



T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENÇ, SAĞLIKLI ERKEKLERDE 10 HAFTALIK  
NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZ EĞİTİMİ VE ONU  
İZLEYEN EGZERSİZİ BIRAKMA (DETRAINİNG)  
SÜREÇLERİNİN PLAZMA VİZKOZİTESİ VE OKSİDATİF  
STRES SEVİYELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

FİZYOLOJİ ANA BİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATİCE ÇAĞLA ÖZDAMAR

KASIM 2019  
DENİZLİ

T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENÇ, SAĞLIKLI ERKEKLERDE 10 HAFTALIK  
NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZ EĞİTİMİ VE ONU  
İZLEYEN EGZERSİZİ BIRAKMA (DETRAINİNG)  
SÜREÇLERİNİN PLAZMA VİZKOZİTESİ VE OKSİDATİF  
STRES SEVİYELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

FİZYOLOJİ ANA BİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATİCE ÇAĞLA ÖZDAMAR**

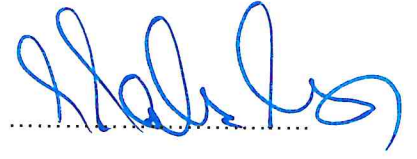
Tez Danışmanı: Prof.Dr. Melek BOR KÜÇÜKATAY

Denizli, 2019

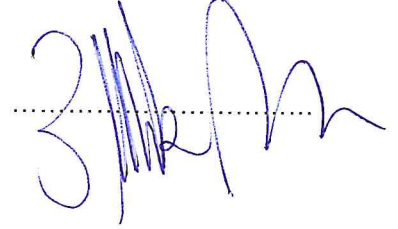
## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Hatice Çağla ÖZDAMAR tarafından Prof. Dr Melek BOR KÜÇÜKATAY yönetiminde hazırlanan "**Genç, Sağlıklı Erkeklerde 10 Haftalık Nordic Hamstring Egzersiz Eğitimi Ve Onu İzleyen Egzersizi Bırakma (Detraining) Süreçlerinin Plazma Vizkozitesi Ve Oksidatif Stres Seviyeleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Sadettin ÇALIŞKAN  
Pamukkale Üniversitesi



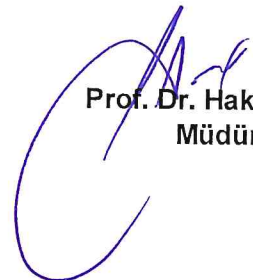
Danışman: Prof. Dr. Melek BOR KÜÇÜKATAY  
Pamukkale Üniversitesi



Üye: Doç.Dr. Haydar Ali ERKEN  
Balıkesir Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
26.../12/2019 tarih ve 39/19 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Hakan AKÇA  
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

Öğrenci Adı Soyadı : Hatice ağla ÖZDAMAR

İmza

: 

## ÖZET

### GENÇ, SAĞLIKLI ERKEKLERDE 10 HAFTALIK NORDİC HAMSTRİNG EGZERSİZ EĞİTİMİ VE ONU İZLEYEN EGZERSİZİ BIRAKMA (DETRAINİNG) SÜREÇLERİNİN PLAZMA VİZKOZİTESİ VE OKSİDATİF STRES SEVİYELERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Hatice Çağla ÖZDAMAR

Yüksek Lisans Tezi, Fizyoloji AD

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Melek BOR KÜÇÜKATAY

Kasım 2019, 90 Sayfa

Nordic hamstring egzersizi (NHE) hamstring kas kuvvetini arttırmak ve yaralanmaları önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Tez kapsamında 10 haftalık NHE ve takiben 5 ve 10 hafta süreyle egzersizin bırakılmasının antropometrik ölçümler, esneklik, anaerobik güç, kas mimarisi ile hasarı, yorgunluk, oksidatif stres, plazma viskozitesi (PV), kan laktat seviyeleri üzerine akut ve uzun süreli etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Düzenli spor yapmayan sedanter, sağlıklı 40 erkek gönüllü bireye 10 haftalık ilerleyici NHE ve takiben 5, 10 haftalık detraining uygulanmıştır. Kas mimarisi ultrasonografik, sertliği strain elastografi yöntemi ile ölçülmüştür. Anaerobik güç çift ayak durarak uzun atlama ve dikey sıçrama ile esneklik otur-uzan ve hamstring esneklik testleriyle değerlendirilmiştir. Kreatin kinaz aktivitesi, oksidan/antioksidan parametreler venöz kandan ticari kit aracılığıyla, PV bir cone-plate viskometre ile ölçülmüştür. Kan laktat düzeyi parmak ucundan alınan kan örneklerinden belirlenmiştir. NHE, deneklerin kilo vermesini sağlamış; egzersizin 5 hafta boyunca bırakılması ile verilen kilolar geri alınmıştır. Uygulanan egzersiz deneklerin gonyometre ile ölçülen diz açılarında artışa neden olmuş; bu artış detrainingle geri dönmemiştir. 10 haftalık NHE anaerobik performansta egzersizin bırakılmasıyla kısmen geri dönen artışa sebep olmuştur. NHE biceps femoris uzun başı (BFub) alanı ve pennasyon açısında 10 haftalık detrainingle geri dönen artış oluşturmuştur. Kreatin kinaz aktivitesinde değişiklik saptanmamıştır. Her egzersiz seansını takiben bireylerin kan laktat düzeyi, kas ağrısı ve yorgunluklarında artış tespit edilmiştir. NHE oksidan/antioksidan parametrelerde değişiklik oluşturmazken; 5 haftalık detraining total oksidan kapasite (TOK) ve oksidatif stres indeksi (OSI)'nde artışa sebep olmuştur. 10 haftalık detraining bu parametrelerin yeniden azalmasına neden olmuştur. Akut egzersizle 1. ve 10. haftada PV'de azalma meydana gelmiştir. 10. haftada egzersiz öncesi (EÖ) ölçülen PV bazale göre düşük bulunmuştur. Egzersizin bırakılması PV'nin artmasına neden olmuştur. Tez sonuçları performans ve kas kuvvetini arttırmak amacıyla yaptırılan egzersiz türünün seçiminde yol gösterici olabilecektir. Ek olarak, ne kadarlık bir detraining süreci sonrasında kazanımların hangisinin, ne kadar kayba uğrayacağına bilinmesi egzersize devamlılık konusunda farkındalık oluşturulmasına katkı sağlayabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Nordic hamstring egzersizi (NHE), egzersizi bırakma (detraining), anaerobik güç, oksidatif stres, plazma viskozitesi

**Bu çalışma, PAU Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2018SABE034)**

**ABSTRACT****INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF 10-WEEK NORDIC HAMSTRING EXERCISE TRAINING AND SUBSEQUENT DETRAINING ON PLASMA VISCOSITY AND OXIDATIVE STRESS LEVELS IN HEALTHY YOUNG MEN**

OZDAMAR, H.Ç

Ph Thesis in Physiology

Supervisor: Prof. Melek BOR-KUCUKATAY (MD, PhD)

November 2019, 90 Pages

Nordic hamstring exercise (NHE) is used to increase hamstring muscle strength, prevent injuries. The aim of the thesis was to reveal the acute, long-term effects of 10-week NHE, followed by 5, 10-week detraining on anthropometric measurements, flexibility, anaerobic power, muscle architecture, damage, fatigue, oxidative stress, plasma viscosity (PV), blood lactate levels. 40 sedentary, healthy male volunteers underwent 10 weeks of progressive NHE followed by 5, 10 weeks of detraining. Muscle architecture was determined by ultrasonography, stiffness by strain elastography. Anaerobic power was assessed by double-foot standing, long jump, vertical jump, flexibility by sit-lie, hamstring flexibility tests. Creatine kinase activity, oxidant/antioxidant parameters were measured from venous blood by a commercial kit, whereas PV was determined using cone-plate viscometer. Blood lactate level was measured from fingertip. NHE allowed subjects to lose weight, this effect was reversed by detraining of 5 weeks. Exercise caused an increase in knee angles measured by goniometer; which wasn't affected by detraining. 10-week NHE caused a partially reversed increase in anaerobic performance upon detraining. NHE resulted in increment of biceps femoris long head (BFub) area, pennation angle which were reversed by detraining of 10-weeks. Blood lactate levels, muscle pain, fatigue were increased after each exercise session. NHE didn't change oxidant/antioxidant parameters, 5-week detraining resulted in an increase in total oxidant capacity (TOC) and oxidative stress index (OSI). Detraining of 10 weeks caused a reduction of these parameters. Acute exercise caused reduced in PV at 1, 10 weeks. Pre-exercise PV measured on the 10<sup>th</sup> week was lower than basal value. Detraining caused increment of PV. The results of the thesis may guide the selection of the exercise type to increase performance and muscle strength. Knowing how much of the gains will be lost after a period of detraining can contribute to raising awareness of the continuity of exercise.

**Key Words:** Nordic hamstring exercise (NHE), detraining, anaerobic power, oxidative stress, plasma viscosity

**This work was supported by PAU Scientific Research Projects Coordination Unit (Project number: 2018SABE034)**

## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini bana sabır ve güler yüzle aktaran, kendisinden ilham aldığım çok sevdiğim danışman hocam Prof. Dr. Melek BOR KÜÇÜKATAY'a,

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana emeği geçen Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Vural KÜÇÜKATAY'a, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Sadettin ÇALIŞKAN'a,

Tez çalışmama düşünceleriyle katkı sağlayan ve her soruma sıklımadan cevap veren Dr. Öğr. Üyesi Emine KILIÇ TOPRAK'a,

Tez çalışmamın deneysel sürecinde benden yardımlarını esirgemeyen ve beni her zaman cesaretlendiren Fizyoloji Anabilim Dalı'nın çok kıymetli asistanı Dr. Özgen KILIÇ-ERKEK'e,

Tüm hayatım boyunca desteklerini hissettiğim, bugünlere gelmemi sağlayan biricik annem ve babama, ilgi ve sevgisini her zaman bana hissettiren, tez çalışmalarım da ayrıca destek veren sevgili eşim Mustafa ÖZDAMAR'a teşekkür ederim.

Saygılarımla

Kasım–2019

Hatice Çağla ÖZDAMAR

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>TEŞEKKÜR</b>	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b>	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	vi
<b>TABLolar DİZİNİ</b>	vii
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	viii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
1.1. Amaç	3
<b>2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMALARI</b>	5
2.1 Egzersiz	5
2.1.1. Aerobik Egzersiz	7
2.1.2. Direnç Egzersizi	8
2.1.3. Nordic Hamstring Egzersizi	10
2.2. Egzersizi Bırakma (Detraining)	11
2.3. İskelet Kas Mimarisi	12
2.3.1. Hamstring Kas Mimarisi	14
2.4. Kas Hasarı	15
2.4.1. Kreatin Kinaz	17
2.4.2. Kan Laktatı	19
2.4.3. Kas Ağrısı	21
2.5. Oksidatif Stres	22
2.6. Egzersiz ve Hemoreoloji	24
2.6.1. Plazma Viskozitesi	25
2.7. Hipotez	25
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEMLER</b>	27
3.1. Deneklerin Seçilmesi	27
3.2. Nordic Hamstring Egzersizi	28
3.3. Venöz Kan Örneklerinin Eldesi	29
3.4. Demografik ve Antropometrik Ölçümler	30
3.4.1. Boy Uzunluğunun Ölçülmesi	30
3.4.2. Vücut Kompozisyonun Ölçülmesi	31
3.4.3. Çevre Ölçümlerinin Yapılması	31
3.4.3.1. Bel Çevresi	31
3.4.3.2. Kalça Çevresi	31
3.4.3.3. Uyluk Çevresi	32
3.5. Esneklik Ölçümleri	32
3.5.1. Esneklik (Otur-Uzan) Testi	32
3.5.2. Hamstring Esneklik Testi	32
3.6. Anaerobik Güç Testlerinin Ölçümü	33
3.6.1. Çift Ayak Durarak Öne Uzun Atlama	33
3.6.2. Dikey Sıçrama Testi	33
3.7. Kas Mimarisinin Değerlendirilmesi	34
3.7.1. Ultrasonografik Görüntüleme	34
3.7.2. Strain Elastografi Görüntüleme	35
3.8. Kas Hasarı Değerlendirme	36
3.8.1. Kreatin Kinaz Aktivitesi Ölçümü	36
3.8.2. Kan Laktat Ölçümü	36
3.8.3. Ağrı Değerlendirmesi	37
3.9. Yorgunluk Değerlendirmesi	37
3.10. Serum Total Oksidan Kapasite, Total Antioksidan Kapasite ve Oksidatif Stres İndeksi Ölçümü	38



