüğü; *: $p<0,05$ x,y,z,t: Sütundaki aynı harfler iki grup arasında anlamlı farkı belirtmektedir. Koyu karakterler iki ölçüm arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. ÇÖ: Çalışma öncesi, ÇS: Çalışma sonrası; YD: Y Denge; DS: Dikey Sıçrama; YS: Yatay Sıçrama. TVV: Tüm Vücut Vibrasyon Grubu.

Grup verileri bir bütün olarak ele alındığında zaman farkı gözetmeksizin yapılan gruplar arası karşılaştırmada denge ölçümü ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($F_{3,36}=1,11$; $p>0,05$; $\eta^2:0,085$). Grup ayrımı olmadan yapılan analizde zamana bağlı olarak denge skorlarında anlamlı değişim görüldü ($F_{1,36}=97,29$; $p<0,001$; $\eta^2:730$). Çalışma öncesi ve sonrası ölçümler arasında tüm gruplarda anlamlı değişim tespit edildi. Gruba göre zamanın etkileşiminde (grup*zaman) gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu görüldü ($F_{3,36}=6,17$; $p<0,05$; $\eta^2:340$). Çalışma sonrası karşılaştırmada TVV-

kontrol grupları arasında anlamlı fark belirlendi ($p<0,05$). TVV egzersiz programının Y denge skorunda $\sim\%13,12$ artış sağlayarak denge üzerine daha geniş düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu saptandı ($p<0,001$; $\eta^2:0,639$).

Dikey sıçrama performansında bir bütün olarak gruplar arasında fark yoktu ($F_{3,36}=2,54$; $p>0,05$; $\eta^2:0,175$). Grup ayrımı olmaksızın zamanın temel etkisi dikey sıçrama ölçümlerinde anlamlı artış gözlemlendi ($F_{1,36}=25,73$; $p<0,001$; $\eta^2:0,417$). Grup*zaman etkileşiminde gruplar arasında anlamlı fark olduğu görüldü ($F_{3,36}=7,76$; $p<0,05$; $\eta^2:0,393$). Tüm gruplarda çalışma öncesi ve sonrası ölçümler arasında anlamlı değişim vardı ($p<0,05$). TVV egzersizleri üzerine daha geniş düzeyde etki göstererek dikey sıçrama performansını $\sim\%32,39$ artırdığı bulundu ($p<0,001$; $\eta^2: 0,488$).

Yatay sıçrama performansı açısından gruplar zamandan bağımsız olarak incelendiğinde gruplar arasında ($F_{3,36}=3,81$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,241$), grup ayrımı olmadan zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=34,07$; $p<0,01$; $\eta^2:0,486$) ve grup*zaman etkileşiminde ($F_{3,36}=6,14$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,339$) anlamlı değişim olduğu belirlendi. Çalışma sonrası egzersiz grupları kontrol grupları ile karşılaştırıldığında anlamlı farklılık olduğu bulundu ($p<0,005$). Egzersiz gruplarında çalışma öncesine göre yatay sıçrama değerlerinde anlamlı artış kaydedildi ($p<0,05$). TVV egzersizleri yatay sıçrama üzerine daha geniş düzeyde etki gösterdi ($p<0,001$; $\eta^2: 0,419$).

Çalışma ve kontrol gruplarının izokinetik sistemle yapılan kas kuvveti değerlendirme sonuçlarının grup içi ve gruplar arası karşılaştırma değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

İzometrik kuadriseps kas kuvveti bir bütün olarak gruplar arasında farklılık göstermedi ($F_{3,36}=2,26$; $p>0,05$; $\eta^2:0,159$) zamanın temel etkisi ise istatistiksel olarak anlamlıydı ($F_{1,36}=22,35$; $p<0,001$; $\eta^2: 0,383$). Grup*zaman etkileşiminde gruplar arasında anlamlı fark olduğu görüldü ($F_{3,36}=3,24$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,213$). Gruplar arasındaki farklılık egzersiz ve kontrol grupları arasındaki farklılıktan kaynaklanıyordu ($p<0,05$). TVV ve kuvvetlendirme gruplarının bir ve ikinci ölçümleri arasında anlamlı farklılık gözlemlendi ($p<0,05$). TVV ($\eta^2: 0,266$) ve kuvvetlendirme ($\eta^2: 0,300$) egzersizlerinin izometrik ekstansiyon kas kuvveti üzerine geniş düzeyde etkisi olduğu saptandı.

Çizelge 4.5. İzometrik kuvvet ölçümlerinin grup içi ve gruplar arası karşılaştırılması

Ölçüm	Grup	ÇÖ	ÇS	Yüzde Değişim	Grup	Zaman	Grup*Zaman
					F-p (η^2)	F-p (η^2)	F-p (η^2)
Q İzm(Nm)	TVV	140,50±37,46^x	159,20±33,10^x	13,31			
	Aerobik	155,70±36,07 ^y	165,50±38,41 ^y	6,29	2,26-0,97 (0,159)	22,35-<0,001*	3,24-0,033* (0,213)
	Kuvvet	151,30±35,61^z	171,60± 35,44^z	13,42			
	Kontrol	127,60±25,82 ^t	127,7±28,52 ^{x,y,z}	0,08			
H İzm(Nm)	TVV	54,60±10,18^x	70,00±8,7^x	28,21			
	Aerobik	70,70±10,91^{x,y}	81,90±13,22^{x,y}	15,84	4,8-0,006* (0,286)	35,49,<0,001*	12,31-p<0,001* (0,507)
	Kuvvet	65,30±9,44^z	76,00±11,85^z	16,39			
	Kontrol	64,30±12,79^t	58,60±10,56^{x,y}	-8,86			
Q kon60°/sn (Nm)	TVV	103,10±26,84^x	117,70±18,27^x	14,16			
	Aerobik	133,40±23,88 ^y	139,60± 21,52 ^y	4,65	3,53-0,024* (0,228)	5,09-0,030* (0,124)	4,72-0,007* (0,282)
	Kuvvet	113,10±31,3^z	129,40± 32,94^z	14,41			
	Kontrol	107,60± 32 ^t	94,90±17,8 ^{x,y,z}	-11,80			
Hkon60°/sn (Nm)	TVV	51,70±11,76^x	63,10±9,76^x	22,05			
	Aerobik	66,10±9,05 ^{x,y}	71,90± 9,99 ^y	8,77	7,07-0,001* (0,371)	21,65-<0,001* (0,376)	4,88-0,006* (0,289)
	Kuvvet	54,60± 8,55^z	65,70±12,64^z	20,33			
	Kontrol	49,70±12,66 ^y	47,90±8,72 ^{x,y,z}	-3,62			
Hkon300°/sn (Nm)	TVV	24,60±4,55^x	30,30±4,60^x	23,17			
	Aerobik	24,60±6,77^y	29,80±5,75^y	21,14	1,44-0,245 (0,199)	42,42-<0,001* (0,541)	2,41-0,083 (0,167)
	Kuvvet	25,70±5,46^z	31,10± 7,0^z	21,01			
	Kontrol	23,30±6,67 ^t	24,10 ±5,47 ^{x,y,z}	3,43			
Qkon300°/sn (Nm)	TVV	43,10±11,8^x	49,7±9,15^x	15,31			
	Aerobik	54,30± 11,7^y	60±12,72^y	10,50	5,92-0,002* (0,331)	25,29-<0,001* (0,413)	1,94-0,139 (0,140)
	Kuvvet	54,80±9,81^z	61,6±8,86^{x,z}	12,41			
	Kontrol	43,40±7,46 ^t	44,3±7,27 ^{y,z}	2,07			
Q Eks60°/sn (Nm)	TVV	130 ± 35,63^x	154,5 ± 29,44^x	18,85			
	Aerobik	167,3±41,20^{x,y}	182,0 ± 39,85^y	8,79	4,08- 0,014 * (0,254)	12,51- 0,001 * (0,258)	5,14- 0,005 * (0,300)
	Kuvvet	156,9 ± 26,61^z	176,5 ± 33,93^z	12,49			
	Kontrol	134,0 ± 38,82 ^y	123,6 ± 31,8 ^{x,y,z}	-7,76			
H Eks60°/sn (Nm)	TVV	72,50±10,99^x	89,70±9,63^x	23,72			
	Aerobik	92,00±23,7 ^y	100,30±18,82 ^y	9,02	2,40-0,083 (0,167)	13,55-0,001* (0,273)	3,95-0,016* (0,248)
	Kuvvet	75,10±12,11^z	84,80±16,61^z	12,92			
	Kontrol	79,20±25,32 ^t	75,70±23,56 ^y	-4,42			

X: Ortalama Değer; SS: Standart Sapma; p: Anlamlılık düzeyi; η^2 : etki büyüklüğü; *: p<0.05 x, y, z, t: Sütündeki aynı harfler iki grup arasında anlamlı farkı belirtmektedir. Koyu karakterler iki ölçüm arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. ÇÖ: Çalışma öncesi, ÇS: Çalışma sonrası; Q: kuadriseps, H: hamstring ekst: ekstansiyon, flex: fleksiyon, izm: izometrik, kon: konsantrik, eks: eksantrik, kuvvet: kuvvetlendirme

İzometrik hamstring kas kuvvetinde; bir bütün olarak gruplar arasında ($F_{3,36}=4,8$; $p<0,05$; η^2 : 286), grup ayrımı yapılmadan zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=35,49$; $p<0,001$, η^2 : 0,496) ve grup*zaman etkileşiminde ($F_{3,36}=12,31$; $p<0,001$; η^2 : 0,509) anlamlı farklılık tespit edildi. Çalışma sonrası ölçümlerde TVV-Aerobik, TVV-kontrol ve Aerobik-kontrol grupları arasında anlamlı farklılık vardı ($p<0,005$). Tüm grupların ilk ve son ölçüm sonuçları arasında anlamlı değişim olduğu gözlemlendi ($p<0,05$). TVV egzersizlerinin izometrik hamstring kas kuvveti üzerine daha geniş düzeyde etki ettiği belirlendi ($p<0,001$; η^2 : 0,484).

Konsantrik kuadriseps kas kuvvetinde bir bütün olarak gruplar arasında ($F_{3,36}=3,53$; $p<0,05$; η^2 : 0,228), grup ayrımı yapılmaksızın zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=5,09$; $p<0,05$; η^2 : 0,124) ve grup*zaman etkileşiminde ($F_{3,36}=4,72$; $p<0,05$; η^2 : 282) anlamlı farklılık olduğu görüldü. Gruplar arası farklılıkların sebebinin çalışma sonrası egzersiz ve kontrol grupları arasındaki ikili karşılaştırmalar olduğu tespit edildi ($p<0,05$). TVV ve kuvvetlendirme egzersizlerinin grup içi ölçüm sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı değişim olduğu bulundu ($p<0,05$). TVV (η^2 : 0,192) ve kuvvetlendirme (η^2 : 0,153) egzersizleri konsantrik ekstansiyon kas kuvvetinde geniş düzeyde etki ortaya çıkardı.

Konsantrik hamstring kas kuvveti ölçümünde bir bütün olarak gruplar arasında ($F_{3,36}=7,07$; $p<0,05$; η^2 : 371), grup ayrımı yapılmadan zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=21,65$; $p<0,001$; η^2 : 0,376) ve grup*zaman etkileşiminde ($F_{3,36}=4,88$; $p<0,05$; η^2 : 0,289) anlamlı farklılık belirlendi. Grupların zamana göre etkileşiminde çalışma sonrası kontrol grubunun diğer gruplarla karşılaştırmalarında anlamlı farklılık saptandı ($p<0,05$). Birinci ve ikinci ölçümler arasında fark olan gruplar ise TVV ve kuvvetlendirme gruplarıydı ($p<0,05$). TVV (η^2 : 0,351) ve kuvvetlendirme (0,274) egzersiz programları konsantrik fleksiyon kas kuvveti bakımından geniş düzeyde etkiye sahipti.

Hamstring endurans ölçümünde bir bütün olarak gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı ($F_{3,36}=1,44$; $p>0,5$; η^2 : 199). Grup ayrımı olmaksızın zamanın temel etkisi anlamlıydı ($F_{1,36}=42,42$; $p<0,001$; η^2 : 0,541). Grupların zamana göre etkileşiminde anlamlı fark yoktu ($F_{3,36}=2,41$; $p>0,05$; 0,167). Alt grup analizlerinde ise çalışma sonrası değerlendirme sonuçlarına göre egzersiz ve kontrol grupları arasında anlamlı farklılık tespit edildi ($p<0,05$). Egzersiz gruplarının ilk ve son ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı değişim vardı ($p<0,05$). Tüm egzersiz grupları hamstring dayanıklılığı üzerine geniş düzeyde etki açığa çıkardı ($\eta^2>0,14$).