3.11. Plazma Viskozitesinin Ölçümü	39
3.12. İstatistiksel Analiz	39
<b>4. BULGULAR</b>	<b>41</b>
4.1. Demografik Özellikler	41
4.2. Antropometrik Ölçümler	41
4.3. Esneklik Ölçümleri	43
4.4. Anaerobik Performans Ölçüm Değerleri	44
4.5. Ultrasonografik ve Stain Elastografi Ölçüm Değerleri	45
4.6. Kas Hasarı Değerlendirmesi	46
4.6.1. Kreatin Kinaz Aktivitesi Ölçümü	46
4.6.2. Kan Laktatı	47
4.6.3. Egzersiz Grubu Ağrı Ölçümleri	48
4.7. Egzersiz Grubu Yorgunluk Değerlendirmeleri	49
4.8. Total Oksidan Kapasite, Total Antioksidan Kapasite ve Oksidatif Stres İndeksi Değerleri	50
4.9. Plazma Viskozitesi Değerleri	53
<b>5. TARTIŞMA</b>	<b>55</b>
<b>6. SONUÇLAR</b>	<b>64</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b>	<b>65</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>90</b>
<b>9. EKLER</b>	

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1</b> Kas lifi organizasyonu	14
<b>Şekil 3.1</b> Nordic hamstring egzersizi	29
<b>Şekil 3.2</b> Venöz kan örneklerinin alınması	30
<b>Şekil 3.3</b> BFub alan ölçümü USG	34
<b>Şekil 3.4</b> Strain elastografi görüntüleme	35
<b>Şekil 3.5</b> VAS skalası	37
<b>Şekil 3.6</b> Borg algılanan yorgunluk skalası	38
<b>Şekil 4.1</b> Plazma KK aktivitesi değerleri	47
<b>Şekil 4.2</b> Kan laktat ölçüm değerleri	48
<b>Şekil 4.3</b> Deneklerin VAS değerlendirmeleri	49
<b>Şekil 4.4</b> Egzersiz grubu bireylerin Borg algılanan yorgunluk değerlendirmesi	50
<b>Şekil 4.5</b> Serum TOK değerleri	51
<b>Şekil 4.6</b> Serum TAK değerleri	52
<b>Şekil 4.7</b> Serum OSİ değerleri	53
<b>Şekil 4.8</b> PV ölçüm değerleri	54

**TABLULAR DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 3.1</b> NHE protokolü	28
<b>Tablo 4.1</b> Bireylerin demografik özellikleri	42
<b>Tablo 4.2</b> Bireylerin antropometrik ölçümleri	43
<b>Tablo 4.3</b> Bireylerin esneklik ölçüm değerleri	44
<b>Tablo 4.4</b> Bireylerin anaerobik performans test değerleri	45
<b>Tablo 4.5</b> Bireylerin ultrasonografi ve strain elastografi ölçüm değerleri	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1RM	1 maksimum tekrar
ABTS	2,2'-azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid
ACSM	Amerikan Spor Hekimliği Koleji
ADP	Adenozin difosfat
AHA	Amerikan Kalp Derneği
ATP	Adenozin trifosfat
BFkb	Biceps femorisin kısa başı
BFub	Biceps femorisin uzun başı
BMH	Bazal metabolizma hızı
cm	Santimetre
EÖ	Egzersiz öncesi
ES	Egzersiz sonrası
FU	Fasikül uzunluğu
GPx	Glutasyon peroksidaz
H <sup>+</sup>	Hidrojen iyonu
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen peroksit
HDL-C	Yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol
HO <sup>-</sup>	Reaktif hidroksil radikali
KK	Kreatin kinaz
KO	Ksantinoksidaz
LE	Laktat eşiği
m	Metre
MLSS	Maksimum laktat sabit durum
mm	Milimetre
NADH	Nikotinamid adenin dinükleotit hidrojen
NHE	Nordic hamstring egzersiz
NO	Nitrik oksit
O <sup>-2</sup>	Süperoksit anyonu
O <sub>3</sub>	Ozon
OBLA	Kan laktat birikiminin başlangıcı
ONOO <sup>-</sup>	Peroksinit anyonu
OSİ	Oksidatif stres indeksi
PA	Pennasyon açısı
PV	Plazma viskozitesi
RAT	Reaktif azot türleri
ROT	Reaktif oksijen türleri
SM	Semimembranosus
SOD	Süperoksit dismutaz
ST	Semitendinosus
T2DM	Tip 2 diabetes mellitus
TAK	Total antioksidan kapasite
TOK	Total oksidan kapasite
TSM	Toplam su miktarı
USG	Ultrasonografik görüntüleme
VAS	Visual analog skalası
VKİ	Vücut kitle indeksi
VO <sub>2</sub> max	Maksimal oksijen tüketimi
VYY	Vücut yağ yüzdesi
YVK	Yağsız vücut kütlesi
YYK	Yumuşak yağsız kütle

## 1. GİRİŞ

Hamstringler, diz fleksiyonu ve kalça ekstansiyonu ile aynı anda iki farklı eklemden hareket yaptıran kas grubudur. Hamstring kas grubu semimembranosus (SM), semitendinosus (ST) ve BFub'den oluşur (Valle vd 2015). Biceps femorisin kısa başı (BFkb), BFub ile ortak bir tendonu paylaşan ve sıklıkla hamstring kası olarak kabul edilen tek eklemlilik bir kastır (van der Made vd 2015).

Hamstring yaralanma mekanizmaları ve oranları kasın her bileşeni için farklılık gösterir (Kellis 2018). BFub en sık hızlı koşu sırasında, SM ise aşırı gerilme sırasında yaralanmaktadır (Askling ve Heiderscheit 2015). Hamstring gerilme yaralanmalarına sebep olan bazı değiştirilebilir ve değiştirilemez risk faktörleri vardır (Opar vd 2012). Değiştirilemez risk faktörleri; artan yaş (Henderson vd 2010), önceki yaralanma (Hagglund vd 2006), etnik köken (Brooks vd 2006) şeklinde sıralanabilir iken, değiştirilebilir risk faktörleri; kuvvet (bilateral asimetri, hamstring/quadriceps kaslarının kuvvet oranı, zirve diz fleksiyon tork açısı gibi), maksimum esneklik ve yorgunluktur (Yeung vd 2009). Hamstring yaralanmalarında iki temel mekanizma öne sürülmektedir (Alonso-Fernandez vd 2018). Birincisi, kasın aşırı eklem pozisyonlarına maruz kalmasıyla birlikte meydana gelen yaralanmalardır (Askling vd 2003). İkincisi, yüksek hızda koşmayı gerektiren sporlara özgü olan yaralanmalardır (Bourne vd 2015). Herhangi bir koşu sırasında artmış eksantrik stres büyük oranda hamstring yaralanmasına sebep olur (Schache vd 2012).

Hamstring gerilme yaralanmaları atletizm (Opar vd 2014), Amerikan futbolu (Shankar vd 2007), ragbi (Brooks vd 2006), beyzbol (Seagrave III vd 2014), kriket (Orchard vd 2010) ve futbol gibi sporlarda en yaygın yaralanmaları temsil etmektedir; Bourne'nin (2017) bildirdiğine göre bu yaralanmalar 12 ay içinde %30 oranında tekrarlamaktadır. Eksantrik egzersiz eğitimlerinin ilk kez olan veya tekrarlayan hamstring gerilme yaralanmalarının önlenmesinde son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır (Petersen vd 2011). Çeşitli çalışmalarda, izokinetik dinamometri ile değerlendirilen eksantrik kasılmalar uygulanarak kas mimarisindeki

değişiklikler incelenmiştir (Baroni vd 2013, Timmins vd 2016). Bununla birlikte, izokinetik sistemlerin sporcuların günlük yaşamında kullanımı yüksek maliyet, karmaşık kullanım ve sınırlı erişilebilirlik açısından büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır (Sconce vd 2015). Ayrıca, bu sistemlerin kullanımı özellikle büyük sporcu gruplarında zaman alıcı olduğu için günlük eğitim ekipmanı olarak kullanılamamaktadır (Sconce vd 2015). Bu sistemler oturma pozisyonunda kullanıldığından ve mevcut spor aktivitelerine benzemediğinden fonksiyonel kabul edilmemektedir (Potier vd 2009). Sayılan sebeplerle eksenrik diz fleksör kuvvetini artıran; hamstring yaralanma ve önleme programlarına öncelik verilmesi önerilmektedir (Presland vd 2018).

Nordic Hamstring Egzersiz (NHE), özel ekipman gerektirmeyen zemin üzerinde yaptırılan eksenrik kas kasılması gerektiren bir egzersiz türüdür (Al Attar vd 2017). NHE sırasında her iki eklemdede hamstring kas aktivasyonu, geleneksel hamstring kası egzersizlerine göre daha fazla maksimal eksenrik kas kuvveti gerektirmektedir (Mjølshnes vd 2004). Direnç olarak vücut ağırlığı kullandığı ve özel bir ekipman gerektirmediği için NHE yaygın olarak kullanılmaktadır (Cuthbert vd 2019). Hamstring kasına yönelik eksenrik kas kuvvet eğitimiye yanıtlar multifaktöriyel olup; motor ünite deşarjında artış (Higbie vd 1996), hipertrofi (Bourne vd 2017) kas fasikül boyunda uzama ve pennasyon açısı (PA)'nda azalma gibi kas yapısındaki değişiklikleri içermektedir (Timmins vd 2016). NHE eğitimiyle, eksenrik kas kuvveti, kas aktivasyonu ve sıçrama yüksekliği performansının arttığı bildirilmiştir (Delahunt vd 2016). Bunun yanı sıra, 10 haftalık NHE eğitimi sonrasında sporcularda, hamstring yaralanmalarının görülme sıklığında yaklaşık %65-70 oranında azalma gözlemlendiği ve tekrarlayan yaralanmaların önleendiği tespit edilmiştir (Opar vd 2012).

Eksenrik kas kasılması ve yorucu egzersiz; inflamasyon ve kas hasarına sebep olabilmektedir. Kreatin kinaz (KK) ve kan laktat düzeyi kas hasar belirtici olarak kullanılabilir (Lima ve Denai 2015). Ağrı da kas hasarının bir göstergesi olarak ele alınmaktadır (Lima ve Denai 2015). Egzersize bağlı kas hasarıyla, azalmış glukoz alımı ve insülin duyarlılığı, bozulmuş glikojen sentezi, yüksek metabolik hız ve oksidatif olmayan metabolizmaya doğru bir kayma olmaktadır (Tee ve Bosh 2007).

Detraining, egzersizi kısmen veya tamamen bırakma süreci olarak ifade edilmektedir (Mujika ve Padilla 2000). Özellikle sedanter bireylerde sık karşılaşılan bir sorundur. Son yıllarda egzersizle elde edilmiş olan olumlu değişikliklerin egzersizin bırakılmasıyla ne kadar süreyle korunacağı konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır (Kilic-Erkek vd 2016). NHE eğitiminden sonra detraining döneminde

hamstring kas kuvvet gelişimi adaptasyonlarının korunup, korunmadığı konusunda bilinenler sınırlıdır (Presland vd 2018).

Farklı egzersiz türlerine oksidatif yanıtlar yaygın olarak incelenmiştir. Genel olarak, akut egzersizlerle serbest radikallerin arttığı, kronik egzersizle ise antioksidan savunma sisteminin uyarılması ile oksidatif stresin azaldığı ileri sürülmektedir (Pepe vd 2009). Oksidatif stres ile ortaya çıkan serbest radikaller hücrelerde hasara yol açmaktadır (Romero vd 1998). Yapılan literatür taraması sonucu, NHE eğitimiyle oksidatif stres parametrelerinin değişimlerini ve bu olası değişimlerin egzersizi bırakma sürecinden nasıl etkilendiğini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Egzersiz şiddeti arttıkça damar içinden dokular arasına sıvı çıkışı belirgin şekilde artar; bu durum hemokonsantrasyon olarak bilinir (Brun vd 2010). Egzersizin akut etkisi olarak kan ve PV arttığı bilinmektedir (Hudak vd 1986). Hematokrit değeri, PV'nin önemli bir belirleyicisi olduğundan hematokritin yüksek olması kan akışını azaltır, oksijen iletimini bozar ve dolayısıyla bireyin egzersiz performansında azalmaya sebep olur (Brun vd 2010). Egzersizi takiben saatler sonra, plazma hacminin arttığı, akut hiperviskozitenin aksine, oto-hemodilüsyonla sonuçlandığı bildirilmiştir (Ajmani vd 2003). Bu otohemodilüsyon, hematokritte azalmayla sonuçlanır, sporcularda fitness ile hematokrit arasında negatif korelasyon vardır (Ajmani vd 2003). NHE ve takip eden egzersizi bırakma süreçlerinde PV'nin nasıl değiştiği açıklığa kavuşturulamamıştır.