Kuadriseps endurans değerlendirmesinde bir bütün olarak gruplar arasında ($F_{3,36}=5,92$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,331$) ve grup farkı gözetmeksizin zamanın temel etkisinde anlamlı farklılık olduğu görüldü. Grup*zaman etkileşimi açısından genel etkilerde anlamlılık yoktu ($F_{3,36}=1,94$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,140$). Gruplar arasında çalışma sonrası analizlerde TVV-kuvvetlendirme, TVV-kontrol, aerobik-kontrol ve kuvvetlendirme-kontrol grupları arasında farklılık olduğu kaydedildi ($p<0,05$). Egzersiz gruplarının iki ölçümü arasında anlamlı değişim belirlendi ($p<0,05$). Çalışma gruplarının kuadriseps enduransı üzerine geniş düzeyde etkisi vardı ($\eta^2>0,14$).

Eksantrik kuadriseps kas kuvveti ortalamalarında bir bütün olarak gruplar arasında ($F_{3,36}=4,083$; $p:0,014$; $\eta^2:0,254$), grup ayrımı olmadan zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=12,510$; $p<0,001$; $\eta^2:0,258$) ve gruba göre zamanın etkileşiminde ($F_{3,36}=5,148$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,300$) anlamlı farklılık olduğu gözlendi. Çalışma sonrası ölçümlerde kontrol ve diğer grupların ikili karşılaştırmalarında anlamlı farklılık vardı ($p<0,05$). Egzersiz gruplarının birinci ve ikinci ölçümleri arasındaki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görüldü ($p<0,05$). Etki büyüklüğü değerleri incelendiğinde TVV egzersizlerinin eksantrik kuadriseps kas kuvveti üzerinde (~%18,8 artış ile) diğer uygulamalara göre geniş düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu belirlendi ($p<0,005$; $\eta^2: 0,263$).

Eksantrik hamstring kas kuvveti üzerine zamana bakılmaksızın gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($F_{3,36}=2,40$ - $p>0,05$ (0,167). Zamanın temel etkisi bakımından anlamlı fark vardı ($F_{1,36}=13,55$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,273$). Grup*zaman etkileşiminde hem grup içi hem de gruplar arasında farklılık saptandı ($F_{3,36}=3,95$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,248$). Çalışma sonrası kas kuvveti ortalamalarında koşu-kontrol grupları arasında farklılık varı ($p<0,05$). Bir ve ikinci ölçümleri arasında anlamlı fark olan gruplar TVV ve kuvvetlendirme gruplarıydı ($p<0,05$). TVV egzersiz eğitiminin eksantrik fleksiyon kas kuvveti üzerinde daha geniş etkisi olduğu gözlendi ($p<0,001$; $\eta^2: 0,307$).

Çizelge 4.6. Kas pasif sertliği grup içi ve gruplar arasında karşılaştırılması

Ölçüm	Grup	ÇÖ	ÇS	Yüzde Değişim	Grup	Zaman	Grup*Zaman
					F-p (η^2)	F-p (η^2)	F-p (η^2)
VMO(s)	TVV	19,37±11,13 ^x	21,36±7,25 ^x	10,27			
	Aerobik	19,05±6,54^y	26,91±8,78^y	41,28	1,94-0,139	5,49-0,025*	1,95-0,138
	Kuvvetlendirme	21,56±11,19 ^z	21,97±4,51 ^z	1,92	0,140	(0,132)	0,140
	Kontrol	17,59±9,05 ^t	16,09±5,09 ^{x,y}	-8,55			
RF(s)	TVV	21,39±9,34 ^x	24,56±7,33 ^x	14,82			
	Aerobik	23,30±14,29 ^y	26,02±8,33 ^y	11,71	0,269-0,847	6,77-0,013*	0,831-0,486
	Kuvvetlendirme	18,28±5,42^z	24,31±5,70^z	32,98	(0,022)	(0,158)	(0,065)
	Kontrol	22,38±9,48 ^t	21,38±4,73 ^t	-4,45			
BF(s)	TVV	22,38 ±10,14^x	36,50±12,67^x	63,15			
	Aerobik	33,86±26,07 ^y	33,49±11,78 ^y	-1,10	0,366-0,778	8,82-0,005*	1,20-0,321
	Kuvvetlendirme	25,44±8,62 ^z	34,85±14,38 ^z	36,98	(0,030)	(0,197)	(0,091)
	Kontrol	26,64±12,46 ^t	28,06±10,31 ^t	5,32			
SM(s)	TVV	25,75±10,26 ^x	29,94±12,61 ^x	16,29			
	Aerobik	30,34±14,35 ^y	33,45±11,29 ^z	10,25	1,05-0,381	7,05-0,012*	0,638-0,595
	Kuvvetlendirme	23,03±6,17^z	33,75±15,06^z	46,57	(0,081)	(0,164)	(0,050)
	Kontrol	21,81±11,23 ^t	26,53±11,80 ^t	21,68			
LGK(s)	TVV	17,72±8,67^x	26,74±9,75^x	50,92			
	Aerobik	25,81±15,61 ^y	35,74±22,89 ^y	38,48	1,23-0,312	14,59-0,001*	0,229-0,876
	Kuvvetlendirme	22,32±9,03 ^z	28,66±6,48 ^z	28,41	(0,093)	(0,288)	(0,019)
	Kontrol	18,90±10,84 ^t	23,33±6,86 ^t	23,40			
MGK(s)	TVV	18,21±10,12^x	31,39±12,52^x	72,39			
	Aerobik	22,61±10,09^y	33,17±20,43^y	46,68	0,150-0,929	12,66-0,001*	0,603-0,617
	Kuvvetlendirme	24,67±14,79 ^z	29,54±11,02 ^z	19,75	(0,012)	(0,260)	(0,048)
	Kontrol	24,00±12,15 ^t	30,36±13,48 ^t	26,51			

X: Ortalama Değer; SS: Standart Sapma; i; p: Anlamlılık düzeyi; η^2 : etki büyüklüğü; *: $p<0.05$ x, y,z,t: Sütundaki aynı harfler iki grup arasında anlamlı farkı belirtmektedir. Koyu karakterler iki ölçüm arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. ÇÖ: Çalışma öncesi, ÇS: Çalışma sonrası; VMO: Vastus medialis obliquus, RF: Rektus Femoris, SM: Semi Membranosus; BF: Biceps Femoris; LGK: Lateral Gastroknemius; MGK: Medial Gastroknemius, kont: kontraksiyon s: sertlik; TVV: Tüm vücut Vibrasyon Grubu; s: sertlik.

Grupların istirahat kas sertlik değerlerinin karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir. VMO kas sertliği parametresinde bir bütün olarak gruplar arasında farklılık yoktu ($F_{3,36}=1,94$ - $p>0,05$; η^2 : 0,140). Grup ayrımı yapılmaksızın zamanın temel etkisi anlamlıydı ($F_{1,36}=5,49$; $p<0,05$; η^2 : 0,132). Grup*zaman etkileşimi açısından genel etkilerde farklılık saptanmadı ($F_{3,36}=1,95$; $p>0,5$; η^2 : 0,140). Çalışma sonrası gruplar arası karşılaştırmalarda TVV-kontrol ve aerobik-kontrol grup ortalamaları arasındaki farklılıklar anlamlıydı

($p<0,05$). Çalışma öncesi ve sonrası ölçümler arasında sadece koşu grubunda anlamlı değişim vardı ($p<0,05$). Koşu temelli aerobik egzersizler VMO kas sertliğinde geniş düzeyde etkiye sahipti ($\eta^2=0,196$).

RF kası istirahat sertlik ölçümünde bir bütün olarak gruplar arası fark gözlenmedi ($F_{3,36}=0,269$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,022$) ancak zamanın temel etkisi anlamlıydı ($F_{1,36}=8,82$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,197$). Sadece kuvvetlendirme grubunda bir ve ikinci ölçümler arasında anlamlı farklılık olduğu görüldü ($p<0,05$). Grup*zaman etkileşiminde gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı tespit edildi ($F_{3,36}=0,831$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,065$). Kuvvetlendirme egzersizleri RF kas sertliği üzerinde (~%32,98 artışla) diğer gruplara göre daha geniş düzeyde etki gösterdi ($\eta^2: 0,125$).

BF kas sertliği ölçümünde zamana bakılmaksızın gruplar arasında anlamlı fark yoktu ($F_{3,36}=0,366$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,030$). Grup ayrımı olmadan zamanın temel etkisi incelendiğinde anlamlı farklılık belirlendi ($F_{1,36}=8,82$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,197$). Grup*zaman etkileşiminde anlamlı farklılık yoktu ($F_{3,36}=0,20$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,091$). TVV egzersiz eğitimi grup içi ölçümlerde anlamlı değişim ortaya çıkararak BF kas sertliğinde geniş düzeyde etki oluşturdu ($p<0,05$; $\eta^2: 0,197$).

SM kas sertliği ortalamalarında gruplar arasında fark bulunmadı ($F_{3,36}=1,05$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,081$). Zamanın temel etkisi kas sertliğini anlamlı derecede artırdı ($F_{1,36}=7,05$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,164$). Kuvvetlendirme grubunda bir ve ikinci ölçümler arasındaki fark anlamlıydı ($p<0,05$). Grup*zaman etkileşiminde gruplar arasında farklılık yoktu ($F_{3,36}=0,638$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,050$). Kuvvetlendirme egzersizleri SM kas sertliği üzerine geniş düzeyde etki gösterdi ($\eta^2: 0,148$).

LGK kası istirahat sertliği değerlerinde bir bütün olarak gruplar arasında anlamlı farklılık yoktu ($F_{3,36}=1,23$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,093$). Grup ayrımı olmaksızın zamanın temel etkisinde anlamlı fark bulundu ($F_{1,36}=14,59$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,288$). Grup*zaman etkileşiminde anlamlı fark yoktu ($F_{3,36}=0,052$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,004$) ancak TVV grubunda bir ve ikinci ölçümler arasında anlamlı farklılık tespit edildi ($p<0,05$). TVV egzersizlerinin LGK kas sertliği bakımından diğer gruplara göre daha geniş düzeyde etki ettiği saptandı ($\eta^2: 0,159$).

MGK kas sertliği ölçümlerinde gruplar arasında anlamlı fark gözlenmedi ($F_{3,36}=0,150$; $p>0,5$; $\eta^2: 0,012$). Zamanın temel etkisi ise anlamlıydı ($F_{1,36}=12,66$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,260$).

Grupların zamana göre etkileşiminde gruplar arasında anlamlı fark yoktu ($F_{3,36}=0,603$; $p>0,05$; η^2 : 0,048). TVV ve aerobik egzersiz gruplarının ilk ve son ölçüm sonuçları arasında anlamlı değişim saptandı ($p<0,05$). TVV egzersizleri MGK kas sertliği üzerinde diğer gruplara göre daha geniş etki büyüklüğüne sahipti (η^2 : 0,167).