## 1.1. Amaç

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda tez kapsamında 10 haftalık NHE eğitimiyle;

- 1) Vücut kompozisyon analizleri, ağrı ve yorgunluk değerlendirmeleri ve kas mimarisindeki olası değişimlerin incelenmesi,
  - 2) Kas esnekliği, dikey sıçrama, öne uzun atlama gibi parametrelerdeki olası gelişimlerin ortaya konması,
  - 3) PV, kan laktat ve KK seviyesi, oksidatif stres düzeylerinin belirlenmesi,
- Yukarıda bahsedilen parametrelerde egzersize cevap olarak ortaya çıkan olası değişimlerin NHE'yi bıraktıktan sonra (detraining döneminde) 5. hafta ve 10. haftalarda nasıl bir seyir izlediklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

10 haftalık NHE eğitiminin antropometrik ölçümler, ultrasonografik görüntüleme (USG), strain elastografi ile kas sertliği, anaerobik performans testleri, oksidatif stres, PV, KK, kan laktat seviyesi üzerine etkilerinin ortaya konması, performans ve kas kuvvetini arttırmak amacıyla yaptırılan egzersiz türünün seçiminde egzersiz fizyologları, fizyoterapistler, antrenörler ve sporculara önemli bilgiler verebilecektir. Hamstring yaralanmalarını önlemek için kolay ve ucuz bir yöntem olan NHE kullanımının yaygınlaşıp yaygınlaşmamasına, önerilip önerilmemesine önemli katkılar sağlayabilecektir. Ek olarak, ne kadarlık bir detraining süreci sonrasında olası kazanımların hangisinin, ne kadar kayba uğrayacağına bilinmesi egzersize devamlılık konusunda cesaretlendirici olabilecektir.



## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMALARI

### 2.1.Egzersiz

Egzersiz, istirahat seviyesinin üzerinde bir enerji harcaması gerektiren istemli kasılmalarla hareket sağlayan kas aktiviteleri olarak tanımlanabilir (Kenney vd 2011). Tüm kas hareketleri sırasında adenzin trifosfat (ATP) şeklinde enerji gerekmektedir. Kas hareketlerini üretebilmek ve sürdürüebilmek için kullanılan metabolik enerji yolu egzersiz yoğunluğuna ve süresine bağlıdır (Westerblad vd 2010). Kas lifi içindeki üç temel enerji yolu, kas içi ATP ve kreatin fosfat depoları, anaerobik glikoliz ve aerobik fosforilasyon (oksidatif fosforilasyon) dur. Glikoliz gerçek anlamıyla glikozun yıkılması anlamına gelmektedir (Plowman ve Smith, 2014). Glikoz yıkımı 10-11 aşamalı olarak gerçekleşen bir enerji yoludur (Plowman ve Smith 2014). Glikoliz, glikojenin veya glikozun yıkımı ile başlar ve anaerobik glikoliz veya aerobik glikoliz enerji yoluyla sırasıyla laktik asit ve pürivük asit üretimiyle sona erer (Westerblad vd 2002). Birincisi, yüksek yoğunluklu kısa süreli (sadece birkaç saniye) aktivitelerde işlev görmektedir çünkü kas liflerinde ATP ve KK depoları oldukça azdır (Frontera ve Ochala, 2015). Hücreler oksijen kullanmadan da, anaerobik glikoliz yoluyla ATP oluşturmaktadır (Patel vd 2017). Anaerobik yol hızlı fosfajen sistemi ve hızlı glikolitik-laktat sistemi olarak adlandırılan glikolitik sistem olmak üzere iki enerji sistemine bölünmüştür (Barclay 2017). Anaerobik glikoliz birkaç dakika boyunca kas hareketlerini sürdürmek için hızlı bir şekilde ATP üretir, ancak son ürünleri (hidrojen iyonu ( $H^+$ ), laktat) kas fonksiyonlarını bozar ve kas yorgunluğunun oluşması ile ilişkilendirilir (Lacour 2011). Son olarak, daha uzun bir süre (dakika ile saatlerce) sürdürülebilen yoğunluklarda yapılan egzersiz için enerji; mitokondride oksidatif fosforilasyon ile sağlanır (Frontera ve

Ochala, 2015). Kapiller dolaşım aktif kas liflerine sürekli olarak oksijen taşımaktadır (Frontera ve Ochala, 2015). Aerobik enerji yolu yavaş ve daha büyük miktarlarda ATP üretir, oysa ki anaerobik enerji yolları daha hızlı ve daha az ATP üretme kapasitesine sahiptir. Hücre mitokondrisinde aerobik fosforilasyon gerçekleşirken, hücre sitoplazmasında anaerobik glikoliz gerçekleşmektedir (Dallec 2015). Karbonhidratlar ve yağlar (plazma serbest yağ asitleri ve kas trigliseritleri), ATP üretmek için kas hücresi tarafından kullanılan iki temel ana enerji kaynağıdır (Romijn vd 1993). Amino asitler ise toplam enerji üretiminin küçük bir yüzdesine katkıda bulunabilir (Frontera ve Ochala, 2015). Günlük hayatta çoğu hareket sırasında, farklı zamanlarda farklı enerji yolları harekete geçer ve kas, hareket için gereken ATP'yi üretmek amacıyla enerji kaynaklarının bir kombinasyonunu kullanır (Frontera ve Ochala, 2015). Hangi enerji kaynağının ve yollarının kullanılacağına seçimi, egzersizin yoğunluğuna ve süresine bağlıdır. Genel olarak, yüksek yoğunluklu egzersizlerde kas hareketlerinin sağlanması için baskın olarak kas glikojen depoları kullanılır (Hargreaves ve Spriet 2018). Öte yandan, düşük yoğunluklu ve uzun süreli egzersizler sırasında enerji metabolizmasında baskın olarak serbest yağ asitleri kullanılmaktadır. Ancak egzersizin yoğunluğuna bağlı olarak tek bir egzersiz seansı sırasında farklı zamanlarda farklı enerji yolları aktif hale gelse de egzersiz tipine göre ilgili enerji yollarının daha baskın olarak aktif olduğu görülmektedir (Porcari vd 2015).

Uygun egzersiz reçeteleri sağlıklı kas-iskelet sistemi dokularının (yani kemikler, kaslar ve eklemler), sağlıklı bir kardiyovasküler sistem (yani kalp ve akciğerler) ve nöromüsküler farkındalık (yani koordinasyon ve hareket kontrolü) gelişimine katkıda bulunmaktadır (Collins vd 2019). Egzersiz vücut ağırlığının korunmasını kolaylaştırır, çeşitli psikolojik faydalar sağlar (Collins vd 2019), yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL-C) (Williams 1996) düzeylerini artırır, yağ dokusu dağılımının düzenlenmesini sağlar (Schwartz vd 1991), insülin duyarlılığını artırır (Rosenthal vd 1983). Ayrıca egzersiz gelişmiş bilişsel işlev ile (Spirduso 1980) psikososyal streslere karşı bir cevap ve depresyona karşı bir engel oluşturmaktadır (Lobstein vd 1983). Düzenli egzersizin erken ölüm, kardiyovasküler hastalık/koroner arter hastalığı, hipertansiyon, inme, osteoporoz, tip 2 diabetes mellitus (T2DM), metabolik sendrom, obezite, kanser (meme, mesane, rektum, baş ve boyun, kolon, miyelom, miyeloid lösemi, endometrial, gastrik kardia, böbrek, akciğer, karaciğer, özofagus adenokarsinomu) sıklığı ile ters ilişkili olduğunu destekleyen kanıtlar vardır (Garber 2011). Düzenli olarak yapılan direnç egzersiz eğitimlerinin sporcuların atletik performansını iyileştirdiği bildirilmiştir (Fry 2004).

Amerikan Spor Hekimliği Koleji (ACSM), ve Amerikan Kalp Derneği (AHA)'nın tavsiyelerine göre (Haskell vd 2007) 18-65 yaşları arasındaki tüm sağlıklı yetişkinler, haftada en az 5 gün 30 dakika süreyle orta şiddette aerobik egzersiz veya haftada 3 gün en az 20 dakika süreyle şiddetli aerobik egzersize katılmalıdır. Her sağlıklı yetişkin en az 2 gün boyunca kas kuvveti ve dayanıklılığını koruyan veya arttıran aktiviteler gerçekleştirmelidir. Egzersiz ile sağlık arasındaki şiddet-cevap ilişkisi nedeniyle, kronik hastalıkları önlemek, yaralanma riskini azaltmak ve sağlıksız kilo alımını önlemek için, önerilen minimum egzersiz şiddetini aşarak fayda sağlanabilmektedir (Riebe vd 2018).

Egzersiz; kullanılan enerji sistemlerine (aerobik veya anaerobik), ana kas hareketlerinin şekline (sürekli ve ritmik, dinamik direnç veya statik) veya enerji sistemi ile kas hareketlerinin bir kombinasyonuna göre sınıflandırılmaktadır (Plowman ve Smith 2001). Egzersiz türüne bağlı olarak kasta yapısal ve metabolik değişiklikler meydana gelmektedir (Hunter vd 2015). Her ne kadar farklı egzersiz türlerinin çoklu kombinasyonları mümkün olsa da, klinik olarak aerobik (dayanıklılık veya kardiyovasküler olarak da bilinir) egzersiz eğitimi ve direnç (kuvvet olarak da bilinir) egzersizi olmak üzere iki tür eğitim kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır (Moggetti vd 2016).

### 2.1.1 Aerobik egzersiz

ACSM, aerobik egzersizi büyük kas gruplarının kullanıldığı, devamlı olarak sürdürülebilir doğal ritmik hareketler olarak tanımlamaktadır (Wahid vd 2016). Bu egzersiz türünde aerobik metabolizma yoluyla enerji elde edildiği için yüksek bir oksijen taşıma kapasitesine gereksinim vardır (Frontera ve Ochala 2015). Bisiklete binme, dans, yürüyüş, koşu/uzun mesafe koşuları, ve yüzme aerobik egzersiz örnekleri arasında sayılabilir (Patel vd 2017). ACSM tarafından kardiyorespiratuar sistemin oksijen sağlama ve iskelet kaslarının oksijen kullanma kapasitesinin geliştirilmesi aerobik egzersizin bir sonucu olarak tanımlanmaktadır (Thompson vd 2013).

Egzersiz sırasında kasların kullanabileceği maksimum oksijen sınırının maksimal oksijen tüketimi ( $VO_2 \text{ max}$ ) şeklinde belirtilir (Harriss ve Atkinson 2009).  $VO_2 \text{ max}$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dak}^{-1}$ ), vücut ağırlığının kilogramı başına dakikada tüketilen oksijen miktarının mililitre cinsinden ifadesi olup, sağlık ve performansın

belirlenmesinin yanı sıra egzersiz reçeteleri geliştirmek için kullanılır (Kirkeberg vd 2011). Ek olarak, aerobik egzersizden bireysel fayda sağlayan minimum egzersiz yoğunluğu kişinin, mevcut kardiyorespiratuar seviyesi, yaşı, sağlık durumu, fizyolojik farklılıkları, genetik alt yapısı, antrenman düzeyi, sosyal ve psikolojik özelliklerine göre değişkenlik gösterebilir (Garber vd 2011).

### **2.1.2. Direnç egzersizi**

Dirençli egzersiz, kas kütlelerini arttırmak amacıyla dışarıdan uygulanan bir dirence karşı düşük frekanslı, yüksek yoğunluklu kas kontraksiyonlarını içermektedir (Qaisar vd 2016). Kuvvet üretimi yüksektir ve genel olarak maksimum kuvvetin %80'i optimum olarak kabul edilir (Cormie vd 2007). En tipik örnekleri ağırlık kaldırma ve vücut geliştirme egzersizleridir (Qaisar vd 2016). Kas kuvvetini artırmak (Kraemer vd 1988) ve akut kardiyorespiratuar yanıtlarındaki değişiklikleri uyarmak için egzersiz yoğunluğu genellikle en önemli uyarıcı olarak bilinmektedir (Abrantes vd 2012). Direnç egzersiz eğitimi litatürde genellikle yük yoğunluğu bir maksimum tekrar (1 RM) yüzdesinde (% 1 RM tekrar sayısına veya hareket hızına dayanmaktadır) planlanır (Domínguez vd 2018). Orta ve uzun süre yapılan, direnç egzersiz eğitimlerinin, spor yaralanmalarını önleme, kas hipertrofisini, kas kuvvetini ve güç çıkışı artırma (Smith vd 2014) gibi yapısal ve sinirsel adaptasyonlara yol açtığı bildirilmiştir (Hunter vd 2004). Bu tür egzersizler genellikle sporcuların antrenman programlarına atletik performansı iyileştirmek için eklenirler (Fry 2004).

Anaerobik egzersizler hızlı kas kasılmalarından oluşur ve sprint, yüksek şiddetli aralıklı eğitim, ağırlık kaldırma vb. örnek olarak verilebilir (Patel vd 2017). Direnç egzersizleri ile nöromüsküler iyileşme, kas lif tipi değişimleri ve / veya iskelet kası hipertrofisi de dahil olmak üzere bir dizi potansiyel adaptasyonlar elde edilebilir (Slater vd 2019). Yağsız kas kütleleri ile rekabetçi kaldırma spor performansı arasındaki pozitif güçlü ilişki göz önüne alındığında, hipertrofiyi teşvik etmek kuvvet sporlarında özellikle önemli hale gelmektedir (Siahkoughian ve Hedayatneja 2010). Direnç egzersizine kas adaptasyon yanıtları genellikle kas kuvveti ve kas büyüklüğündeki kazanımlara odaklanırken, kas kapiller yoğunluğu (McCall vd 1996, Green vd 1999), oksidatif kapasite ve mitokondriyal protein sentezinin artması (Goreham vd 1999, Tang vd 2006) direnç egzersizlerine adaptasyonun bir parçasıdır. Direnç egzersiz eğitimi üzerine yapılan birçok çalışma, tip I ve tip II kas lifleri (Bamman vd 2007), kas kesit alanı, 1 RM ve izometrik kuvvette dikkat çekici

çeşitlilik olduğunu bildirmiştir (Camera vd 2016). Egzersiz eğitiminin şiddeti ve sıklığı, setler arasındaki dinlenme süreleri, eğitim durumu ve alışılmış beslenme / beslenme etkileşimi gibi çok sayıda faktör bu değişkenliğe katkıda bulunmakta olup, bu çeşitlilik içinde adaptasyonların moleküler temeli çok az anlaşılmıştır (Camera vd 2016). Literatürde hipertrofi duyarlılığında anabolik hormonlardaki değişikliklerin (Kraemer ve Ratamess 2005), satellit hücresi aktivitesinin (Petrella vd 2008) ve miyojenik gen ekspresyonunda (Bamman vd 2007), bireyler arasındaki farklılığın altı çizilmektedir. Elit gençlik rugby ligi sporcuları arasında, kuadriseps kas hipertrofisinin koşu hızı ile ilgisi gösterilmiştir (Waldron vd 2014).

Kas gücü ve kütlesini uyaran egzersizler, kemik mineral yoğunluğu ve içeriği ile stres altındaki özgül kemiklerin kuvvetini artırmakta olup, osteoporozlu bireylerde kemik kaybını önlemek, yavaşlatmak veya tersine çevirmek için değerli bir ölçü işlevi görebilmektedirler (Chodzko-Zajko vd 2009). Dirençli egzersiz eğitiminin osteoartritli bireylerde ağrı ve yaralanmayı azaltabildiği (Garber vd 2011) ve kronik sırt ağrı tedavisinde etkili olduğu gösterilmiştir (Vincent vd 2014). Bununla birlikte, direnç egzersizlerinin kronik hastalık riskini azaltmada aerobik egzersiz kadar etkili olabileceği ve özellikle yaşlı erişkinlerde hareketliliğin sürdürülmesinde güçlü bir etkisinin olduğunu öne süren kanıtlar ortaya çıkmaktadır (Stamatakis vd 2018). Yüksek kas kuvveti; azalmış kardiyometabolik risk faktörleri, ölüm riski ve kardiyovasküler hastalık ile ilişkilendirilmiştir (Garber vd 2011). Son zamanlarda yapılan incelemelerde, yetişkinlerdeki direnç egzersizlerinin kas gücü, yürüme hızı ve fiziksel performansı önemli ölçüde artırabileceği gösterilmiştir (Jadczak vd 2018). 33 randomize kontrollü çalışmanın verileri, direnç egzersizinin fiziksel fonksiyonda istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme ile sonuçlandığını göstermiştir (Liu ve Latham 2009). Hafif veya orta derecede hipertansiyonu olan bireylerde düzenli direnç egzersiz eğitiminin, vücut kompozisyonu, kan glukoz seviyeleri, insülin duyarlılığı ve kan basıncı gibi sağlıkla ilgili biyobelirteçlerde iyileşmelere yol açtığı gösterilmiştir (Garber vd 2011). 30 yaş ve üstü 80.000 yetişkinde haftada en az iki kez yapılan direnç egzersizlerinin kanser mortalitesini %34 azalttığını bildirilmiştir (Cormie vd 2017), kanser tanısını takiben düzenli hem direnç hem de aerobik egzersizlerin kansere özgü mortalite, kanser tekrarlama ve tüm nedenlere bağlı ölüm üzerinde koruyucu bir etkisinin olduğu gösterilmiştir (Mcleod vd 2019). Kardiyorespiratuar dayanıklılıktan bağımsız olarak, kas kitlesi ve gücü kardiyovasküler hastalık ve mortalite riski ile ilişkilidir (Kim vd 2017). Ek olarak, haftada en az 30 dakika süreyle uygulanan direnç egzersizinin miyokard enfarktüsü riskini 2,5 saatlik hızlı yürüyüş ile benzer oranda azalttığı görülmüştür (Tanasescu vd 2002). Kadınlarda, haftada 60-120 dk direnç egzersizi ile 60-120 dk/hafta aerobik egzersizin kardiyovasküler

hastalık riskini benzer oranda azalttığı gösterilmiştir (Shiroma vd 2017). Son veriler, dirençli egzersiz eğitiminin T2DM'nin (Yang vd 2014) tedavisinde ve aşırı kilolu/obez olan kişilerin kan lipit profillerinin iyileştirilmesinde aerobik eğitim kadar etkili olduğunu göstermektedir (Schwingshackl vd 2014).

### 2.1.3. Nordic hamstring egzersizi

NHE diz çökmüş bir pozisyondan öne doğru düşerken harekete karşı direnmeye çalışan bireyin, hamstring kaslarına eksantrik fazda yüklenmeyi en üst düzeye çıkartan (Al Attar vd. 2017), dizin uzamasıyla yüksek kas kuvvetini uyaran eksantrik, vücut ağırlıklı bir egzersizdir (Iga vd 2012). Birey daha sonra (tırmanış aşaması) başlangıç konumuna geri dönmek için kuvveti sağlamak amacıyla üst gövdeyi kullanır (Mendiguchia vd 2013, Van der Horst vd 2015). NHE saha tabanlı bir egzersiz türü olup, yardımcı eşliğinde yapılır (Mjøl̈snes vd 2004). Yardımcı, bireyin ayaklarının yerle temas halinde olmasını sağlar ve egzersiz boyunca bireyin ayak bileklerinden baskı uygular (Van der Horst vd 2015). NHE özel bir ekipman gerektirmediğinden sahada kolayca uygulanabilir bir egzersiz modelidir (Al Attar vd. 2017). NHE sırasında her iki diz ekleminde hamstring kas aktivasyonu, geleneksel hamstring kas egzersizlerine göre daha fazla maksimal eksantrik kas kuvveti gerektirir (Mjøl̈snes vd 2004). Gövde ve kalça kasları da aktive olur (Narouei vd 2018). Direnç olarak vücut ağırlığı kullanıldığı için NHE reçetesi yaygın hale gelmiştir.

NHE quadriceps kasında düşük bir ko-kontraksiyona da yol açmaktadır ancak, quadriceps kasındaki kasılma çok fazla değişmediği için hamstring kasının nöromusküler kontraksiyonunun daha çok geliştiği öne sürülmüştür (Delahunt vd 2016). NHE son zamanlarda koruyucu bir önlem ve rehabilitasyon aracı olarak kullanılmaktadır (Thorborg 2012). Amatör ve elit futbolcularda tekrarlayan hamstring yaralanmalarını önlemede 10 haftalık NHE protokolü, birçok yeni denemede etkin bir şekilde başarılı olmuştur (van der Horst vd 2015). Elit spor kulüpleri tarafından da zaman zaman NHE protokolü uygulanmaktadır (Bahr vd 2015). NHE'nin sprint için gerekli olan eksantrik hamstring kas kuvvetini artırdığı gösterilmiştir (Morin vd 2015)

İskelet kasları, vücut ağırlığını yerçekimine karşı desteklemek, şokları absorbe etmek ve elastik geri çekme enerjisini konsantrik kasılmalara hazırlık olarak depolamak için eksantrik olarak kasılırlar (LaStayo vd 2003). Hareket esnasında kaslarda gerginlik oluşturan dinamik bir uzama meydana gelirse, bu tür kasılmalar

eksantrik kas kontraksiyonları olarak adlandırılır (Plowman ve Smith 2014). Eksantrik kas kasılmaları sırasında kaslara uygulanan kuvvet kasın kendisi tarafından üretilen anlık kuvveti aşar ve kas-tendon biriminin zorunlu olarak uzamasına neden olur (Woods vd 2004). Eksantrik kasılmalar özellikle hareketin yavaşlamasından sorumlu olduğu için genellikle yaptıkları iş negatif olarak sonuçlanmaktadır (Hoppeler 2016). Her zaman belli olmasa da, eksantrik kas kontraksiyonları günlük aktiviteler veya spor sırasında çoğu hareketin ayrılmaz bir parçasıdır (Hody vd 2019). Merdivenden inme, aşağı doğru koşma veya yürüme bu kasılmalara örnek olarak verilebilir (Gault ve Willems 2013). Eksantrik kasılmalar sırasında belirli bir açısız değerinde hız için konsantrik veya izometrik (sabit uzunlukta) kasılmalara göre daha büyük kuvvetler üretilmektedir (Hortobagyi ve Katch 1990). Ek olarak, eksantrik kasılmalar daha az motor ünite aktivasyonu gerektirmekte ve belirli bir kas kuvveti için konsantrik kasılmalardan daha az oksijen ve enerji tüketilmektedir (Abbott vd 1952). Yapılan çalışmalarda, eksantrik egzersizler için gerekli olan metabolik enerji harcamasının, konsantrik olarak yapılan aynı egzersizden yaklaşık dört kat daha düşük olduğu gösterilmiştir (Hody vd 2019). Ek olarak, eksantrik egzersizde aynı iş yükündeki konsantrik egzersize kıyasla azalmış kardiyorespiratuar ve hemodinamik cevaplar bildirilmiştir (Overend vd 2000). Birçok soru halen cevapsız kalmayı sürdürse de, eksantrik kasılmaları kontrol eden nöral yolların konsantrik veya izometrik kasılmalardan önemli ölçüde farklı olduğu kabul edilmiştir (Duchateau ve Baudry 2014). Eksantrik egzersiz eğitimlerinin ilk kez veya tekrarlayan hamstring gerilme yaralanmalarının önlenmesinde son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır (Woods vd 2004, van der Horst vd 2015).

## **2.2. Egzersizi Bırakma (Detraining)**

Detraining, egzersiz eğitiminin azaltılması veya egzersiz eğitimini bırakmanın sonucu olarak eğitime bağlı uyarlamaların kısmi veya tam kaybedilmesidir (Mujika ve Padilla 2000). Egzersiz eğitiminin geri dönüşlülük prensibine göre, eğitim adaptasyonları tersine çevrilebilir (Gordon ve Patullo 1993). Detraining, yaralanma, hastalık veya planlı bir periyodik geçiş aşamasına uyulmaması nedeniyle oluşabilir (Plowman ve Smith 2014). Egzersiz eğitiminde oluşan fizyolojik adaptasyonların geri dönüşlülük miktarı; bireyin antrenman durumuna, genetik özelliklerine, egzersizin yoğunluk, şiddet ve sıklık bileşenlerinin ne kadar azaltıldığına ve egzersizin ne kadar süre bırakıldığına bağlıdır (Letieri vd 2018). Tüm fizyolojik değişkenler aynı hızda (günler ve aylar arasında) adaptasyon sağlamadığından, aynı oranda da geri

dönmemektedir (Joo 2018). Egzersiz eğitimine adaptasyonlar literatürde daha çok incelenmiş olmasına rağmen, detraining hakkındaki bilgiler daha azdır. Farklı egzersiz eğitimleriyle elde edilen kazanımların geri dönüş süreci net olarak açıklanamamıştır (Van Roie vd 2017)

Detraining ile kuvvet ve sprint sporcularında kas lifi kesit alanının azaldığı tespit edilmiştir (Mujika ve Padilla 2000). Detraining sürecinin hem kas kütlelerinin azalmasına hem de kas atrofisine neden olduğu bildirilmiştir (Klausen vd 1981). Lemmer ve arkadaşları (2000), güç kaynaklı eğitim adaptasyonlarının, ilk 12 hafta boyunca genç ve yaşlı erkek-kadınlarda eşit olarak korunmuş gibi görüldüğünü, ancak daha sonra önemli ölçüde kayıplar sergilediklerini göstermişlerdir (Lemmer vd 2000). Detraining süreci sonunda esneklik ve kardiyorespiratuar kayıpların kas kuvveti kayıplarından daha büyük olduğu ileri sürülmüştür (Lemmer vd 2000). Haftada 3 kez yapılan 3 aylık kuvvet eğitiminin ardından, egzersiz eğitimini haftada bir seansa düşüren kişiler, 3 aylık eğitim döneminde elde edilen kuvvet kazanımlarının çoğunu başarıyla koruyabilmişlerdir (Powers ve Howley 2015). Özellikle NHE eğitiminin kas mimari uyarlamaların detraining boyunca sürdürülüp sürdürülmediğine dair çok az kanıt vardır (Presland vd 2018).