Çizelge 4.7. Grupların istirahat kas kalınlık değerlerinin grup içi ve gruplar arası karşılaştırılması

Ölçüm	Grup	ÇÖ	ÇS	Yüzde Değişim	Grup	Zaman	Grup*Zaman
					F-p (η^2)	F-p (η^2)	F-p (η^2)
VMO(k)	TVV	23,51±2,21 ^x	24,53±1,83 ^x	4,34			
	Aerobik	22,91±4,98^y	26,94±5,50^y	17,60	0,219-0,882 (0,018)	8,73-0,045* (0,195)	2,31-0,092 (0,162)
	Kuvvetlendirme	21,84±4,97^z	26,69±4,26^z	22,19			
	Kontrol	23,93±5,31 ^t	23,58±3,08 ^t	-1,46			
RF(k)	TVV	28,22±2,61 ^x	31,15± 3,80 ^x	10,40			
	Aerobik	32,29±5,84 ^y	35,07± 4,94 ^y	8,61	2,53-0,72 (0,174)	7,51-0,009* (0,173)	0,865-0,468 (0,067)
	Kuvvetlendirme	30,21±3,38 ^z	32,89± 3,89 ^z	8,88			
	Kontrol	29,06±7,48 ^t	29,02± 4,66 ^t	-0,11			
BF(k)	TVV	32,41±2,77^x	35,91±4,30^x	10,77			
	Aerobik	39,10±5,80 ^y	37,80±3,17 ^z	-3,34	2,28-0,096 (0,160)	0,355-0,555 (0,010)	1,654-0,194 0,121
	Kuvvetlendirme	35,78±3,70 ^z	36,62±4,80 ^z	2,35			
	Kontrol	36,61±7,18 ^t	35,06±4,87 ^t	-4,22			
SM(k)	TVV	43,31±4,48 ^x	47,23±3,71 ^x	9,04			
	Aerobik	46,04± 10,21^y	55,97±7,30^{x,y}	21,57	3,15-0,037* 0,208	14,26-0,001* (0,284)	2,30-0,093 (0,161)
	Kuvvetlendirme	47,05±8,18 ^z	51,34±4,27 ^z	9,12			
	Kontrol	43,82±6,32 ^t	44,61±8,43 ^t	1,80			
LGK(k)	TVV	16,80±2,50 ^x	18,19±1,20 ^x	8,28			
	Aerobik	19,00±2,76^y	23,84±7,63^{x,y}	25,43	1,63-0,198 (0,120)	18,16-<0,001* (0,335)	0,559-0,646 (0,044)
	Kuvvetlendirme	18,32±4,04^z	20,76±3,38^z	13,32			
	Kontrol	18,05±3,64 ^t	21,34±10,18 ^t	18,20			
MGK(k)	TVV	41,42±5,43 ^x	42,18± 5,22 ^x	1,84			
	Aerobik	39,06±8,74 ^y	42,02±10,66 ^{x,y}	7,57	1,10-0,360 (0,084)	1,79-0,189 ,047	0,162-0,921 (0,013)
	Kuvvetlendirme	37,31±9,86 ^z	38,40±7,29 ^z	2,93			
	Kontrol	36,08±6,49 ^t	37,68±7,40 ^t	4,43			

X: Ortalama Değer; SS: Standart Sapma; i; p: Anlamlılık düzeyi; η^2 : etki büyüklüğü; *: $p<0,05$ x, y, z, t: Sütündeki aynı harfler iki grup arasında anlamlı farkı belirtmektedir. Koyu karakterler iki ölçüm arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. ÇÖ: Çalışma öncesi, ÇS: Çalışma sonrası; VMO: Vastus medialis obliquus, RF: Rektus Femoris, SM: Semi Membranosus, BF: Biceps Femoris; LGK: Lateral Gastrocnemius; MGK: Medial Gastrocnemius, kont: kontraksiyon k: kalınlık; TVV: Tüm Vücut Vibrasyon Grubu; k: kalınlık

Grupların istirahat kas kalınlık değerlerinin grup içi ve gruplar arası karşılaştırılması Çizelge 4.7'de yer almaktadır. VMO kası istirahat kas kalınlığı ölçümlerinde gruplar arasında anlamlı fark bulunmadı ($F_{3,36}=0,219$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,018$). Grup ayrımı yapılmaksızın zamanın temel etkisinin anlamlı olduğu belirlendi ($F_{1,36}=8,73$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,195$). Grup*zaman etkileşiminde gruplar arasında anlamlı farklılık yoktu ($F_{3,36}=2,31-0,092$; $\eta^2: 0,162$). Aerobik ve kuvvetlendirme gruplarının bir ve ikinci ölçümleri arasında anlamlı fark olduğu tespit edildi ($p<0,05$). Kuvvetlendirme egzersizlerinin VMO kas kalınlığı üzerinde geniş düzeyde etkisi olduğu saptandı ($\eta^2: 0,200$).

RF kas kalınlığı ortalamalarında bir bütün olarak gruplar arasında anlamlı fark olmadığı görüldü ($F_{3,36}=2,53$; $P>0,5$; $\eta^2: 0,174$). Zamanın temel etkisi bakımından anlamlı fark vardı ($F_{1,36}=7,51$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,173$). Grupların zamana göre etkileşiminde gruplar arasında ve grup içi değerlendirmede anlamlı fark gözlenmedi ($F_{3,36}=0,865$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,067$). TVV egzersizleri RF kas kalınlığı üzerine daha geniş düzeyde etki gösterdi ($\eta^2: 0,093$).

BF kas kalınlığı değerlerinde gruplar arasında $F_{3,36}=2,28$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,160$), zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=0,355$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,010$) ve grup*zaman etkileşiminde ($F_{3,36}=1,654$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,121$) anlamlı fark olmadığı görüldü. TVV grubunda bir ve ikinci ölçümler arasında anlamlı fark vardı ($p<0,05$). TVV egzersizleri BF kas kalınlığı parametresinde diğer gruplara göre daha geniş etki büyüklüğü gösterdi ($\eta^2: 0,106$).

SM kası kalınlık ölçümleri gruplar arası değerlendirmede ($F_{3,36}=3,15$; $p>0,037^* 0,208$) ve zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=14,26$; $p<0,05$; $\eta^2: 0,284$) anlamlı fark olduğu belirlendi. Grup*zaman etkileşiminde anlamlı fark yoktu ($F_{3,36}=2,30$; $p>0,05$; $\eta^2: 0,161$). Çalışma sonrası aerobik-TVV, aerobik-kontrol ve kuvvetlendirme-kontrol grupları arasında anlamlı farklılık vardı ($p<0,05$). Aerobik egzersiz grubunun ilk ve ikinci ölçümleri arasında anlamlı değişim tespit edildi ($p<0,05$). Aerobik egzersiz programının SM kas kalınlığı üzerinde geniş düzeyde etkisi vardı ($\eta^2: 0,304$).

LGK kas kalınlığında bir bütün olarak gruplar arasında anlamlı fark bulunmadı ($1,63-0,198$ ($0,120$)). Zamanın temel etkisi incelendiğinde değişim anlamlı olarak kaydedildi ($18,16<0,001^* (0,335)$). Aerobik ve kuvvetlendirme grupları çalışma öncesine göre anlamlı değişim gösteren gruplardı ($p<0,05$). Grupların zamana göre etkileşiminde çalışma sonrası karşılaştırmalarda TVV-aerobik egzersiz grupları arasında fark olduğu görüldü ($p<0,05$).

LGK kas kalınlığında aerobik egzersiz programı geniş düzeyde (η^2 : 0,218), kuvvetlendirme egzersizleri orta düzeyde (0,108) etki gösterdi.

MGK kas kalınlığı ortalamalarında gruplar arasında ($F_{3,36}=1,10$; $p>0,5$; η^2 : 0,084) zamanın temel etkisinde ($F_{1,36}=1,79$; $p>0,5$; η^2 : 0,047) ve grupların zamana göre etkileşiminde ($F_{3,36}=0,162$; $p>0,5$; η^2 : 0,013) anlamlı fark olmadığı saptandı.

5. TARTIŞMA

Egzersiz yaklaşımları klinik ve sağlıklı popülasyonda fonksiyonel durumun geliştirilmesinde, rehabilitasyonda, performansın artırılmasında ve yaralanmaları önleme programlarında kullanılmaktadır. Kasların sertlik, kalınlık, tonus ve elastisite gibi mekanik özellikleri egzersizler ile değişim göstererek dokuların deformasyon kuvvetlerine karşı geliştirdiği adaptasyonların da etkisiyle optimal performansın veya yaralanmalara yatkınlığın belirleyicisi olabilirler. Literatürde germe ve dirençli eğitim programları daha yoğun araştırılmasına rağmen farklı egzersizlerin kas dokuya mekanik etkileri ve bu etkilerin klinik anlamlılığı halen tartışmalıdır. Bu nedenlerle planlanan bu çalışmada farklı egzersiz yaklaşımlarının (TVV, kuvvetlendirme ve aerobik) alt ekstremitte kaslarında ortaya çıkardığı mekanik adaptasyonlar incelendi. Pasif mekanik özelliklerdeki adaptasyonlarla birlikte alt ekstremitte kas kuvveti ile sıçrama ve denge performans parametrelerindeki değişimler araştırıldı.

Dört haftalık süreçte egzersiz yaklaşımlarının kasın pasif sertlik ve kalınlık değerlerine farklı düzeyde etki ettiği görüldü. Kuvvetlendirme ve TVV egzersizleri kuadriseps ve hamstring kas gruplarının pasif sertliğine daha geniş düzeyde etki ederken, MGK ve LGK sertliğinin TVV ve aerobik egzersiz programlarıyla daha büyük değişime neden olduğu tespit edildi. 4 haftalık egzersiz programı sonunda kas kalınlığı belli kas gruplarında artış gösterirken, genel olarak bu sürede egzersizlerin kas kalınlığına düşük düzeyde etki ettiği belirlendi. TVV egzersizlerinin RF ve BF; kuvvetlendirme egzersizlerinin VMO ve LGK; aerobik egzersizlerin VMO, SM ve LGK kas kalınlıklarında anlamlı gelişme sağladığı görüldü. Çalışma programı sonunda egzersizlerin kasın pasif mekanik özelliklerinde değişiklik oluşturabileceği gözlemlendi. Bu doğrultuda aktiviteye özgü pasif mekanik kas yapısında değişim uygun egzersiz seçimiyle mümkün olabilir. Klinik ve atletik popülasyonda kasın pasif mekanik özellikleri kuvvet ve performansa etki eden parametreler arasında düşünülebilir. Egzersiz gruplarında denge, yatay ve dikey sıçrama ölçümlerinde anlamlı gelişim kaydedildi. Bununla birlikte TVV egzersizlerinin denge ve sıçrama performansı üzerine daha geniş düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu tespit edildi. Egzersiz sonrası izokinetik cihazla gerçekleştirilen kuvvet ölçümlerinde tüm gruplarda anlamlı gelişmeler ortaya çıktı. TVV egzersizlerinin izometrik, konsantrik ve eksantrik kuvvet değerlerinde daha geniş düzeyde etki büyüklüğü oluşturduğu belirlendi.

5.1. Egzersizlerin Kasın Pasif Mekanik Özelliklerine Etkileri

Alt ekstremite kas sertliği birçok spor branşında koşma, sıçrama ve yön değiştirme gibi aktivitelerin geliştirilmesinde kilit rol oynamaktadır. Kas sertliği atletik performansı etkileyebileceği gibi yaralanma riski üzerine de etki edebilir. Kasılma gerilme döngüsü içeren aktivitelerde elastik enerjinin etkili bir şekilde depolanması ve yeniden kullanılabilmesi için belirli düzeyde alt ekstremite kaslarının sertliği gereklidir. Daha fazla kassal sertlik özelliğine sahip bir sporcu daha fazla elastik enerji depolayabilmesi sayesinde, itme fazı sırasında daha fazla konsantrik kuvvet çıkışı oluşturarak koşu hızı ve sıçrama yüksekliğinde artış sağlayabilir [70]. Çalışmamızda uyguladığımız egzersiz yaklaşımları kas sertliği üzerine farklı etkiler oluşturmuştur. Bu yaklaşımlar içerisinde TVV programı ile VMO, BF, LGK ve MGK kaslarında sertlikte anlamlı artış olduğu gözlenmiştir. Kuvvetlendirme egzersizleri ile RF, BF ve SM kaslarında; aerobik egzersiz programı sonunda ise VMO, LGK ve MGK kas sertliklerinde anlamlı artış kaydedilmiştir. Dirençli egzersiz yaklaşımlarının sonucu olarak kas sertliğindeki artış önceki çalışmaları destekler niteliktedir [60,100,101].

Mannarino ve ark. sedanter erkek bireyleri 8 hafta (haftada 2) boyunca toplamda 16 seans olacak şekilde dirençli egzersiz programı ile takip etmişler. Çalışma sonunda vastus lateralis kas sertliğinde artış kaydedilirken, patellar tendon sertliğinde değişim olmadığı belirtilmiştir [60]. Fowles ve ark. ise TVV programının kas sertliğinde değişiklik oluşturabileceğini ancak kullanılan frekans ve amplitüd değerlerinin etkili olduğu vurgulanmıştır. Nitekim yaptıkları derleme çalışmasında 2mm amplitüd ve 25-40Hz frekansta uygulama yapıldığında kas sertliğinde artış olabileceği belirtilmiştir [51]. Biz de çalışmamızda 30-45 Hz frekans ve 2mm amplitüdle uygulanan dört haftalık TVV programının kas sertliğinde artışa neden olabileceğini tespit ettik.

Santos ve ark. çalışmasında sağlıklı bireylere uyguladıkları 15 haftalık konsantrik ve eksantrik kuvvetlendirme programları ile kas sertliğinde artış sağlandığı saptanmıştır. Buna ek olarak kuvvetlendirme programlarındaki kasılma tipi farklılıklarının sertlikteki değişime etki etmediği belirtilmiştir [100]. Uysal ve ark. ise hamstring eğitim metodlarının hamstring ve kuadriseps kaslarının viskoelastik özelliklerine etkilerini araştırmışlar. Çalışmada katılımcılar iki gruba ayrılarak konsantrik ve eksantrik egzersiz paternleri ile tedricen artırılan egzersiz yoğunluklarında 8 hafta süresince takip edilmiştir. Araştırmacılar

konsantrik çalışmayla birlikte kas sertliğinde artış; eksantrik program ile takip edilen kişilerde ise kas sertliğinde azalmaya ek olarak elastisite değerlerinde artış olduğunu saptamışlar. Bununla birlikte kas kasılma tipine bakılmaksızın egzersiz programlarının performansta artış sağlayabileceği belirtilmiştir [61]. Dirençli egzersizlerin kas ve tendonlarda sertlik özellikleri üzerine etkileri konusunda farklı görüşler olsa da günlük yaşamda ve sportif aktivitelerde optimal kas sertliğinin gerekli olduğu bilinmektedir. Çalışmamızda uyguladığımız egzersiz programlarının kas sertliğinde değişiklik yaratması sonucu, sportif performans artışına katkı sağlayabilecek yaklaşımlar olarak düşünülebilir.