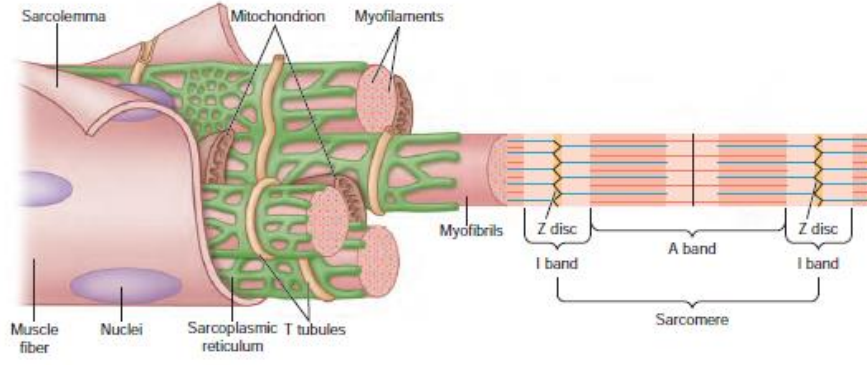
### 2.3. İskelet Kas Mimarisi

İskelet kası mimarisi, miyofibrillerin (kas lifleri) ve ilgili bağ dokusunun çok özel bir şekilde düzenlenmesi ile karakterizedir (Şekil 2.1). Kasın büyüklüğü genel anlamda miyofibrillerin sayısı ve büyüklüğü ile belirlenir (Fortin vd 2014, Widmaier vd 2019). Her bir kasın binlerce miyofibrilden oluştuğu ve milyarlarca miyofilament içerdiği tahmin edilmektedir (Widmaier vd 2019) (Şekil 2.1). Kas lifleri çok çekirdekli olup, her çekirdek, hücrenin o bölgesinde sentezlenen protein türünü kontrol etmektedir (Frontera ve Ochala 2015). Bu bölgeler düzenli dizilim gösteren nükleer alanlar olarak bilinir, ancak sabit olmayan bir boyuta sahiptir (Hikida 2011). Su içeriği dikkate alınmadığında, tek bir myofilament çoğunlukla %80 protein (kasılma, düzenleyici, kas-iskelet sistemi) ve %8 sarkoplazmadan oluşur (Hoppeler vd 1973). Aktin ve miyozin kasılmada görev alan iki temel miyofilamenttir. Bu yapılar bir miyofibrilin toplam protein içeriğinin yaklaşık %70-80'ini oluşturur. Aktin ve miyozin düzenli şekilde bir araya geldiklerinde iskelet kasının en küçük kasılma birimi olan sarkomeri meydana getirirler. İnsan iskelet kasları miyofibrillerin biyokimyasal, mekanik ve metabolik fenotiplerindeki önemli değişkenlikler nedeniyle farklılık gösterir. Bu farklılık fizyolojik açıdan önemli bir özelliktir, çünkü bu, kasın çeşitli



metabolik ve mekanik aktivitelere katılmasını sağlar (Frontera ve Ochala 2015). Metabolik talepleri karşılayacak kapiller yoğunluğu miyofibril tipine bağlı olarak kas mimarisini de değiştirmektedir (Liu vd 2012). İskelet kası lifleri çeşitli sınıflandırmaları olsa da genellikle, "yavaş kasılan" (tip I) ve "hızlı kasılan" (tip II) olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma miyozin ağır zinciri gen ekspresyonunun farklılıklarından kaynaklanır (Talbot ve Maves 2016). Ayrıca insan iskelet kasında tip II lifleri, tipIIa ve tip IIx olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu kas lifleri en hızlı kasılıandan en yavaş kasılıana doğru sırasıyla tipIIa, tipIIx ve tipI şeklindedir (Talbot ve Maves 2016). Herhangi bir kastaki kas liflerinin oranı kasın özelliğine göre değişebilir ve farklı kullanımlara adapte olan kaslara yardımcı olmak için özelliklerini yeniden şekillendirme yeteneğine sahiptir. Örneğin aerobik egzersiz türleri tip I liflerinin oranını artırmaktadır (Bassel-Duby ve Olson 2006).

Sarkomer miyofibrildeki en küçük temel kasılma birimidir (Şekil 2.1). Her bir sarkomer kuvvet üretebilmek için gerekli olan kasılma proteinlerini ve biyokimyasal bileşikleri içermektedir. Binlerce sarkomer bir miyofibril oluşturmak üzere uç uca bağlanır ve bir kas birbirine paralel olarak düzenlenmiş yüzlerce miyofibril içerir (Ertbjerg ve Puolanne 2017). Kas lifleri, kasın iskelet sistemi üzerine uyguladığı çekme kuvveti ile aynı yönde bir pennasyon açısı (PA) konumlanmıştır. İskelet kaslarındaki sarkomerlerin anatomisi kas liflerinin güç kapasitesinden etkilenmektedir. Bunun için anahtar parametreler kas liflerinin uzunluğu, paralel olarak düzenlenmiş liflerin sayısı ve PA'dır. Kas liflerinin sıfır olmayan bir PA ile düzenlenmesinin nedenlerinden biri, dokunun birim hacmi başına kas kesitsel alanını en üst düzeye çıkarmaktır (Kilarski 2018). İskelet kasının kuvvet üretme potansiyelini etkileyen faktörler arasında lif tipi dağılımı (Lieber vd 2011), sinir varyasyonları (Waugh vd 2013) ve kas mimarisi bulunmaktadır (Lieber 1993). Kasın mimari özellikleri sadece maksimum kuvvet çıkışını değil, aynı zamanda kas uzunluğu, kasılma hızı kas yaralanması arasındaki ilişkiyi de etkiler (Lieber ve Frider 2000). Başlıca mimari değişkenler, kas tendon birimi uzunluğu, kas uzunluğu (KU), fasikül uzunluğu (FU), PA, anatomik kesit alanı ve kas hacmini içerir (Kellis 2018). Kasın mimari özellikleri uyarlanabilir ve gerilme yaralanmaları da dahil olmak üzere çeşitli uyaranlar ile değiştirilebilir. FU, kuvvet-hız, kuvvet-uzunluk ilişkilerinde önemli bir etkiye sahiptir ve eksantrik kasılmalarla değiştirilebilir (Timminis vd 2016).



**Şekil 2.1** Kas lifi organizasyonu (Plowman ve Smith 2014)

### 2.3.1. Hamstring kas mimarisi

Hamstringler aynı anda iki eklemden (diz fleksiyonu ile kalça ekstansiyonu) hareket yaptıran kas grubudur (Schache vd 2012). Hamstring kasının parçası olan BFub daha kısa ve pennat lifler içerir. SM, BFub ile benzer bir kas mimarisine sahiptir. Ancak BFub ile karşılaştırıldığında farklı bir proksimal bağlanma ve farklı moment kollarına sahiptir (Kellis 2018). Genel olarak, hamstringler quadriceps kasına oranla daha düşük kuvvet üretimi, daha hızlı gerilme ve yüksek kontraktil yapıya sahiptirler (Friederich ve Brand 1990). Örneğin tüm kas grubu ele alınacak olursa hamstring kas grubu quadriceps kas grubuna göre daha düşük kas kütlesi ve anatomik kesit alanı içerir (Ward vd 2009). Diğer bir görüşe göre ise BFub tip II (hızlı kasılan) kas liflerinden oluşmaktadır ve bu nedenle yaralanmalara karşı daha duyarlıdır (Garrett Jr vd 1984). Son araştırma bulguları hamstring kas grubu liflerinin paralel bir dizilime sahip olmadıklarını aksine kas liflerinin diziliminde farklılıklar olduğunu, kemiğe belli bir PA ile bağlandıklarını ortaya koymuştur (Kellis vd 2012). PA ile ilgili literatürde farklı bilgiler mevcuttur. Örneğin BFub PA'nın  $0^{\circ}$ - $28^{\circ}$  arasında değiştiği bildirilmiştir (Kellis 2018). Benzer şekilde bazı çalışmalar BFub PA'nın  $12^{\circ}$ 'ye kadar ulaştığını göstermiştir (Kellis vd 2009, Ward vd 2009). Diğer çalışmalarda ST'nin paralel bir lif dizilimine sahip olduğu bildirilmiştir (Makihara vd 2006). Ayrıca ST'nin FU'nun 9 ile 23,8 santimetre (cm) arasında değiştiği bildirilmiştir (Friederich ve Brand 1990, Makihara vd 2006). Raporlanan verilerdeki bu temel değişkenlikler kastaki farklı bir alana, farklı bir eklem pozisyonuna ve ölçülen mimari parametreye bağlanabilmektedir (Woodley ve Mercer 2005). Kas yapısındaki bu farklılıklar hamstring kasının hem kuvvet oluşturma kapasitesi hem de yaralanma potansiyeli üzerinde etkilidir (Opar vd 2012). Performans açısından basit olarak tahmin edilen modellerde, BFkb'nin kısa uzunluklarda daha fazla güç ürettiğini, BFub ve SM'nin

orta uzunluklarda hamstring kas kuvvetinin nerdeyse %80'ini ürettiğini, ST'nin ise uzun kas uzunluklarında daha düşük kas kuvveti açığa çıkardığını göstermiştir. Örneğin, daha büyük açılarda ve daha kısa uzunluk aralıklarında (12.5°, 112.3 mm uzunluk) SM fasiküllerinin nispeten daha yüksek kuvvet üretmesi beklenir. Bu kuvvet farklılıklarının nedeni ST ve SM'nin mimari özellikleri ile açıklanabilir (Kellis vd 2012). Sinerjik gruplar içerisindeki bu kas yapıları, farklı genişlik, aralık ve hız özelliklerine sahip kuvvetler üretebilirler. Yaralanma yönünden bakıldığında daha büyük lif uzunluğuna sahip olan kaslar, kısa lifli kaslara kıyasla daha çok uzama kapasitesine sahiptir. Bu nedenle tüm hamstring kasları eksantrik olarak kasıldığında kısa lif uzunluğuna sahip kaslar daha fazla yaralanabilmektedir (Lieber ve Friden 2000). BFub ve SM yüksek gerilme sonunda kası daha çok yaralanmaya götürmektedir (Kellis 2018). BFub yaralanmalarında, yaralanmanın olmadığı kontralateral kasa göre FU'nun azaldığı görülmektedir (Timmins vd 2015). Bu değişiklikler kasın fonksiyonunu etkilemekte olup, daha uzun FU daha hızlı kasılma (Lieber ve Ward 2011) ve daha az yaralanma ile ilişkilidir (Timmins vd 2015). Eksantrik kasılmalar kas FU değerlerinin artması ve PA'nın azalmasına da neden olabilirler (Potier vd 2009). Son zamanlarda BFub 10.56 cm'den kısa olan elit sporcuların daha uzun FU'ya sahip sporculara göre bir sonraki sezonda hamstring gerilme yaralanması riskinin 4 kat daha fazla olduğu gösterilmiştir (Timmins vd 2016). NHE'ye cevaben meydana gelen yaralanma önleyici mekanizmalar tam olarak anlaşılmamış olmasına rağmen, 4-10 haftalık NHE eğitiminin BFub FU'da 1,9 ila 2,2 cm artış sağladığı (Alonso-Fernandez vd 2018) ve diz fleksör kuvvetinde %7-27'lik bir artışa neden olduğu gösterilmiştir (İga vd 2012). Bununla birlikte, 4-6 haftalık NHE eğitimi aynı zamanda FU veya eksantrik diz fleksör kuvvetinde bir değişiklik ile sonuçlanmamıştır (Seymore vd 2017).