Alt ekstremitte kaslarında mevcut sertliğin optimal atletik performans için öneminin yanı sıra çok yüksek kas sertliğinin yaralanma insidansında artışa yol açabileceğini gösteren kanıtlar da vardır [102]. Literatürde bu konudaki çalışma sayısının azlığı nedeniyle alt ekstremitte sertliği ve yaralanma arasında doğrudan bir ilişkiden bahsetmek zordur. Bununla birlikte aşırı artmış kas sertliği eklem hareketinde azalma, artmış yer reaksiyon kuvveti ve pik kuvvetlerle ilişkilendirilir. Çok düşük düzeydeki sertliğin ise aşırı eklem hareketine yol açtığı ve stabilizasyon problemlerine neden olduğu bulunmuştur [12,30]. Kas sertliğinin tersi elastik özelliklerin artması durumu kompiyans olarak tanımlanır. Elastikiyeti yüksek bir dokuya küçük bir kuvvet uygulandığında bile deforme olabilir. Brugelli ve Conin, yüksek kompiyansın gerilme kasılma döngüsü sırasında elastik enerjinin depolanmasını ve kullanımını artıracaklarını ileri sürmektedir [103]. Eksantrik yüklenme aşırı sınırlara ulaştığında takip eden konsantrik kasılmayla kuvvet veya enerjide artış beklenir. Kompiyansın yüksek olduğu durumlarda hareket döngüsünde potansiyel kuvvet ve enerji aktarımının azaldığı gözlenir. Bunun nedeni olarak da gerilme kasılma döngüsü sırasında artmış kompiyansın da etkisiyle amortizasyon aşamasında çok fazla zaman harcanması olarak görülmektedir. Bu nedenle egzersiz seçiminde hangi doku ve yapıların potansiyel olarak daha fazla sertlik gereksinim duyduğu ve hangilerinin daha fazla kompiyanstan fayda sağladığını dikkate almak önemlidir.

Kros kayakçılar ve triatlon sporcularında daha düşük kas tonusu varlığı gözlenirken [4] artmış kas sertliğinin futbolcularda atletik performansa katkı sağladığı bilinmektedir [7]. Uzun mesafe koşucularında ‘koşu ekonomisi’ nin adım uzunluğu, hızı, zemin temas süresi, alt ekstremitte kinematiği, daha düşük vertikal salınım ve daha yüksek alt ekstremitte sertliği ile olumlu yönde değiştirilebilir bir parametre olduğu belirtilmiştir [104]. Bununla birlikte ortalama kas sertliğindeki artışın koşucularda yaralanmaya zemin hazırladığı konusunda

görüşler de mevcuttur [8]. Bir başka çalışmada ise ön çapraz bağ tamiri sonrası VMO pasif sertliğinde azalma olduğu ve bu azalmayla birlikte zayıf kuadriseps ve diz fonksiyonu tespit edilmiştir. Araştırmada rehabilitasyon sürecinde kas sertliği modülasyonunun diz fonksiyonunda gelişmeye etkisinin araştırılması gerektiği vurgulanmıştır [105]. Spora ve aktiviteye özgü optimal kas sertliği değerlerinin olmaması uygun egzersiz ve antrenman programının belirlenmesinde sorun teşkil etmektedir. Bu noktada spora özgü optimal kas mekanik özellikleri belirlenerek kas mekaniğine etki edebilen TVV, kuvvetlendirme ve aerobik egzersiz programlarının çalışma programlarına entegre edilmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Çalışmamızda katılımcılara uyguladığımız program sonunda TVV egzersizleri ile RF ve BF kaslarında, koşu grubunda SM ve LGK kaslarında, kuvvetlendirme egzersizleri ile de VMO ve LGK kaslarında anlamlı kalınlık artışı ortaya çıkarmıştır. Kas kalınlığı fonksiyonel duruma ve performansa etki eden parametrelerden biridir. Ultrason ile yapılan kas kalınlığı ölçümlerinin kas fonksiyonu ve kuvvet üretim kapasitesi hakkında bilgiler sağlayabilir [106,107]. Timmins ve ark. kasın mimari yapısının egzersize uyumunu araştırdıkları derlemede 3 ile 18 hafta aralığında değişen sürelerde çeşitli egzersiz programlarıyla takip edilen katılımcılarda vastus lateralis ve gastrokinemius kaslarında ortalama %6-14 seviyelerinde artış sağlandığı kaydedilmiştir [108]. Çalışmamızda da egzersizlerle birlikte benzer şekilde artış gözlenirken tüm kas gruplarında anlamlı artış olmaması kas kalınlığında değişim oluşturabilmek için 4 haftalık sürenin yeterli olmadığını düşündürdü. Bununla birlikte seçilen egzersiz programının belli kas grubunda daha etkin olması farklı etkilerin sebepleri arasında gösterilebilir. Diğer yandan kalınlık artışı sağlanmadan performans ve kuvvet parametrelerindeki artışın sadece mekanik özelliklere bağlı olmadığını gösterdi. Nitekim birçok çalışmada fasikül uzunluğu ve pennasyon açısı gibi kasın mimari özelliklerinin de kuvvet, performans ve yaralanma riskinin belirleyicileri arasında yer aldığı vurgulanmıştır [61,108,109]. Gelecek çalışmalarda kas mimarisi ve mekanik özelliklerin bir arada değerlendirilmesi egzersizlerin etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Spor kategorisine göre kas yapısı ve anaerobik kuvvet karşılaştırmalarında farklılıklar olduğu bilinmektedir. Daha detaylı değerlendirmede maksimum güce ulaşmada ve ortalama gücün açığa çıkarılmasında spor branşına göre farklı kasların ve yapısal özelliklerinin ön plana çıktığı gösterilmiştir. Lee ve ark. çalışmasında boksörlerde MGK ve RF, judo sporcularında MGK ve LGK, güreşçilerde VM, tekvando sporcularında RF ve MGK,

futbolcularda ise vastus lateralis ve MGK kaslarının maksimum güç ve ortalama gücün uygulanmasında temel kaslar oldukları belirtilmiştir [110]. Bu noktada spor branşına göre egzersiz programının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Çalışmamızda yer alan egzersiz programlarının kas kalınlığı bakımından farklı etkiler açığa çıkarılmıştır. Bu bağlamda çalışmamızın sonuçları spor branşının doğası gereği performansa katkı sağlayan hedef kas grubunun kalınlığına müdahale edebilecek egzersizlerin seçilebilmesine olanak sunmaktadır.

5.2. Egzersizlerin Kas Kuvveti ve Enduransa Etkileri

Kas kuvvet gelişimi çeşitli morfolojik ve nöral faktörlerden, genetik yapıdan, aktivite düzeyi ve egzersiz planlamalarından etkilenmektedir [111,112]. Tez çalışmamızda 4 haftalık çalışma sonunda izometrik, konsantrik ve eksantrik kas kuvvet ölçümlerinde TVV ve kuvvetlendirme gruplarında anlamlı gelişme sağlanırken TVV programının daha geniş düzeyde etki ettiğini saptadık. İzometrik ve konsantrik hamstring kas kuvveti değerlerinin başlangıç değerlerindeki farklılıktan dolayı egzersizle ortaya çıkan değişimler çalışma sonrası gruplar arası karşılaştırma sonuçlarında anlamlı sonuç olmamasının sebebi olabilir. Dirençli egzersizlerin kas kuvveti ve performans üzerine olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Elastik bantlarla yapılan dirençli çalışmalar antrenman içerisinde ve spor yaralanmaları sonrası rehabilitasyonu desteklemek amacıyla kullanılabilir. Bununla birlikte kuvvetlendirme egzersizleri nörolojik rehabilitasyon sürecinde ve geriatrik popülasyonda kuvvet kazanımı sağlanmasında tercih edilebilen egzersiz yaklaşımları arasındadır [113-115].

Endurans günlük yaşam aktivitelerini etkilediği gibi sportif aktivitelerde performansa etki eden parametreler arasında yer alır. Bu çalışmada 4 haftalık egzersizlerle birlikte kuadriseps ve hamstring enduransında artış olduğu belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan egzersizler arasında TVV egzersizlerinin kuadriseps ve hamstring dayanıklılığı üzerine daha büyük etkiye sahip olduğu saptanmıştır

TVV standart egzersiz yaklaşımlarına alternatif olabilecek kuvvet ve performansa olumlu etkileri olduğu belirlenen bir egzersiz yaklaşımı olarak karşımıza çıkmaktadır [116]. TVV egzersizlerinin izole olarak veya diğer yaklaşımlarla kombine şekilde uygulanmasının konvansiyonel egzersizlere kıyasla ek kazanımlar sağladığı belirtilse de çalışma

protokollerindeki farklılıklar, çalışma tasarımı, uygulama yapılan katılımcı profili ve optimal uygulama dozu hakkında fikir birliğinin olmaması gibi nedenlerle vibrasyon egzersizlerinin etkinliği halen tartışma konusudur [117]. Nitekim TVV'nin kas kuvveti, güç ve motor kontrol adaptasyonunu geliştirdiğine dair kanıtlar mevcutken TVV'ye bağlı ek performans katkısı olmadığını ileri süren çalışmalar da mevcuttur [117-119]. Çalışmamızdaki veriler ışığında TVV'nin kas kuvveti ve performans üzerine olumlu katkılar sağlayan bir egzersiz yaklaşımı olduğu söylenebilir. Kovacevic ve ark. genç basketbolcularda 4 haftalık TVV ve konvansiyonel dirençli egzersizlerin kuvvet, sıçrama ve sprint performansı üzerine etkilerini araştırmışlar. Haftada 3 toplamda 12 çalışma seansı sonunda vibrasyon platformu temelli dirençli çalışmalarla konvansiyonel yaklaşıma oranla kas kuvveti ve güç parametrelerinde daha yüksek kazanımlar elde edildiği saptanmıştır [120]. Esmealizadeh ve ark. sağlıklı bireyleri 8 haftalık program dahilinde iki farklı vibrasyon frekansında çalıştırarak (30Hz ve 50Hz) diz ekstansör kas kuvvetindeki değişimi incelemişler. Çalışma sonunda 30Hz frekansla uygulanan TVV egzersizlerinin izometrik ve dinamik diz ekstansör kas kuvvetinde daha fazla gelişim ortaya çıkardığı kaydedilmiştir [121]. Yeung ve ark. çalışmalarında 5 haftalık yüksek frekans ve düşük amplitüd TVV egzersizleriyle izokinetik diz ekstansör pik tork değerlerinde anlamlı gelişme sağlanabileceğini bildirmiştir [122]. Çalışmamızda 4 haftalık TVV egzersizleri uygulanmasına rağmen benzer etkilerin elde edilmesi egzersizlerle birlikte agonist kasların maksimum düzeyde aktivitesiyle birlikte antagonist kasların minimal aktivasyonu ve stabilizatör kaslardan uygun desteğin sağlanmasıyla açıklanabilir. Antrene olmayan kaslardaki inhibisyon, egzersiz uygulamalarıyla birlikte yerini elektromiyografik olarak da gözlenebilen aktif duruma bırakır [123].

Osawa ve ark. antrene olmayan yetişkin bireylerde TVV egzersizlerinin dirençli egzersizlere katkılarını incelemişler. Çalışmada dirençli egzersizlere ek olarak 7 hafta boyunca haftada iki uygulanan TVV egzersizlerinin konsantrik ve izometrik diz kas kuvvetini artırdığı gibi TVV'nin dayanıklılık üzerine de olumlu etki ettiği vurgulanmıştır [124]. Bir başka çalışmada dirençli bant ile uygulanan 9 haftalık kuvvetlendirme egzersizlerinin üst ekstremité kuvvet ve enduransında artış sağladığı kaydedilmiştir [125]. Literatürde düzenli egzersizle birlikte kas dayanıklılığının artış gösterdiği çok sayıda çalışmada vurgulanmıştır [126,127]. Bu tez çalışması kapsamında uygulanan egzersiz programları önceki çalışmaları destekler nitelikte enduransta artışa yol açmıştır. TVV egzersizlerinin ise kuadriseps ve hamstring kas enduransına daha büyük düzeyde etki ettiği belirlenmiştir. Bu bağlamda TVV

egzersizlerinin kuvvet ve dayanıklılık üzerine etkileri göz önüne alınarak antrenman programları içerisine entegre edilebilir.

5.3. Egzersizlerin Denge ve Sıçrama Performansına Etkileri

Denge; klinikte rehabilitasyon sürecine ve atletik performans gelişimine etki eden önemli bir parametredir. Denge problemleri nörolojik bozukluğu olan bireylerde sıklıkla düşmeye yol açarak daha başka klinik problemleri beraberinde getirmektedir [128]. Bununla birlikte denge birçok spor dalında performansı sınırlayan faktörlerden biridir. Atıcılık ve okçuluk gibi branşlarda statik denge önemliyken snowboard, rüzgâr sörfü, kayak, bisiklet ve serbest stil spor dallarında dinamik denge performansta önemli rol oynar [129]. Bu doğrultuda rehabilitasyon ve antrenman programlarına spesifik denge çalışma eğitimleri entegre edilirken çalışma programlarını oluşturan egzersizler de dengeye etki etmektedir. Çalışmamızda farklı karakterdeki egzersiz yaklaşımlarının dengeyi geliştirdiğini gözlemledik. Dört haftalık aerobik, dirençli ve vibrasyon çalışmalarının anlamlı gelişmeler sağladığı gözlenmiştir. Çalışma sonunda egzersizlerin dengeye etkisi literatürle uyumluydu [130-132]. Ek olarak çalışmamızda TVV egzersiz programının denge üzerinde daha geniş düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğunu saptadık. Vibrasyon platformu kas tendon kompleksi boyunca hızlı bir şekilde akut değişiklikler oluşturarak tonik vibrasyon refleksini açığa çıkarabilecek kas içciklerinin uyarılmasını sağlar. α ve γ motor nöronların uyarılabilirliğindeki değişime ve motor birimler arası artan senkronizasyon TVV nin olumlu etkilerinin sebepleri arasında gösterilebilir [133].

Jeong ve ark. futbolcularda TVV egzersizlerinin farklı egzersiz yaklaşımlarına göre alt ekstremitte kas aktivitesi ve denge yeteneği üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla çalışmalarında 6 haftalık egzersiz programı belirlenmiş. Katılımcılar haftada 3 gün ortalama 30 dakikalık egzersizlerle takip edilerek 6 hafta sonunda denge ve kas aktivasyon düzeyleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda tibialis anterior, gastrokinemius ve peronous longus kas aktivasyonu ve denge performansı bakımından TVV egzersizlerinin daha etkili olduğu belirtilmiştir [134]. Spiliopoulou ve ark. ise vibrasyon eğitimi ve konvansiyonel kuvvetlendirme programlarının denge ve kuvvet üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 12 haftalık (haftada 3) program uygulamışlar. Kuvvet gelişimi iki grupta da benzer şekilde olurken statik denge performansının vibrasyon eğitimi verilen grupta daha yüksek olduğu kaydedilmiştir [135]. Atletik popülasyonun yanı sıra nörolojik hastalığa sahip

klirik popülasyonda da TVV egzersizlerinin dengeye olumlu katkıları olduğu bilinmektedir. Ancak vibrasyon çalışmalarında optimum frekans, genlik ve çalışma süresi hakkında net veriler olmaması etkinliği konusunda çelişkili görüşleri de beraberinde getirmektedir [136,137]. Çalışmamızın sonuçları ise TVV programının denge performans gelişimine katkı sağlayan, klinik ve atletik popülasyonda tercih edilebilir bir egzersiz seçeneği olduğunu desteklemektedir.

Sıçrama; voleybol, basketbol ve kayakla atlama gibi çeşitli spor dallarında yüksek performans elde etmek için alt ve üst ekstremitelerin karmaşık motor koordinasyonunu gerektiren temel hareket becerisidir [138]. Yatay ve dikey sıçrama performansı kuvvet ve atletik performansın göstergesi olarak kullanılmaktadır [139]. Sıçrama performansı sportif başarıya etki edeceği gibi yaralanma sonrası spora ve/veya aktiviteye dönüşte kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda egzersiz programlarının yatay ve dikey sıçramaya etkilerini incelediğimiz çalışmamızda tüm egzersiz yaklaşımlarının sıçramayı anlamlı şekilde geliştirdiği gözlendi. Egzersiz yaklaşımları arasında TVV programının yatay ve dikey sıçrama ölçümlerinde daha geniş düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğunu saptadık. Literatürde de bulgularımızı destekler kanıtlar mevcuttur [140].  nceki alışmalarda TVV egzersizlerinin geleneksel çalışma programlarıyla karşılaştırıldığı durumlarda sıçramaya daha fazla katkı sağladığı belirtilmiştir. Hawkey ve ark. kalecilerde sezon içerisinde vertikal sıçrama performansını artırmak amacıyla 5 hafta boyunca TVV egzersizleri (2mm/40-55Hz) kullanmışlar. Egzersiz pozisyonu olarak kalecilerin standart bekleme pozisyonu olan mini squat ve hafif gövde fleksiyonu protokol dahilinde uygulanmıştır. 5 haftalık çalışma sonunda TVV programı ile sezon devam ederken sıçrama performansının artırılabilceği gösterilmiştir [141]. Bir başka çalışmada voleybol sporcuları 6 hafta süresince geleneksel kuvvetlendirme eğitimi ve TVV (1.7-2.5mm, 30-40Hz) egzersizleri ile takip edilmişler. TVV egzersizlerinin dikey sıçrama ve kuvvet ölçümlerinde geleneksel kuvvetlendirmeye göre daha anlamlı gelişme sağladığı kaydedilmiştir. Araştırmada TVV egzersizlerinin voleybol sporcularında kuvvet ve sıçrama performansını geliştirmek için standart egzersiz programlarına entegre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [142]. Wyon ve ark. ise çalışmalarında 6 haftalık vibrasyon (35Hz, 4mm) alışmasının dansılarda dikey sıçrama yüksekliğini artırabileceğini göstermiştir. Araştırmada haftada 2 gün toplamda 10 dakikalık TVV çalışmasının sıçrama performansını devam ettirmek için bir seçenek olarak düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır [143].

5.4. Çalışmanın Güçlü Yanları

- Literatürde farklı egzersiz yaklaşımlarının kasın pasif mekanik özelliklerine etkilerini aynı araştırmada inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle yapılan bu araştırma özgün ve literatürde bu yönde açığı tamamlayacak niteliktedir.
- Çalışmanın bir diğer güçlü yanı da değerlendirmede kullanılan geçerliği ve güvenilirliği yüksek objektif ölçüm yöntemleridir.
- Çalışmada elde edilen bulguların akademik veri tabanına katkısı kadar sahada ve klinikte uygulanabilir oluşu araştırmayı güçlü kılmaktadır.

5.5. Çalışmanın Limitasyonları

- Pandemi nedeniyle daha uzun sürdürülemeyip ancak 4 haftalık egzersiz programı uygulanabilmesi kas dokusundaki mekanik adaptasyonların uzun vadeli etkilerini yansıtmakta eksik kalmış olabilir. Kasın pasif mekanik özellikleri ve kuvvet/performans ilişkisinin uzun dönem sonuçları noktasında belirsizlik oluşturmaktadır.
- Katılımcı profilimiz belli yaş grubundaki sedanter kadın bireylerdir. Elde edilen sonuçlar ile genele yayılan çıkarımlar yapılamaz.

5.6. Çalışmanın Sonuçları ve Hipotezlerin Yorumlanması

Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular ile başlangıçta kurulan varsayımlar karşılaştırıldığında egzersizlerle kasın pasif mekanik özellikleri, kuvvet ve performans değerlerinde değişiklik olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda TVV, koşu ve dirençli egzersizlerin alt ekstremite kaslarının pasif mekanik özelliklerine etkisi vardır hipotezi kabul edilmiştir. TVV, koşu ve direnç egzersizlerinin alt ekstremite kas kuvveti ve performansına etkisi yoktur hipotezi kabul edilmemiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma farklı egzersiz yaklaşımlarının kasın pasif mekanik özellikleri, kuvvet, denge ve sıçrama performansı üzerine etkilerini aynı araştırma içinde inceleyen ilk çalışmadır. Farklı egzersiz yaklaşımlarının kasın pasif mekanik özellikleri ile kuvvet, sıçrama ve denge performansına etkilerinin araştırıldığı çalışmamızda aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı:

- Farklı egzersiz yaklaşımları kasın pasif sertlik ve kalınlığı üzerine farklı etkiler açığa çıkardı.
- TVV egzersizlerinin alt ekstremité kaslarının pasif sertliği üzerine genel olarak geniş etkisi gözlenirken, kuvvetlendirme egzersizleri kuadriseps ve hamstring kas gruplarının pasif sertliğine, aerobik egzersiz programı ise MGK ve LGK kaslarının pasif sertliğine geniş düzeyde etki ettiği görüldü.
- TVV egzersizleri RF ve BF; kuvvetlendirme egzersizleri VMO ve LGK; aerobik egzersizler ise SM ve LGK kas kalınlıklarında anlamlı değişim oluşturduğu saptandı. Dört haftalık egzersiz programlarının kas kalınlıklarına etkisinin düşük düzeyde olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte egzersiz programındaki farklılığın kas kalınlığındaki değişimi de etkilediği saptandı.
- TVV egzersizlerinin 4 haftalık süre sonunda alt ekstremité kuvvetinde daha anlamlı gelişmeler ortaya çıkardığı belirlendi.
- TVV egzersizlerinin denge ve sıçrama performansının geliştirilmesinde diğer yaklaşımlara göre daha geniş düzeyde etki ettiği görüldü.

Çalışmanın sonuçları doğrultusunda gelecek çalışmalara yönelik önerilerimiz aşağıda yer almaktadır:

- TVV egzersizleri denge, kuvvet ve performansın daha kısa sürede geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda sezon içerisinde sakatlık sonrası geri dönüşlerde tercih edilebilir egzersiz uygulamaları arasında yer alması rehabilitasyon sürecine katkı sağlayacaktır.
- Kas sertliğinin avantaj veya dezavantaj oluşturma durumuna göre kasın uygun egzersizlerle çalıştırılması yaralanmaların önlenmesi ve performansa etki edebilir.
- Yaralanmaları önleme programları ile farklı paterndeki egzersizleri bir program dahilinde uygulanarak yaralanma riski azaltılabilmektedir. Gelecek çalışmalarda

yaralanmaları önleme programlarının kasın pasif mekanik özelliklerine etkisi araştırılabilir.

- Çalışmamızdan elde edilen veriler doğrultusunda spor branşına özgü yaralanmaları önleme ve kas mekaniğini ön planda tutan rehabilitasyon yaklaşımları geliştirilebilir.
- Gelecek çalışmalarda egzersizlerle birlikte kontraksiyon altında ortaya çıkan mekanik değişimlerle birlikte kas mimarisindeki değişimler incelenerek kas dokusunun egzersiz ile etkileşiminin daha kapsamlı ele alınması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Meyer, G. A., McCulloch, A. D., and Lieber, R. L. (2011). A nonlinear model of passive muscle viscosity. *Journal of Biomechanical Engineering*, 133(9), 091007.
2. Kuthe, C. D., and Uddanwadiker, R. V. (2016). Investigation of effect of fiber orientation on mechanical behavior of skeletal muscle. *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*, 14(2), 154-162.
3. Aird, L., Samuel, D., and Stokes, M. (2012). Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 55(2), 31-39.
4. Mullix, J., Warner, M., and Stokes, M. (2012). Testing muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps femoris using a novel hand held MyotonPRO device: relative ratios and reliability. *Working Papers in the Health Sciences*, 1(1), 1-8.
5. Berzosa, C., Gutierrez, H., Bascuas, P. J., Arbones, I., and Bataller-Cervero, A. V. (2021). Muscle tone and body weight predict uphill race time in amateur trail runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2040.
6. Pruyn, E. C., Watsford, M., and Murphy, A. (2014). The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(10), 1144-1150.
7. Kalkhoven, J. T., and Watsford, M. L. (2018). The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1022-1029.
8. Albin, S. R., Koppenhaver, S. L., Bailey, B., Blommel, H., Fenter, B., Lowrimore, C., and McPoil, T. G. (2019). The effect of manual therapy on gastrocnemius muscle stiffness in healthy individuals. *The Foot*, 38, 70-75.
9. Lamon, S., Wallace, M. A., and Russell, A. P. (2014). The STARS signaling pathway: a key regulator of skeletal muscle function. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 466(9), 1659-1671.
10. Dankel, S. J., and Razzano, B. M. (2020). The impact of acute and chronic resistance exercise on muscle stiffness: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Ultrasound*, 23(4), 473-480.
11. Brazier, J., Bishop, C., Simons, C., Antrobus, M., Read, P. J., and Turner, A. N. (2014). Lower extremity stiffness: Effects on performance and injury and implications for training. *Strength and Conditioning Journal*, 36(5), 103-112.
12. Blazeovich, A. J. (2019). Adaptations in the passive mechanical properties of skeletal muscle to altered patterns of use. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1483-1491.