#### **2.4. Kas Hasarı**

Hough (1902) ilk olarak iskelet kasındaki geçici kas hasarını tanımlamış ve kas ağrısının kastaki mikro travmadan kaynaklandığını ileri sürmüştür. (Hough 1902) Sonraki yüzyıllarda, kas hasarı özellikleri ve belirtileri ile fiziksel olarak ve kas hasarına neden olan mekanizmalar araştırılmıştır. Egzersiz kaynaklı kas hasarı, akut ve yorucu egzersiz sonrasında geçici şişlik, ağrı ve fonksiyonel kayıp gibi semptomlarla ortaya çıkan dejenerasyon ve rejenerasyon süreçlerini içermektedir. Egzersize bağlı kas hasarını araştıran çok sayıda çalışma olmasına rağmen, henüz hasar gelişimini yönlendiren evrensel olarak kabul edilen bir mekanizma ortaya

konamamıştır (Hubal 2006). Tüm egzersiz tipleri maksimum kuvvetle gerçekleştirildiğinde ağrı ile sonuçlanabilmektedir (Proske ve Morgan 2001). Bazı araştırmalar eksantrik kas kasılmalarının konsantrik ve izometrik kas kasılmalarına göre kas hasarını daha fazla tetiklediğini bildirmiştir (Thorborg 2012). Kas adaptasyonlarının uyarılmasında etkili oldukları gösterilmiş olsa da eksantrik egzersizler, geçici olarak maksimum kuvveti azalmakta (Golden ve Dudley 1992) ve kas hasarı oluşturmaktadırlar (Miliadis vd 2005). Bireyin eksantrik egzersize adaptasyonu yoksa akut egzersizi takiben ertesi günlerde daha fazla ağrı ve sertlik yaşanabilmektedir. Bu ağrı ve sertlik egzersizden bir kaç saat sonra başlar ve yaklaşık 48 saatte zirve yapar (Fernandez-Gonzalo vd 2014)

Eksantrik egzersizler dikkatli bir şekilde uygulanmadıklarında hücre membranlarının bozulmasına ve aşırı sarkomer gerimi ile miyofibriler hasarından olabilmektedir (Lieber ve Friden 1999). Eksantrik kasılmalar sırasında çapraz köprü döngüsünde filamentler birbirinden ayrılmaktadır (Douglas vd 2017). Bu ayrılma, sarkomerlerin mekanik olarak bozulmasına, dolayısıyla kas hasarına ve ağrıya neden olabilmektedir (Peake vd 2005). Ayrıca eksantrik kasılmalar çeşitli kas proteinlerinin parçalanmasıyla ilgili yolları uyarıp inflamasyona sebep olmaktadır (Baumert vd 2016). Egzersize bağlı kas hasarı sırasında KK, troponin I ve miyogloblin gibi kas içi enzimler dolaşıma çıktıklarından KK, miyogloblin veya  $\alpha$ -aktin gibi özgül proteinler kas hasar belirteçleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Martinez Amat vd 2007). Tip I liflerine kıyasla Tip II lifleri kasılma kaynaklı kas hasarına daha duyarlıdır (Macaluso vd 2012). Bu durumun lif yapısı ve metabolik enerji farklılıklardan kaynaklandığı öne sürülmektedir (Proske ve Morgan 2001). Dolayısıyla eksantrik egzersiz, iskelet kasında kas liflerine özgü kas hasarına neden olur (Friden ve Lieber 2001).

Egzersiz ile oluşan kas hasarında metabolizmanın oksidatif olmayan yöne doğru kayma eğiliminde olduğu gösterilmiştir (Tee vd 2007). Şiddetli egzersiz türlerinin serbest radikal üretimini artırarak oksidatif strese neden olduğu bilinmektedir. Reaktif oksijen türleri (ROT)'nin eksantrik egzersiz sonrası kas lifi hasarının başlangıcında ve ilerlemesinde önemli rol oynadığı ileri sürülmektedir (Stagos vd 2015). Ayrıca, eksantrik egzersizden sonra nötrofil ve makrofajların kas dokusunda yaralanma yerine infiltrasyonunda çeşitli ROT artışında rol alır (Beaton vd 2002). Egzersize bağlı kas hasarı, egzersiz sırasında meydana gelen ilk hasar ve gecikmiş inflamatuvar yanıtla bağlantılı ikincil hasar olarak 2'ye ayrılarak incelenebilir (Howatson ve Van Someren 2008). Bu fazları takiben kasta yeniden şekillenme meydana gelmektedir (Flann vd 2011). Belli bir miktar kas hasarının kasın yeniden

şekillenmesi, hipertrofi ve güç kazanımı için pozitif bir uyarıcı olduğunu gösteren kanıtlar vardır (Roig vd 2008). Kronik eksantrik egzersiz eğitimine yanıt olarak kas kuvveti ve kas kütlelerinin diğer kasılma türlerine göre daha fazla arttığı, kas hasarı ve inflamatuvar yanıtların azaldığı bildirilmiştir (Norrbrand vd 2008).

#### **2.4.1.Kreatin kinaz**

Kreatin diyetle alınabilen ve non-esansiyel aminoasitlerdendir. Vücuttaki kreatininin yaklaşık %95'i, enerji metabolizmasında yer alır, kreatin veya fosfokreatin olarak iskelet kasında depolanır. Yüksek yoğunluklu egzersiz (örneğin, 100 m sprint, bir set squat) sırasında kullanılan ATP'nin yerine konuncaya kadar enerji sağlamak için kas fosfokreatin depolarından yararlanılmaktadır (Rawson vd 2017). KK ATP ve kreatin oluşturmak üzere fosfokreatin ve ADP arasındaki yüksek enerjili fosfat bağlarını tersinir şekilde katalize etmektedir (Brancaccio 2017). Mevcut amaçları doğrultusunda, kasların enerji üretme sistemi KK tarafından tamponlanmış ATP arz ve talep sistemi olarak özetlenebilir (Kemp 2019). Dolayısıyla KK hücrel enerji homeostazının merkezi kontrollerinden birisidir (Schlattner 2006). Hücre sitoplazmasında KK, iskelet kasları-KK, kardiyak kasları-KK ve beyin dokusu-KK olmak üzere üç izoform şeklinde bulunmaktadır (Koch vd 2014). İskelet kasları-KK, kas lifleri gibi ATP tüketiminin yüksek olduğu hücrelerde bulunur (Brancaccio vd 2008). KK izoformlarının dağılımının her bölgede farklı olması doku hasarının yeri hakkında bilgi sağlayabilmektedir (Koch vd 2014). Örneğin, akut miyokart enfarktüsünden sonra dolaşımdaki kardiyak kasları-KK izoformu yükselir (Brancaccio vd 2008). Beyin hasarının beyin dokusu-KK artışına neden olduğu gösterilmiştir (Pfeiffer vd 1983). İskelet kasları-KK izoformu ise miyopatiler veya egzersize bağlı kas hasarının bir belirteçidir (Nigro vd 1983). Serumda İskelet kasları-KK görülmesi, sarkomer içinde hem metabolik hem de mekanik bozuklukların meydana geldiğini göstermektedir (Enns ve Tiidus 2010).

Şiddetli egzersiz, dolaşımda KK artışına neden olabilmektedir (Koch vd 2014). Kasa alışılmadık ve sınırlarının dışında bir yükleme yapılan egzersizler kas hasarı oluşturur ve hücre membran geçirgenliğinde bir artış yapar (Lima ve Denadai 2015). Kas membran geçirgenliğinin artmasıyla KK hücreler arası sıvıya geçer ve buradan da lenfatik sistem yoluyla kan dolaşımına katılır (Bijsterbosch vd 1985). Direnç egzersizi kas dokusunda bölgesel hasara neden olabilmektedir (Koch vd 2014). Belirgin şekilde eksantrik kas kasılmaları şiddetli ağır egzersiz türlerinden olup, sarkomerde kopmalara veya hasara, sarkolemma (Takekura 2001) bazal

lamina ve destek bağ dokusunda büyük yırtılmalara neden olabilir (Clarkson ve Sayers 1999). Sarkolemma ve kas liflerindeki Z-diskleri zarar gördüğünde dolaşımdaki KK seviyelerinde artışlar meydana gelmektedir (Brancaccio vd 2010). Tüm kas kasılmalarının kaslara zarar verebileceği gösterilmiş olsa da iskelet kası hasarı etiyolojisinde en sık rastlanan eksantrik tip egzersizdir (Tee vd 2007). Tipik olarak, serum KK aktivitesi direnç egzersizinden birkaç saat sonra artmaktadır (Karasiak ve Guglielmo 2018). KK aktivitesinin dinlenme durumunda normal değer aralığı  $60-400 \text{ UL}^{-1}$ 'dir (Schlattner vd 2006). Akut egzersizden 24 ila 96 saat sonra herhangi bir yerde KK aktivitesinin  $300-6000 \text{ UL}^{-1}$  arasında değişen seviyelere ulaştığı bildirilmiştir (Brancaccio vd 2007). KK seviyesinin egzersiz sonrası ne kadar yükseldiği ve hangi zaman aralığında en yüksek seviyeye ulaştığı egzersizin yoğunluğuna, türüne ve bireysel farklılıklara bağlı olarak değişkendir (Machado vd 2012). Egzersiz ile oluşan kas hasarının derecesini, yükün büyüklüğü (McHugh ve Tetro 2003), kas kasılmasının hızı (Chapman vd 2006), egzersiz sırasında miyofibrillerin uzunluğu (Proske ve Allen 2005), kişinin egzersiz eğitimi alıp almaması belirleyebilir (Newton vd 2008).

Kas hasarı rekabet sporlarında fiziksel performansı azaltır (Silva vd 2018). Bu durumun kuvvet üretimi ve güç çıkışı azalttığı bilinmektedir (Isner-Horobeti vd 2013). Eksantrik egzersizin ardından yaklaşık bir hafta kadar maksimum istemli kasılmalarda %10-60 oranında bir azalma olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Guilhem vd 2010). Eksantrik bir bisiklet egzersizinin ardından 48 saat boyunca güç üretiminde yaklaşık %11-15 oranında azalma görölmektedir (Elmer vd 2010). Bu durum özellikle en fazla kuvvet üreten (örneğin diz ekstansörleri) kas gruplarında daha belirgindir (Elmer ve Martin 2010). Egzersize bağlı kas hasarının ardından kaslara özgü bir biçimde yürüyüşün de etkilendiği görölmüştür (Paschalis vd 2007). Yapılan çalışmalarda yokuş aşağı koşma sonrasında 3 gün boyunca, koşu ekonomisinin bozulduğu görölmüştür (Chen vd 2007). Kasılmaya katılan miyofibril sayısı arttıka bu bozulmanın daha da arttığı bildirilmiştir (Chen vd 2009). İzokinetik eksantrik diz ekstansör egzersizini takiben 48 saat boyunca bireylerde yürüme ve koşma sırasında diz hareket açıklılığının azaldığı gözlenmiştir (Paschalis vd 2007).

### 2.4.2. Kan laktatı

Laktik asit, karbonhidratların anaerobik glikoliz yoluyla parçalanmasının ürünüdür. Laktik asit daha sonra hızlı şekilde laktat ve  $H^+$  iyonlarına ayrışır ve hücrede asidozu teşvik eder. Glikoliz sırasında glukoz iki piruvat molekülüne parçalanır, oksijen varlığında piruvat daha sonra mitokondride Krebs döngüsüne girer ve aerobik solunum ile enerji elde edilir (Theofilidis vd 2018). Eğer ortamda oksijen yetersiz ise laktik asit oluşur. Ortalama bir yetişkinde günde yaklaşık 1.500 mM laktik asit üretilir ve günlük olarak kaslardan (% 25), deriden (% 25), beyinden (% 25), eritrositlerden (% 20), bağırsaklardan (% 10) kan dolaşımına girer (Sun vd 2017). Laktik asitin yaklaşık %99'u laktat ve  $H^+$  olmak üzere ayrışır ve vücut pH'nının 7.35-7.45 aralığında tutulmasına katkı sağlar (Gladden 2004). Oluşan laktat ve  $H^+$  ağırlıklı olarak karaciğer tarafından glukoneogenez (Cori döngüsü) ve ATP üretimi (oksidatif fosforilasyon, Krebs döngüsü) yoluyla kandan temizlenir (Sun vd 2017). Egzersiz ile laktatın karaciğere alımı 10 kata kadar artabilmektedir (Capaldo 1999). Dinlenme ve egzersiz sırasında kan laktat değerleri, laktik asit/laktat üretimi ile uzaklaştırma arasındaki dengeye bağlıdır. Laktat üretimi uzaklaştırma miktarını aştığında kanda laktat birikmeye başlar (Plowman ve Smith 2014). Bu birikme noktasına laktat eşiği (LE) adı verilir (Brooks 1985). Laktat kanda başlangıçta egzersizin şiddetinin yükselmesiyle küçük artışlar gösterir; yavaş yavaş artar maksimum güç çıkışının olduğu noktada kanda hızla birikmeye başlar (Wang Emhoff 2013).