13. Thomas, E., Ficarra, S., Nakamura, M., Paoli, A., Bellafiore, M., Palma, A., and Bianco, A. (2022). Effects of different long-term exercise modalities on tissue stiffness. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 71.
14. Frontera, W. R., and Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: A brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183-195.
15. Yan, Z., Lira, V. A., and Greene, N. P. (2012). Exercise training-induced regulation of mitochondrial quality. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(3), 159-164.
16. Özgünen, K., ve Ünal, M. (2019). Egzersiz ve kas iskelet sistemi. M. Ünal (Ed.). *Egzersiz Fizyolojisi* (Birinci Baskı), İstanbul: İstanbul Tıp Kitapevi, 91-105.
17. Rebbeck, R. T., Karunasekara, Y., Board, P. G., Beard, N. A., Casarotto, M. G., and Dulhunty, A. F. (2014). Skeletal muscle excitation–contraction coupling: Who are the dancing partners?. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 48, 28-38.
18. Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., and Coyle, E. F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(03), 152-157.
19. Huxley, A. F., and Niedergerke, R. (1954). Structural changes in muscle during contraction: interference microscopy of living muscle fibres. *Nature*, 173(4412), 971-973.
20. Huxley, H., and Hanson, J. (1954). Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Nature*, 173(4412), 973-976.
21. Magid, A., and Law, D. J. (1985). Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle. *Science*, 230(4731), 1280-1282.
22. Britton, T., 2004. Abnormalities of muscle tone and movement. M. Stokes (Ed.). *Physical Management in Neurological Rehabilitation*. 2nd ed. London: Elsevier Mosby, 47-56.
23. Campbell, W.W.; Barohn, R.J. (2019). Muscle Tone. In *DeJong's The Neurologic Examination*. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins, 467-474.
24. Ganguly, J., Kulshreshtha, D., Almotiri, M., and Jog, M. (2021). Muscle tone physiology and abnormalities. *Toxins*, 13(4), 282.
25. Chuang, L. L., Wu, C. Y., and Lin, K. C. (2012). Reliability, validity, and responsiveness of myotonometric measurement of muscle tone, elasticity, and stiffness in patients with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(3), 532-540.
26. Wang, K. U. A. N., McCarter, R., Wright, J., Beverly, J., and Ramirez-Mitchell, R. (1993). Viscoelasticity of the sarcomere matrix of skeletal muscles. The titin-myosin composite filament is a dual-stage molecular spring. *Biophysical Journal*, 64(4), 1161-1177.

27. Peña-Salinas, M., Oliva-Pascual-Vaca, J., and Lérída-Ortega, M. A. (2012). Tono muscular: consideraciones generales. Revisión. *European Journal Osteopathy and Related Clinical Research*, 101-112.
28. Wells, R. G. (2013). Tissue mechanics and fibrosis. *Molecular Basis of Disease*, 1832(7), 884-890.
29. Forcinito, M., Epstein, M., and Herzog, W. (1998). A numerical study of the stiffness of a sarcomere. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 8(2), 133-138.
30. Butler, R. J., Crowell III, H. P., and Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: Implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*, 18(6), 511-517.
31. Wilson, J. M., and Flanagan, E. P. (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: A brief review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1705-1715.
32. Gapeyeva, H., and Vain, A. (2008). *Methodical guide: Principles of applying Myoton in physical medicine and rehabilitation*. Tartu, Estonia: Muomeetria, 98-104.
33. Chuang, L. L., Wu, C. Y., and Lin, K. C. (2012). Reliability, validity, and responsiveness of myotonometric measurement of muscle tone, elasticity, and stiffness in patients with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(3), 532-540.
34. Strasser, E. M., Draskovits, T., Praschak, M., Quittan, M., and Graf, A. (2013). Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age*, 35(6), 2377-2388.
35. Freilich, R. J., Kirsner, R. L. G., and Byrne, E. (1995). Isometric strength and thickness relationships in human quadriceps muscle. *Neuromuscular Disorders*, 5(5), 415-422.
36. Ikezoe, T. (2020). Age-related change in muscle characteristics and resistance training for older adults. *Physical Therapy Research*, 23(2), 99-105.
37. Liu, X., Yu, H. K., Sheng, S. Y., Liang, S. M., Lu, H., Chen, R. Y., and Wen, Z. B. (2021). Quantitative evaluation of passive muscle stiffness by shear wave elastography in healthy individuals of different ages. *European Radiology*, 31(5), 3187-3194.
38. Bailey, L., Samuel, D., Warner, M. B., and Stokes, M. (2013). Parameters representing muscle tone, elasticity and stiffness of biceps brachii in healthy older males: Symmetry and within-session reliability using the MyotonPRO. *Journal of Neurological Disorders*, 1(1), 1-7.
39. Eby, S. F., Zhao, H., Song, P., Vareberg, B. J., Kinnick, R. R., Greenleaf, J. F., and Brown, A. W. (2016). Quantitative evaluation of passive muscle stiffness in chronic stroke. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(12), 899-910.
40. Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L., and Lacour, J. R. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3), 274-281.

41. Brughelli, M., and Cronin, J. (2008). Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness: modelling and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 38(8), 647-657.
42. Serpell, B. G., Ball, N. B., Scarvell, J. M., and Smith, P. N. (2012). A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *Journal of Sports Sciences*, 30(13), 1347-1363.
43. Flanagan, E. P., Galvin, L., and Harrison, A. J. (2008). Force production and reactive strength capabilities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 43(3), 249-257.
44. Maquirriain, J. (2012). Leg stiffness changes in athletes with Achilles tendinopathy. *International Journal of Sports Medicine*, 33(07), 567-571.
45. Wang, L. I. (2009). Lower extremity stiffness modulation: Effect of impact load of a landing task from different drop heights. *International SportMed Journal*, 10(4), 186-193.
46. Hoffman, L. R., Koppenhaver, S. L., MacDonald, C. W., Herrera, J. M., Streuli, J., Visco, Z. L., and Albin, S. R. (2021). Normative parameters of gastrocnemius muscle stiffness and associations with patient characteristics and function. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(1), 41-48.
47. Herbert, R. D., and Gandevia, S. C. (2019). The passive mechanical properties of muscle. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1442-1444.
48. Rønnestad, B. R. (2004). Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 839-845.
49. Fischer, M., Vialleron, T., Laffaye, G., Fourcade, P., Hussein, T., Chèze, L., and Delafontaine, A. (2019). Long-term effects of whole-body vibration on human gait: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 10, 627.
50. Zaidell, L. N., Mileva, K. N., Sumners, D. P., and Bowtell, J. L. (2013). Experimental evidence of the tonic vibration reflex during whole-body vibration of the loaded and unloaded leg. *PloS one*, 8(12), 85247.
51. Fowler, B. D., Palombo, K. T., Feland, J. B., and Blotter, J. D. (2019). Effects of whole-body vibration on flexibility and stiffness: a literature review. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 735-747.
52. Ardic, F. (2014). Exercise Prescription. *Turkiye Fiziksel Tip ve Rehabilitasyon Dergisi*; 60(2), 1-8.
53. Konopka, A. R., and Harber, M. P. (2014). Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 42(2), 53-61.
54. Salimin, N., Sazali, M. H., Azzfar, M., and Nadzalan, A. (2018). Muscle architecture and exercise performance: A mini review. *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*, 3(5), 3555-3557.

55. Andonian, P., Viallon, M., Le Goff, C., de Bourguignon, C., Tourel, C., Morel, J., and Croisille, P. (2016). Shear-wave elastography assessments of quadriceps stiffness changes prior to, during and after prolonged exercise: A longitudinal study during an extreme mountain ultra-marathon. *PLoS One*, 11(8), 0161855.
56. Ohya, S., Nakamura, M., Aoki, T., Suzuki, D., Kikumoto, T., Nakamura, E., and Edama, M. (2017). The effect of a running task on muscle shear elastic modulus of posterior lower leg. *Journal of Foot and Ankle Research*, 10(1), 1-6.
57. Dumke, C. L., Pfaffenroth, C. M., McBride, J. M., and McCauley, G. O. (2010). Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(2), 249-261.
58. Akagi, R., Shikiba, T., Tanaka, J., and Takahashi, H. (2016). A six-week resistance training program does not change shear modulus of the triceps brachii. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(4), 373-378.
59. Stefanaki, D. G. A., Dzulkarnain, A., and Gray, S. R. (2019). Comparing the effects of low and high load resistance exercise to failure on adaptive responses to resistance exercise in young women. *Journal of Sports Sciences*, 37(12), 1375-1380.
60. Mannarino, P., Matta, T. T. D., and Oliveira, L. F. D. (2019). An 8-week resistance training protocol is effective in adapting quadriceps but not patellar tendon shear modulus measured by Shear Wave Elastography. *PLoS One*, 14(4), 0205782.
61. Uysal, Ö., Delioğlu, K., and Firat, T. (2021). The effects of hamstring training methods on muscle viscoelastic properties in healthy young individuals. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 31(2), 371-379.
62. Zhi, L., Miyamoto, N., and Naito, H. (2022). Passive muscle stiffness of biceps femoris is acutely reduced after eccentric knee flexion. *Journal of Sports Science and Medicine*, 21(4), 487-492.
63. Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Costa, P. B., and Cramer, J. T. (2008). The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(10), 632-639.
64. Behm, D. G., and Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2633-2651.
65. Opplert, J., and Babault, N. (2019). Acute effects of dynamic stretching on mechanical properties result from both muscle-tendon stretching and muscle warm-up. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(2), 351-358.
66. Opplert, J., and Babault, N. (2018). Acute effects of dynamic stretching on muscle flexibility and performance: An analysis of the current literature. *Sports Medicine*, 48(2), 299-325.

67. Yamaguchi, T., Ishii, K., Yamanaka, M., and Yasuda, K. (2007). Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1238-1244.
68. Fukaya T, Sato S, Yahata K, Yoshida R, Takeuchi K, Nakamura M. Effects of stretching intensity on range of motion and muscle stiffness: A narrative review. *J Bodyw Mov Ther*. 2022; 32:68-76.
69. Nakamura, M., Yoshida, R., Sato, S., Yahata, K., Murakami, Y., Kasahara, K., and Konrad, A. (2021). Comparison between high-and low-intensity static stretching training program on active and passive properties of plantar flexors. *Frontiers in Physiology*, 2287.
70. Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Costa, P. B., and Cramer, J. T. (2008). The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(10), 632-639.
71. Nakamura, M., Yahata, K., Sato, S., Kiyono, R., Yoshida, R., Fukaya, T., and Konrad, A. (2021). Training and detraining effects following a static stretching program on medial gastrocnemius passive properties. *Frontiers in Physiology*, 12, 656579.
72. Takeuchi, K., Nakamura, M., Kakihana, H., and Tsukuda, F. (2019). A survey of static and dynamic stretching protocol. *International Journal of Sport and Health Science*, 17, 72-79.
73. Meerits, T., Bacchieri, S., Pääsuke, M., Ereline, J., Cicchella, A., and Gapeyeva, H. (2014). Acute effect of static and dynamic stretching on tone and elasticity of hamstring muscle and on vertical jump performance in track-and-field athletes. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 20, 48-59.
74. Fowles, J. R., Sale, D. G., and MacDougall, J. D. (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 1179-1188.
75. Konrad, A., Stafilidis, S., and Tilp, M. (2017). Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(10), 1070-1080.
76. Behrens, M., Mau-Moeller, A., and Bruhn, S. (2013). Effect of plyometric training on neural and mechanical properties of the knee extensor muscles. *International Journal of Sports Medicine*, 35(2), 101-119.
77. Ramírez-de la Cruz, M., Bravo-Sánchez, A., Esteban-García, P., Jiménez, F., and Abián-Vicén, J. (2022). Effects of plyometric training on lower body muscle architecture, tendon structure, stiffness and physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 1-29.
78. Fouré, A., Nordez, A., Guede, M., and Cornu, C. (2009). Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii and the musculo-articular complex of the ankle joint. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 112(8), 2849–2857.

79. Mroczek, D., Mackala, K., Chmura, P., Superlak, E., Konefal, M., Seweryniak, T., and Chmura, J. (2019). Effects of plyometrics training on muscle stiffness changes in male volleyball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 910-921.
80. Brazier, J., Maloney, S., Bishop, C., Read, P. J., and Turner, A. N. (2019). Lower extremity stiffness: Considerations for testing, performance enhancement, and injury risk. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 1156-1166.
81. Dietrich, C. F., Bamber, J., Berzigotti, A., Bota, S., Cantisani, V., Castera, L., and Thiele, M. (2017). EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version). *Ultraschall in der Medizin-European Journal of Ultrasound*, 38(4), 16-47.
82. Ramazanoğlu, E., Usgu, S., and Yakut, Y. (2020). Assessment of the mechanical characteristics of the lower extremity muscles with myotonometric measurements in healthy individuals. *Physiotherapy Quarterly*, 28(4), 1-12.
83. Kwah, L. K., Pinto, R. Z., Diong, J., and Herbert, R. D. (2013). Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: A systematic review. *Journal of Applied Physiology*, 114(6), 761-769.
84. Leonard, C. T., Deshner, W. P., Romo, J. W., Suoja, E. S., Fehrer, S. C., and Mikhailenok, E. L. (2003). Myotonometer intra-and interrater reliabilities. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(6), 928-932.
85. McGowen, J. M., Hoppes, C. W., Forsse, J. S., Albin, S. R., Abt, J., and Koppenhaver, S. L. (2022). The utility of myotonometry in musculoskeletal rehabilitation and human performance programming. *Journal of Athletic Training*, 4085.
86. Feng, Y. N., Li, Y. P., Liu, C. L., and Zhang, Z. J. (2018). Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. *Scientific Reports*, 8(1), 17064.
87. Drakonaki, E., Allen, G. M., and Wilson, D. J. (2012). Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *The British Journal of Radiology*, 85(1019), 1435-1445.
88. Balleyguier, C., Ciolovan, L., Ammari, S., Canale, S., Sethom, S., Al Rouhbane, R., and Dromain, C. (2013). Breast elastography: The technical process and its applications. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 94(5), 503-513.
89. McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Dayne, A. M., Israel, M. A., Nieman, D. C., and Triplett, N. T. (2010). Effect of an acute bout of whole body vibration exercise on muscle force output and motor neuron excitability. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 184-189.
90. Yañez-Álvarez, A., Bermúdez-Pulgarín, B., Hernández-Sánchez, S., and Albornoz-Cabello, M. (2020). Effects of exercise combined with whole body vibration in patients with patellofemoral pain syndrome: A randomised-controlled clinical trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 1-11.

91. Genç, A., Güneş, S., ve Kutlay, Ş. (2018). Kas-iskelet sistemi hastalıklarında ultrason elastografinin yeri. *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 71(2), 91-95.
92. Ikezoe, T., Mori, N., Nakamura, M., and Ichihashi, N. (2011). Age-related muscle atrophy in the lower extremities and daily physical activity in elderly women. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 153-157.
93. Zwolski, C., Schmitt, L. C., Quatman-Yates, C., Thomas, S., Hewett, T. E., and Paterno, M. V. (2015). The influence of quadriceps strength asymmetry on patient-reported function at time of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(9), 2242-2249.
94. Koçak, U. Z., and Ünver, B. (2019). Investigation of the relationship between functional movement screen and Y balance test in female soccer players as injury risk predictors. *Spor Hekimliği Dergisi/Turkish Journal of Sports Medicine*, 54(1), 1-8.
95. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., and Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
96. Reid, A., Birmingham, T. B., Stratford, P. W., Alcock, G. K., and Giffin, J. R. (2007). Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy*, 87(3), 337-349.
97. McGough, E. L., Kelly, V. E., Logsdon, R. G., McCurry, S. M., Cochrane, B. B., Engel, J. M., and Teri, L. (2011). Associations between physical performance and executive function in older adults with mild cognitive impairment: Gait speed and the timed “up and go” test. *Physical Therapy*, 91(8), 1198-1207.
98. Changyong, F. E. N. G., Hongyue, W. A. N. G., Naiji, L. U., Tian, C. H. E. N., Hua, H. E., and Ying, L. U. (2014). Log-transformation and its implications for data analysis. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 26(2), 105-109.
99. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Michigan: Lawrence Erlbaum, 249-255.
100. Santos, R., Valamatos, M. J., Mil-Homens, P., and Armada-da-Silva, P. (2020). The effect of strength training on vastus lateralis’ stiffness: An ultrasound quasi-static elastography study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4381.
101. Fouré, A., Nordez, A., and Cornu, C. (2012). Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii muscles and Achilles tendon. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 2849-2857.
102. Flanagan, E. P., Galvin, L., and Harrison, A. J. (2008). Force production and reactive strength capabilities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 43(3), 249-257.
103. Brughelli, M., and Cronin, J. (2008). Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness: Modelling and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 38(8), 647-657.

104. Šuc, A., Šarko, P., Pleša, J., and Kozinc, Ž. (2022). Resistance exercise for improving running economy and running biomechanics and decreasing running-related injury risk: A narrative review. *Sports*, 10(7), 98.
105. He, X., Huang, W. Y., Leong, H. T., Qiu, J. H., Ma, C. C., Fu, S. C., and Yung, P. S. H. (2021). Decreased passive muscle stiffness of vastus medialis is associated with poorer quadriceps strength and knee function after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Biomechanics*, 82, 105289.
106. Gellhorn, A. C., Stumph, J. M., Zikry, H. E., Creelman, C. A., and Welbel, R. (2018). Ultrasound measures of muscle thickness may be superior to strength testing in adults with knee osteoarthritis: A cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19, 350.
107. Blazeovich, A. J., Gill, N. D., and Zhou, S. (2006). Intra-and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289-310.
108. Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., and Opar, D. A. (2016). Architectural adaptations of muscle to training and injury: A narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1467-1472.
109. Coratella, G., Beato, M., Milanese, C., Longo, S., Limonta, E., Rampichini, S., and Esposito, F. (2018). Specific adaptations in performance and muscle architecture after weighted jump-squat vs. body mass squat jump training in recreational soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 921-929.
110. Lee, K. L., Oh, T. W., Gil, Y. C., and Kim, H. J. (2021). Correlation between muscle architecture and anaerobic power in athletes involved in different sports. *Scientific Reports*, 11(1), 13332.
111. Buckner, S. L., Mouser, J. G., Jessee, M. B., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., and Loenneke, J. P. (2017). What does individual strength say about resistance training status?. *Muscle and Nerve*, 55(4), 455-457.
112. Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., and Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: Training considerations. *Sports Medicine*, 48(4), 765-785.
113. Burnett, A. F., Naumann, F. L., Price, R. S., and Sanders, R. H. (2005). A comparison of training methods to increase neck muscle strength. *Work*, 25(3), 205-210.
114. Lorenz, D. S. (2014). Variable resistance training using elastic bands to enhance lower extremity strengthening. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), 410-414.
115. Chang, T. F., Liou, T. H., Chen, C. H., Huang, Y. C., and Chang, K. H. (2012). Effects of elastic-band exercise on lower-extremity function among female patients with osteoarthritis of the knee. *Disability and Rehabilitation*, 34(20), 1727-1735.

116. Bonanni, R., Cariati, I., Romagnoli, C., D'Arcangelo, G., Annino, G., and Tancredi, V. (2022). Whole body vibration: A valid alternative strategy to exercise?. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(4), 99.
117. Ritzmann, R., Kramer, A., Bernhardt, S., and Gollhofer, A. (2014). Whole body vibration training-improving balance control and muscle endurance. *PloS one*, 9(2), 89905.
118. Liu, Y., Fan, Y., and Chen, X. (2022). Effects of whole-body vibration training with different body positions and amplitudes on lower limb muscle activity in middle-aged and older women. *Dose-Response*, 20(3), 1177.
119. Brogårdh, C., Flansbjer, U. B., and Lexell, J. (2012). No specific effect of whole-body vibration training in chronic stroke: A double-blind randomized controlled study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(2), 253-258.
120. Kovacevic, E., Abazovic, E., Covic, N., and Paravlic, A. H. (2022). Four-week whole-body vibration training and its effects on strength, power and sprint performance in young basketball players-a randomized control trial. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 21-27.
121. Esmaeilzadeh, S., Akpınar, M., Polat, S., Yildiz, A., and Oral, A. (2015). The effects of two different frequencies of whole-body vibration on knee extensors strength in healthy young volunteers: A randomized trial. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 15(4), 333.
122. Yeung, S. S., and Yeung, E. W. (2015). A 5-week whole body vibration training improves peak torque performance but has no effect on stretch reflex in healthy adults: A randomized controlled trial. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(5), 397-404.
123. Gabriel, D. A., Kamen, G., and Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*, 36(2), 133-149.
124. Osawa, Y., and Oguma, Y. (2011). Effects of whole-body vibration on resistance training for untrained adults. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(2), 328-337.
125. Bauer, J., Schwiertz, G., and Muehlbauer, T. (2021). Effects of an elastic resistance band intervention in adolescent handball players. *Sports Medicine International Open*, 5(2), 65-72.
126. McRae, G., Payne, A., Zelt, J. G., Scribbans, T. D., Jung, M. E., Little, J. P., and Gurd, B. J. (2012). Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(6), 1124-1131.
127. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., and Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.

128. Nonnekes, J., Goselink, R. J., Růžicka, E., Fasano, A., Nutt, J. G., and Bloem, B. R. (2018). Neurological disorders of gait, balance and posture: A sign-based approach. *Nature Reviews Neurology*, 14(3), 183-189.
129. Zemková, E. (2022). Physiological mechanisms of exercise and its effects on postural sway: Does sport make a difference?. *Frontiers in Physiology*, 13, 792875.
130. Aghayari, A., Afroundeh, R., and Saeidi Azad, P. (2016). The effect of 6 weeks aerobic training on balance and on flexibility in elderly women in Hamadan. *Journal of Gerontology*, 1(2), 1-9.
131. Yu, W., An, C., and Kang, H. (2013). Effects of resistance exercise using thera-band on balance of elderly adults: A randomized controlled trial. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(11), 1471-1473.
132. Lam, F. M., Chan, P. F., Liao, L. R., Woo, J., Hui, E., Lai, C. W., and Pang, M. Y. (2018). Effects of whole-body vibration on balance and mobility in institutionalized older adults: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 32(4), 462-472.
133. Pollock, R. D., Woledge, R. C., Martin, F. C., and Newham, D. J. (2012). Effects of whole body vibration on motor unit recruitment and threshold. *Journal of Applied Physiology*, 112(3), 388-395.
134. Jeong, Y. S., and Kim, J. H. (2017). Effects of whole body vibration exercise on lower extremity muscle activity and balance ability in football player with chronic ankle instability. *The Journal of Korean Physical Therapy*, 29(6), 293-298.
135. Spiliopoulou, S. I., Amiridis, I. G., Tsigganos, G., Economides, D., and Kellis, E. (2010). Vibration effects on static balance and strength. *International Journal of Sports Medicine*, 31(9), 610-616.
136. Rabert, M. S., Comas, D. R., Vanmeerhaeghe, A. F., Medina, C. S., i Figuls, M. R., Romero-Rodríguez, D., and Cosp, X. B. (2012). Whole-body vibration training for patients with neurodegenerative disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2), 1465-1858.
137. Alashram, A. R., Padua, E., and Annino, G. (2019). Effects of whole-body vibration on motor impairments in patients with neurological disorders: A systematic review. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(12), 1084-1098.
138. Zhou, H., Yu, P., Thirupathi, A., and Liang, M. (2020). How to improve the standing long jump performance? A mininarrative review. *Applied Bionics and Biomechanics*, 8829036.
139. Loturco, I., Pereira, L. A., Abad, C. C. C., D'Angelo, R. A., Fernandes, V., Kitamura, K., and Nakamura, F. Y. (2015). Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1966-1971.
140. Perez-Gomez, J., and Calbet, J. A. (2013). Training methods to improve vertical jump performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(4), 339-357.

141. Hawkey, A., and Morrison, D. (2017). In-season whole-body vibration training enhances vertical jump performance in professional soccer goalkeepers. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 19(2), 143-149.
142. Pérez-Turpin, J. A., Zmijewski, P., Jimenez-Olmedo, J. M., Jové-Tossi, M. A., Martínez-Carbonell, A., Suárez-Llorca, C., and Andreu-Cabrera, E. (2014). Effects of whole body vibration on strength and jumping performance in volleyball and beach volleyball players. *Biology of Sport*, 31(3), 239-245.
143. Wyon, M., Guinan, D., and Hawkey, A. (2010). Whole-body vibration training increases vertical jump height in a dance population. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 866-870.