Egzersizizi sürdürebilmek için iki farklı metabolik enerji yolunun olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan birincisi laktat üretimi ve tüketiminin dengede olduğu uzun süre dayanılabilecek bir egzersiz yüklemesi, ikincisi ise egzersiz yoğunluğunu koruyabilmek için yüksek laktat üretiminin fazla olduğu ve kanda laktat birikiminin olduğu yüküdür (Billat 1996). Sporcuların ve antrenörlerin LE olarak adlandırdıkları egzersiz yoğunluğu; en yüksek sürdürülebilir LE'nin hemen altı egzersizi temsil etmektedir (Dalleck 2015). Laktat üretiminin fazla olduğu ve kanda laktat birikiminin arttığı egzersiz yüklerinde oluşan asidoz nedeniyle kaslarda yorgunluk oluşmaktadır (Rutt 2014). Kas yorgunluğuna yönelik laktik asit hipotezi, "çalışan kasta laktat veya asidoz birikiminin doğrudan veya dolaylı olarak (metabolizma yoluyla) kas kasılmasını inhibe ettiğini ve egzersiz performansını azalttığını" söylemektedir (Cairns 2006). Çalışmalar pH ile egzersiz performansı arasında güçlü bir bağlantı olduğunu bildirmiştir; bu yüzden güçlü asidozun yorgunluğa katkıda bulunabileceği ileri sürülmektedir (Messonnier vd 2007). Asidoz, (a) kas içi sarkoplazmik retikulumdan  $Ca^{2+}$  salınımı ve yeniden alımını (b) myofibriler  $Ca^{2+}$  duyarlılığını, (c)

ATPaz ve fosforilaz gibi glikolizde anahtar rol oynayan enzimleri azaltarak kas kontraksiyonunu bozabilmektedir (Theofilidis vd 2018). Ayrıca bu şekilde biriken laktat miktarı 30 saniye ile 15 dakika arasında egzersiz performansının sınırlanmasına veya sonlandırılmasına neden olabilmektedir (Rutt 2014).

LE egzersiz eğitiminin şiddetinin veya performansının belirlenmesinde kullanılır. Bilimsel literatürde LE için “anaerobik eşik”, “aerobik eşik”, “laktat eşik noktası”, “kan laktat birikiminin başlangıcı (OBLA)” ve “maksimum laktat sabit durum (MLSS)” ifadeleri geçer. Bu terimler çoğu zaman birbirinin yerine kullanılsalar da kesin tanımları farklı olabilmektedir. Tümünde ortak olarak iki özel olaya atıfta bulunmaktadır. Birinci olay, kademeli olarak artan bir egzersiz sırasında, kan laktatının dinlenme değerlerinin üstünde yükselmeye başladığı kırılma noktası ile ilişkilidir (Hall vd 2016). Bu nokta, Wasserman ve arkadaşları (1973) tarafından “anaerobik eşik”, Kindermann ve diğerleri (1979) tarafından ise “aerobik eşik” olarak tanımlanmıştır (Wasserman vd 1973, Kindermann vd 1979). Çoğu bilimsel literatürde bu noktaya “aerobik laktat eşiği” adı verilse de, daha açık olarak ifade etmek açısından OBLA denilmektedir. İkinci olayda ise, maksimum egzersiz yoğunluklarında kan laktatındaki sürekli bir artışın olduğu kırılma noktasıdır. Literatür genellikle bu noktaya “anaerobik laktat eşiği” veya MLSS olarak değinmektedir (Kindermann vd 1979). Yakın tarihli çalışmalar, OBLA ve MLSS'yi tahmin etmek için laktat eğrisini görselleştirme yöntemini kullanmaktadır (de Sousa vd 2011). Birçok çalışma MLSS'nin, 3.1 ve 5.54 mmol/L aralığında kan laktat konsantrasyonlarında meydana gelebileceğini gözlemlemiştir (Heck vd 1985). Stegmann ve Kindermann ise (1981), MLSS de farklı laktat değerleri (1.4 ve 7.5 mmol/L) bulmuş, MLSS için bireysel anaerobik eşiğin kullanılabilirliğini öne sürmüşlerdir (Stegmann ve Kindermann ise 1981, Guidetti vd 2002). Öte yandan, OBLA ve MLSS yöntemlerindeki net değerlerin fizyolojik açıdan zayıf göstergeler olduğu da ileri sürülmektedir (Aunola ve Rusko 1984).

Kas kuvvetinin veya dayanıklılık kapasitesinin artırılması açısından, genellikle laktat eğrisinin sağa kayması artmış fiziksel kapasite olarak kabul edilir ve bunun aksine, sola kayma genellikle kötüleşen fiziksel kapasiteyi temsil etmektedir (Faude 2009). MLSS'nin üzerindeki egzersiz yoğunlukları, farklı dayanıklılık sporlarında aralıklı egzersiz eğitimlerinde bir rehber olarak kullanılmaktadır (Abreu vd 2006).



### 2.4.3. Kas ağrısı

Kas ağrısı aşırı efor sarf etmeyle ortaya çıkan bir sonuç olarak bilinmektedir. Genel olarak tanınan iki tip kas ağrısı vardır; birincisi hemen ortaya çıkan ve diğeri gecikmiş olarak ortaya çıkan kas ağrısıdır. Hemen başlayan ağrı, egzersiz sırasında ve egzersizden hemen sonra birkaç saat sürebilen ağrı olarak tanımlanmaktadır (Plowman ve Smith 2014). Bu tür ağrıların, hücrel solunumun metabolik yan ürünleri, özellikle artan laktik asit seviyeleri ile ilişkili  $H^+$  ve ağrı reseptörlerinin uyarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Cooke 2007). Genellikle, egzersiz bırakıldığında veya kısa süre sonra azalmaktadır. Gecikmeli başlangıçlı kas ağrısı ise, kas hassasiyeti, çarpmaya bağlı ağrı olup egzersizden yaklaşık 8 saat sonra ortaya çıkan, sonraki 24-48 saat boyunca artan ve genellikle 96 saat içinde azalan mekanik sertlik ile karakterizedir (Byrne vd 2004). Gecikmeli başlangıçlı kas ağrısı genellikle yetişkinlerde görülür. Öneme ve dikkate değer araştırmalara rağmen, gecikmiş başlangıçlı kas ağrısının kesin nedensel faktörleri ve hücrel mekanizmaları belirsizliğini korumaktadır (Paulsen vd 2012). Bununla birlikte, gecikmiş başlangıçlı kas ağrısında kas hasarı ve inflamasyonun önemli roller oynadığı konusunda yaygın bir görüş birliği vardır (Hotfiel vd 2018). Eksantrik kas hareketinin kas hasarından sorumlu ana faktör olduğu belgelenmiştir (Lewis vd 2012).

Akut şiddetli egzersiz klinik olarak kas ağrısı şeklinde ortaya çıkan ve proteinlerin bozulmasını kapsayan kas hasarına neden olur (Aoi vd 2013). Eksantrik egzersizi takip eden saatlerde kas ağrıları görülür, 1-3 gün sonra maksimum seviyeye ulaşır ve 7-10 gün sonra kaybolur (Leonard ve Herzog 2010). Egzersizle indüklenen kas hasarına genellikle dokunun palpasyonu ve hareketle birlikte gecikmeli başlangıçlı kas ağrısı eşlik eder (Clarkson vd 1992). Gecikmiş başlangıçlı kas ağrısına neden olan faktörler olarak oksidatif stres (Ascensão vd 2008), inflamasyonla bradikinin salınımı (Murase vd 2010),ve dokuya sınırlı kan akışı sayılabilir (Umbel vd 2009). Kas ağrısı egzersize adaptasyon ile azalır (Murayama vd 2000).

## 2.5. Oksidatif Stres

Canlı organizmaların en belirgin özelliklerinden birisi hücrelerin aerobik solunum ile çevresinden O<sub>2</sub> molekülü almasıdır (Moldogazieva vd 2018). Hücreler tarafından oksijen kullanım miktarı; hücrenin tipine, biyolojik fonksiyonuna, metabolik enerji ihtiyacına, çevresel koşullara göre değişiklik göstermektedir (Stoner vd 2007). Aerobik metabolizma sırasında, sürekli ve düzenli oksidasyon ile ROT ve reaktif azot türleri (RAT) üretilir. (DiMeo vd 2016). ROT çeşitli iyonlar, serbest radikaller içeren; enzimatik ve enzimatik olmayan kaynaklar tarafından üretilmektedir (Halliwell ve Whiteman 2014). Biyolojik sistemlerdeki bazı ROT'lar süperoksit anyonu (O<sup>-2</sup>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), reaktif hidroksil radikali (HO<sup>-</sup>) ve ozon (O<sub>3</sub>) olarak sayılabilir (Chatterjee 2016). Nitrik oksitten (NO) bir RAT olan peroksinit anyonu (ONOO<sup>-</sup>) meydana gelir (Chatterjee 2016). ROT/RAT optimum konsantrasyonlarda bulduklarında hücre sinyalizasyonunu düzenleyen endojen ve eksojen uyarılara cevap oluşturarak redoks homeostazisine katkıda bulunurlar (Dröge 2002). Hücreler ROT ve RAT kaynaklı serbest radikallerin hasar oluşturmasını önlemek için endojen antioksidan enzim üretirler (Dan Dunn vd 2015). Bunlar süperoksit dismutaz (SOD), katalaz ve glutatyon peroksidazdır (GPx) (Christiansen 2019). Bu enzimler yüksek oranda ROT'un reaktif olmayan moleküllerle tepkimeye girmesini engellerler (Christiansen 2019). Enzimatik olmayan antioksidanlar ise glutatyon, ürik asit, bilirubin, biliverdin ve karnosin gibi maddeleri kapsar. Enzimatik olmayan antioksidanlar ROT'u temizlemek için vücutta önemli miktarda depo halinde bulunurlar (Fabbrini vd 2014). Fizyolojik koşullarda antioksidan enzim/moleküller aracılığıyla ROT/RAT temizlenmesi arasında bir denge vardır (Trachootham vd 2008).

Oksidatif stres terimi aşırı oksidan üretilmesi (ROT/RAT, iyonlar, serbest radikaller) ve bu oksidanları temizlemek için üretilen antioksidan dengesizliği ifade etmek için kullanılır (Sies 2015). Son zamanlarda ROT'un birincil oksidatif hasar kaynağı olduğu anlaşılmıştır. (Halliwell ve Whiteman 2014). Biyolojik sistemlerde üretilen ROT/RAT hücre içinde lipitler, proteinler ve hatta DNA ile kolayca reaksiyona girebildiği için aşırı ROT/RAT üretimi zararlı olabilir (Chatterjee 2016). Yapılan araştırmalarda da ROT/RAT fazla üretilmesinin protein moleküllerine doğrudan hasar verip genlerde modifikasyonlara yol açarak birçok patolojinin

başlangıcına, hücre yaralanması ve ölümüne sebep olan sinyal yollarını tetiklediği gösterilmiştir (Nickenig vd 2002). Endotel, inflamatuvar ve immün sistem hücreleri tarafından üretilen ROT'un iki farklı yönü vardır; birincisi hücredeki redoks sinyalcisi olarak, ikinci ise oksidatif stres veya yaralanmadaki rolüdür (DiMeo vd 2016). Redoks sinyalcisi görevi, düşük seviyedeki ROT'un hücredeki biyolojik süreçleri indüklerken, oksidatif stresteki rolü ise hücredeki yüksek seviyelerde bulunan ROT'un biyomoleküllere zarar vermesi olarak tanımlanabilir (Zalba 2001). OS'in ateroskleroz (Praticò vd 1997), kardiyovasküler hastalıklar (Ylä-Herttua vd 1989), T2DM (Maritim vd 2003), kanser (Wu vd 2009) ve nörolojik hastalıklar (Christen 2000) dahil olmak üzere çeşitli hastalıkların etyopatogenezindeki rolü ortaya konmuştur. Çelişkili olarak, ROT'un hücre büyümesi, çoğalma ve hayatta kalma gibi birçok fizyolojik fonksiyonlarda da sinyal iletim görevi olduğunu gösteren kanıtlar vardır (Montezano ve Touyz 2014).