EKLER

EK-1. Etik Kurul Başvuru Formu



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 2011-KAEK-26/ 514
 Konu : Etik Kurul kararı

04 / 12 / 2019

Sayın Prof.Dr.Nevin A.GÜZEL
 Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi
 Öğretim Üyesi

Kurulumuza başvurusunu yaptığınız ve sorumlu araştırmacısı olduğunuz “*Farklı egzersiz yaklaşımlarının kasın mekanik özelliklerine ve bireylerin fonksiyonel performansı üzerine etkileri*” başlıklı araştırmanız ile ilgili kurulumuzun 20 Kasım 2019 tarih, 2019-19/21 nolu kararı ekte gönderilmektedir.

Gereği için bilgilerinize sunulur.

Prof.Dr.Mustafa H.AÇIMUSTAFAOĞLU
 Kurul Başkanı

EKLER:

1-Karar (2 adet)

2-BGO formu (2 adet)

Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı Rektörlük Binası, Görükle Kampüsü 16059 Nilüfer/BURSA
 Tel: 0-224-2950020 Fax: 0-224-2950029
 e-posta: uukaek@uludag.edu.tr Elektronik Ağ: www.tip.uludag.edu.tr

EK-1. (devam) Etik Kurul Başvuru Formu

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU				
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Farklı Egzersiz Yaklaşımlarının Kasın Mekanik Özelliklerine ve Bireylerin Fonksiyonel Performansı Üzerine Etkileri		
ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu 2011-KAEK-26		
	AÇIK ADRESİ	Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı Rektörlük Binası Kat.1 Görükle Kampüsü Nilüfer/ Bursa		
	TELEFON	0.224. 295 00 20		
	FAKS	0.224. 295 00 29		
	E-POSTA	unikaek@uludag.edu.tr		
BAŞVURU BİLGİLERİ	SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof.Dr.Nevin A.Güzel		
	SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Ankara Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi		
	YARDIMCI ARAŞTIRMACININ UNVANI/ADI/SOYADI	-Prof.Dr.Naile Bolca Topal -Uzm.Fizl.Selim Mahmut Günay		
	YARDIMCI ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	-Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji AD -Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehb. AD		
	DESTEKLEYİCİ	İnegöl Kaymakamlığı Özel Üçel Özel Eğitim ve Rehb.Merkezi		
	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	Fizik tedavi, egzersiz ve rehabilitasyon gibi tedavi programlarının etkisini incelemeye yönelik araştırma		
	ARAŞTIRMANIN YAPILIŞ AMACI	Doktora tez çalışması		
	ARAŞTIRMANIN BAŞLAMA TARİHİ/ SÜRESİ	25.11.2019 / 18 ay		
	GÖNÜLLÜ/DOSYA SAYISI	60		
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐	ULUSAL ☒
DEĞERLENDİRİLEN İLGİLİ BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Dili	
	GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR İÇİN BAŞVURU FORMU	01.11.2019	Türkçe	
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU (hasta grubu)	01.11.2019	Türkçe	
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU (sağlıklı kontrol grubu)	01.11.2019	Türkçe	
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama		
	ARAŞTIRMA BÜTÇE FORMU	☒ Tarih: 01.11.2019		
	ARAŞTIRICILAR İÇİN TAAHHÜTNAME FORMU	☒ Tarih: 01.11.2019		
	PROSPEKTİF ÖZELLİKLI GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMA TAAHHÜTNAMESİ	☐		
	İKU klavuzunun okunduğuna dair taahhütname	☒ Tarih: 01.11.2019		
	SONUÇ ÖZET RAPORU	☐		
	DİĞER:	☒ Araştırma ilk başvuru ön yazısı (11.11.2019), ilgili AD izin yazıları, ilgili kurumun mali destek yazısı, sorumlu araştırmacı özgeçmişi, araştırmacı tarafından imzalanmış Dünya Tıp Birliği Helsinki Bildirgesi, literatür		

EK-1. (devam) Etik Kurul Başvuru Formu

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU									
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Farklı Egzersiz Yaklaşımlarının Kasın Mekanik Özelliklerine ve Bireylerin Fonksiyonel Performansı Üzerine Etkileri							
Karar No: 2019-19/21		Tarih: 20 Kasım 2019							
KARAR BİLGİLERİ		Yukarıda başvuru bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak değerlendirildi. 1-Araştırmanın yapılmasının uygun olduğuna, 2- Araştırmanın yürütülmesi sırasında Etik kurul kaşesi bulunan "Onam" formlarının kullanılması ve bu formun çalışmaya katılan gönüllülere çalışma hakkında sözlü bilgi verilmesi sonrasında eksiksiz bir şekilde doldurulmasına, 3-Araştırmanın başlama tarihinin bildirilmesi ve araştırma tamamlandığında özet bir sonuç raporunun hazırlanarak kuruluza iletilmesine, 4-Araştırma protokolünde ve başvuru formunda yapılacak tüm değişiklikler için Etik Kuruldan izin alınması gerektiğinin sorumlu araştırmacılara iletilmesine toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.							
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU									
ÇALIŞMA ESASI		İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu							
BAŞKANIN UNVANI/ADI SOYADI		Prof.Dr.Mustafa HACIMUSTAFAOĞLU							
ÜYELER									
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlişki	Katılım *	İmza			
Prof.Dr.Mustafa HACIMUSTAFAOĞLU Başkan	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	U.Ü.T.F. Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları AD.	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Prof.Dr.EliFBİBAĞAN MOĞOL Başkan Yardımcısı	Anesteziyoloji	U.Ü.T.F. Anesteziyoloji ve Reanimasyon AD.	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Prof.Dr.Mehmet CANSEV Üye	Farmakoloji	U.Ü.T.F. Tıbbi Farmakoloji AD.	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doç.Dr.Alpaslan TÜRKKAN Üye	Halk Sağlığı	U.Ü.T.F. Halk Sağlığı AD.	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doç.Dr.Pınar VURAL Üye	Psikiyatri	U.Ü.T.F. Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığı ve Hastalıkları AD.	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☐ H ☒				
Doç.Dr.Hilal ÖZKAN Üye	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	U.Ü.T.F. Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları AD.	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doç.Dr.Harun ARI Üye	Kardiyoloji	Bursa Yüksek İhtisas EAH Kardiyoloji Kliniği	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doç.Dr.Kağan HUYSAL Üye	Biyokimya	Bursa Yüksek İhtisas EAH Biyokimya	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doktor Öğretim Üyesi Çiğdem Mine YILMAZ Üye	Hukuk	U.Ü.Hukuk Fakültesi	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doktor Öğretim Üyesi Engin SAGDILEK Üye	Biyofizik	U.Ü.T.F. Biyofizik AD.	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Doktor Öğretim Üyesi Sezer ERER KAFA Üye	Tıp Tarihi ve Etik	U.Ü.T.F. Tıp Tarihi ve Etik AD.	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				
Selen MİĞAL Üye	Sağlık mesleği mensubu olmayan üye	Serbest Meslek	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐				

*Toplantıda Bulunan

EK-2. Değerlendirme Formu

DEĞERLENDİRME FORMU

Adı:

Soyadı:

Yaş:

Cinsiyet:

Dominant taraf:

Özgeçmiş:

1- Y Denge Testi:

	Çalışma Öncesi			4. Hafta		
Anterior						
Posteromedial						
Posterolateral						

2- Dikey Sıçrama Testi:

Çalışma Öncesi			4. Hafta		

3- Yatay Sıçrama Testi:

Çalışma Öncesi			4. Hafta		

4- Tek Bacak Hoplama Testi:

Çalışma Öncesi			4. Hafta		

5- Vücut Kompozisyonu

Çalışma Öncesi			4. Hafta		
----------------	--	--	----------	--	--

EK-2. (devam) Değerlendirme Formu

6-İzokinetik Ölçümler

	Çalışma Öncesi	Çalışma Sonrası
Q-İzometrik		
H-İzometrik		
Q-60konsantrik		
H-60konsantrik		
Q-300konsantrik		
H-300konsantrik		
Q-eksantrik		
H-eksantrik		

7-Ultrason Ölçümleri

Çalışma öncesi						
Kas grubu	Sertlik			Kalınlık		
VMO						
RF						
BF						
SM						
LGK						
MGK						
Çalışma sonrası						
Kas grubu	Sertlik			Kalınlık		
VMO						
RF						
BF						
SM						
LGK						
MGK						

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNAY, Selim Mahmut
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı	Devam Ediyor
Y. Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı	2013-2015
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi / Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Bölümü	2008-2012
Lise	Hatay Osman Ötken Anadolu Lisesi	2003-2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-	Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi	Fizyoterapist
2016	Bursa Asker Hastanesi	Fizyoterapist
2015-2016	Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi	Fizyoterapist
2013-2015	Bursa Uludağ Üniversitesi Atatürk Rehabilitasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi	Fizyoterapist

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Günay S.M, Tuna, Z, Oskay D (2016). Relationship between patient-reported and objective measurements of hand functions in patients with rheumatoid arthritis. *Reumatismo*, Dec 31;68(4):183-187. doi: 10.4081/reumatismo.2016.943. (Indexed in ESCI)
2. Alp A, Adalı M, Efe B, Elyıldırım A, Karabulut M, C0şkun Ş, Ertem U, Bilgiç A, Karakullukçuoğlu Z, Günay SM. (2017) Effects of whole body vibration therapy in pain, function and depression of the patients with fibromyalgia. *Complement Ther Clin Pract*. 28:200-203. doi: 10.1016/j.ctcp.2017.06.008. (Indexed in SCI Expanded).
3. Alp A, Efe B, Korukoğlu M, Bilgiç A, Demir Türe S, Coşkun Ş, Karabulut M, Ertem U, Günay SM (2018). The impact of whole body vibration therapy on spasticity and disability of the patients with poststroke hemiplegia. *Rehabilitation Research and Practice*, p1-6. <https://doi.org/10.1155/2018/8637573>.
4. Günay S.M, Biçer Z.T, Keser İ (2018). The effects of balance and postural stability exercises on spa based rehabilitation programme in patients with ankylosing spondylitis. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 31(2):337-346. DOI: 10.3233/BMR-169755. (Indexed in SCI).
5. Ertem U, Özçakır S, İrdesel FJ, Günay SM (2022). YouTube as a source of information on piriformis syndrome exercises. *Turk J Phys Med Rehab*; 68(x):i-viii. DOI: 10.5606/tftrd.2022.10459 (Indexed in SCI Expanded).

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

1. Günay, S.M., Tuna, Z., Oskay, D. (2014). Relationship between patient-reported and objective measurements of function in patients with rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(2): 1225.
2. Tuna, Z., Oskay, D., Onbulak, D., Günay, S.M., Mercan, R. (2014). Effects of disease activity on hand functions in rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(2): 1225.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Sözel Bildiri

1. Günay SM, Mehtab A, Günel A, Başkurt F. (2012, 26-28 Nisan). *Sağlıklı genç bireylerde izometrik handgrip eğitiminin kan basıncı ve kalp hızına kısa dönem etkisi*. XIV. Fizyoterapide Gelişmeler Kongresinde sunuldu, Nevşehir. Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, 23 (1).
2. Mehtab A, Günay SM, Uzan M, Günel A, Başkurt Z. (2012, 23-26 Mayıs). *Sağlıklı genç bireylerde soğuk uygulamanın el kavrama kuvvetine, elin enduransına ve el fonksiyonları üzerine etkisi: randomize kontrollü tek kör çalışma*. 2. Ulusal El Rehabilitasyonu Kongresinde sunuldu, Gaziantep.

3. Mehtab A, Aslan E, Başakçı B, Günay SM. (2015, 6-8 Kasım). *Soğuk Uygulama Kinezyolojik Bantlamanın Etkisini Artırır mı?* VIII. Ulusal Spor Fizyoterapistleri Kongresinde sunuldu, İstanbul.
4. Yüksel F, Sözlü U, Elbasan B, Günay SM. (2018, 2-5 Mayıs). *Sağlıklı Bireylerde Lateral Subtalar Askı Bantlamasının Denge ve Kuvvete Etkisi*. I Uluslar Arası Sağlık Bilimleri ve Yaşam Kongresinde sunuldu, Burdur.

Poster Bildiriler

1. Günay, S.M., Mehtab, A., Başkurt, F., Başkurt, Z. (2013, 9-11 Mayıs). *Beden kütle indeksi ile el kavrama kuvveti, endurans, reaksiyon zamanı ve hız-koordinasyon arasındaki ilişki*. IV. Ulusal Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Kongresinde sunuldu, Denizli.
2. Günay, S.M., Biçer, Z.T., Keser, İ. (2014, 29 Ekim-2 Kasım). *Ankilozan spondilitli bireylerde denge egzersizlerinin kaplıca ile kombine fizyoterapi uygulamalarına katkısı: pilot çalışma*. XV. Ulusal Romatoloji Kongresinde sunuldu, Antalya.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..