İnsanlarda, kronik egzersiz eğitiminin (dayanıklılık, direnç veya bunların kombinasyonu), kanda, eritrositlerde veya iskelet kaslarında oksidatif stresi azaltmak için SOD, GPx, glutatyon: glutatyon disülfid oranı, TAK aktivitesi ve/veya bu antioksidanların üretimi için gen ekspresyonunu artırdığı bildirilmiştir (Azizbeigi vd 2014). Eksantrik egzersiz zorlu bir egzersiz türü olduğu için doku redoks durumunu değiştirebilir (Spanidis vd 2018). Eksantrik egzersiz sonrasında oluşan reaktif türleri kas lifi hasarının başlamasında ve ilerlemesinde rol oynar (Silva vd 2010). Stagos ve arkadaşları tarafından (2015) eksantrik egzersiz sırasındaki ROT oluşumu ksantinoksidaz (KO), iskemi-reperfüzyon, katelokamin metabolizması, demir içeren proteinlerin bozulması ve aşırı kalsiyum birikimi ile açıklanmıştır. Egzersizi takiben ROT oluşumuyla nötrofil ve makrofajların yaralanan bölgeye infiltrasyonu da kas hasarına katkıda bulunur (Gutowski ve Kowalczyk 2013). Bununla birlikte egzersizi takiben oksidatif stres düzeyinde kişiler arasında büyük farklılıklar saptanmıştır (Margaritelis vd 2014). Akut egzersiz, yoğunluk ve şiddetine bağlı olarak serbest radikal üretimini artırırken (Gomes vd 2012), kronik egzersizin antioksidan sistemi düzenleyen fizyolojik adaptasyonları tetiklediği gösterilmiştir (Gomes vd 2012). Ek olarak, uzun süreli egzersiz inflamasyonu da azaltabilir (Gjevestad vd 2015). Günümüz bilgileri, fiziksel olarak aktif bir yaşam tarzının oksidatif stresi azalttığını ifade etmektedir (de Sousa vd 2017). Vincent vd (2007), egzersizin kalori kısıtlaması, farmakoterapi veya antioksidan takviyesi gibi diğer müdahalelerle karşılaştırıldığında, oksidatif stresi azaltabilecek tek yöntem olduğunu ileri sürmüştür.

## 2.6. Egzersiz ve Hemoreoloji

Kan, plazma (%45-60) ve plazmada asılı halde bulunan hücresel elementlerden (%40-55) oluşur. Kandaki hücresel elementlerin büyük bir kısmı eritrositlerdir (Widmaier 2019). Kanın sıvı kısmı olan plazma, %90'ı su olan bileşik bir çözüldür (Rogers 2011). Plazma, başlıca su ve suda çözünen proteinler, çeşitli besin maddeleri, organik atıklar ve iyonlardan meydana gelmektedir (Widmaier 2019). Plazma, besinleri vücudun çeşitli organlarındaki hücrelere iletme ve oluşan atık ürünleri böbrekler, karaciğer, akciğerlere taşıma görevi görmektedir. Aynı zamanda kan hücreleri içinde bir taşıma sistemidir (Rogers 2011).

Reoloji; katı, sıvı ve gaz maddelerin akışkanlık ve şekil değiştirebilme yeteneği (deformabilite) davranışlarını inceleyen bilim dalıdır (Farina vd 2016). Reoloji kan özelliklerini analiz ettiğinde hemoreoloji olarak adlandırılmaktadır (Farina vd 2016). Hemoreoloji, kan ve PV, eritrosit agregasyonu, hematokrit, eritrosit deformabilitesi, lökosit ve trombosit agregasyonu ile belirlenmektedir (Leschke vd 2003). Aerobik metabolizmalarda enerji ihtiyacının arttığı orta-yoğun şiddetli aktivitelerde oksijen taşınması ve kullanımında da bir artış gözlenmektedir (Connes vd 2013). Egzersiz sırasında artan oksijen taşınması ve kullanımı etkileyen hemoreolojik özellikler, bireylerde aerobik egzersiz performansının anlaşılmasında önemli yer tutmaktadır (Connes vd 2013).

Akut egzersize bağlı hiperviskozite gelişse de (Connes vd 2012), uzun süreli egzersizin hemoreolojik parametrelerde olumlu adaptasyonlara neden olduğu gösterilmiştir (Ernst 1987). Egzersiz sırasında kan ve PV'nin artmasının nedenleri arasında (Brun vd 1998) su kaybı, egzersizle birlikte kaslara daha fazla sıvı geçişinin olması sayılabilir (Ahmadizad vd 2011). Ancak egzersiz sırasında ortaya çıkan orta dereceli dehidrasyonun (yaklaşık %2'lik su kaybının) sağlıklı sporcu kişilerde kan viskozitesi üzerinde sınırlı bir etkisi olduğu bildirilmektedir (Trippette vd 2010). Egzersize verilen hemoreolojik yanıt, egzersizin tip, şiddet ve yoğunluğu ile bireyin antrenman düzeyine göre değişiklik göstermektedir (Connes vd 2013)

### 2.6.1. Plazma viskozitesi

Bir sıvının viskozitesi sıvının bileşenlerine bağlı olup, viskozite, herhangi bir sıvının akışa karşı olan direncinin bir ölçüsü olarak ifade edilebilir (Tu vd 2015). Yüksek viskoziteye sahip bir sıvı yüksek iç sürtünme nedeniyle harekete direnç gösterirken; düşük iç sürtünmeye sahip olan sıvı ise düşük viskoziteye sahiptir (Tu vd 2015). Su gibi homojen bir akışkanda akış hızında herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde viskozite sabit kalır (Késmárky vd 2008). Bu şekilde kayma hızındaki değişikliklere karşı sabit viskozite sergileyen sıvılara Newtonien sıvılar adı verilir. (Tu vd 2015). Plazma Newtonien bir sıvı olup, viskozitesi su ve içerisindeki moleküler bileşenler tarafından belirlenir (Késmárky vd 2008). Kan birkaç fazdan oluşan bir sıvı olup, non-Newtonien (akış hızına bağlı değişken viskoziteye sahip) özellik gösterir (Tu vd 2015). PV doku kanlanması belirlenmesinde özellikle mikrodolaşımda; eritrosit deformabilitesi ve trombositlerle birlikte önemli bir role sahiptir (Lipowsky 2007). Normal PV aralığı yaş ve cinsiyetten bağımsız dar sınırlar içinde 37°C' de 1.10–1.30 mPas olarak kontrol edilir. Plazma protein konsantrasyonu PV'nin önemli belirleyicisidir (Késmárky vd 2008).

Egzersiz ile damar içinden dokular arasına sıvı çıkışı belirgin şekilde artar ve bu durum hemokonsantrasyon olarak bilinir (Hudak vd 1986, Brun vd 2010). Sedanter bireylerde veya dayanıklılık sporcularında istirahat değerleri ile karşılaştırıldığında; kısa süreli maksimal veya submaksimal egzersiz (çoğunlukla bisiklet) sonunda PV'nin genellikle % 5-10 oranında arttığı görülmüştür (Connes vd 2004). PV'deki bu artış, egzersiz sırasında belirli bir kayma hızında kan viskozitesinin artmasına da katkıda bulunur (Connes vd 2013). Artan PV, fibrinojen, 1-globülinler, 2-globülinler gibi plazma protein içeriğinin artışı (Yalcin vd 2000) ve muhtemelen bir miktar su kaybına bağlı olabilir (Yalcin vd 2000). Öte yandan, uzun süreli egzersiz eğitimi sırasında PV'de bir değişiklik olmadığını gösteren yayınlar mevcuttur (Tripette vd 2011)

### 2.7. Hipotez

Yukarıdaki bilgiler ışığında, Hamstring kasının eksantrik kas kuvvet gelişimi ve yaralanmalardan korunması amacıyla kullanılan basit ama etkili bir yöntem olan

NHE eğitimiyle, bireylerde PV, kas hasarı belirteci KK seviyesi, kan laktat seviyesi, yanı sıra TOK, total antioksidan kapasite (TAK)'larındaki değişimler ve OSİ üzerine etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ek olarak, bu parametrelerdeki olası değişimlerin detraining sürecinden nasıl etkileneceği de bilinmemektedir. Literatürdeki bahsedilen bilgi açığının kapatılması amacıyla planlanan çalışmada aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur;

- 1) NHE ile hamstring kas kütlesi, esneklik, anaerobik performans artar.
- 2) NHE ile akut dönemde kan akımı belirleyicilerinden PV hemokonsantrasyona bağlı olarak artar, uzun süreli egzersizle kronik dönemde ise hemodilüsyona bağlı olarak PV azalır.
- 3) KK aktivitesi egzersizden etkilenir.
- 4) NHE ile akut dönemde kan laktat seviyeleri artar, egzersiz eğitimiyle kas ağrısı ve laktat seviyeleri azalır.
- 5) NHE ile akut dönemde egzersizi takiben oksidanların oluşumu artarken, uzun süre devam eden kronik egzersizlere adaptasyon sonucu oksidatif stres azalır.
- 6) Detraining (egzersizi bırakma) sürecinde egzersiz eğitimiyle kazanılan parametrelerde geriye dönüş olur.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Deneklerin Seçilmesi

Bu çalışma için Pamukkale Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 07. 08. 2018 tarih/60116787-020/53191 sayı numarası ile etik onay alınmıştır.

Gönüllüler için araştırmaya dahil olma kriterleri;

Katılımcılar 18-30 yaş arası gönüllü, sağlıklı, erkek, sedanter (aktif), önlisans öğrencilerden seçilmiştir.

Gönüllüler İçin Dışlama Kriterleri;

- 1) BMI  $\geq$  30 kg/m<sup>2</sup>,
- 2) Son bir yıl içerisinde hamstring ve/veya anterior cruciate ligament yaralanma öyküsü,
- 3) Bilinen herhangi bir hastalığının olması,
- 4) Gövde-kalça ve alt ekstremitte yaralanma öyküsü,
- 5) Alkol ve/veya sigara kullanımı,
- 6) İlaç kullanımı
- 7) Vejeteryan beslenme tipine sahip olmak

Denekler egzersiz grubu (n=20) ile yaş ve cinsiyet uyumlu kontrol grubu (n=20) olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır.

### 3.2. Nordic Hamstring Egzersizi

Bireylere Tablo 3.1'de gösterilen 10 haftalık ilerleyici NHE eğitimi verilmiş (Mjøl̈snes vd 2004), ardından yine 10 haftalık egzersizi bırakma (detraining) süreci uygulanmıştır.

**Tablo 3.1** NHE protokolü

<b><u>Hafta Seans/HaftaSet x Tekrar sayısı</u></b>		
1	1	2x5
2	2	2x6
3	3	3x6-8
4	3	3x8-10
5-10	3	3 set, 12-10-8 tekrar

Bireylere, eğitimli bir fizyoterapist tarafından egzersizlere başlamadan 1 hafta önce 3 seans NHE alıştırma denemeleri yaptırılmıştır. Alıştırma denemelerinden sonraki hafta egzersiz protokolüne başlanmıştır. Tüm egzersizlere başlamadan ısınma protokolü olarak önce sabit bir bisiklet üzerinde 5 dakika tempolu hızda pedal çevirme (Seymore vd 2017) ve hamstring kaslarına yönelik statik germe egzersizleri (ayakta, oturmuş ve sırtüstü pozisyonda) 30'ar sn 3 tekrarlı olarak uygulanmıştır (Seymore vd 2017). Egzersiz sırasında yardımcı bir kişi bireyin ayak bileklerinden desteklemiştir. Birey kolları dirsek eklemlerinden bükülü, avuçları omuz eklemleri hizasında öne bakacak şekilde pozisyon almıştır (Delahunt vd 2016). Denekten hamstring kaslarını kullanarak yavaş ve kademeli şekilde yere doğru inmesi ve bu sırada gövde ile kalçasını sabit tutması, tekrar başladığı pozisyona geri dönmek için üst gövdesi ve kollarını kullanması istenmiştir (Şekil 3.1).



Başlangıçta hamstring eksantrik torku standardize etmek için bireyin yere inme süresi 4 saniye olarak belirlenmiştir (Ribeiro-Alvares vd 2018). Bireyin yerle yaptığı açı azaldıkça oluşturduğu tork arttığı için hamstring eksantrik torku artmıştır. Bu yüzden, deneklerden düşmeyi gerçekleştirmeden önceki son açıda kalabildikleri ölçüde konumlarını korumaları istenmiştir (Mjølsnes vd 2004). Setler arasında 1'er dk'lık dinlenme periyotları uygulanmıştır (Ribeiro-Alvares vd 2018). Test esnasında daha yüksek performans sergileyebilmeleri amacıyla denekler sözel olarak cesaretlendirici ifadelerle desteklenmiştir.

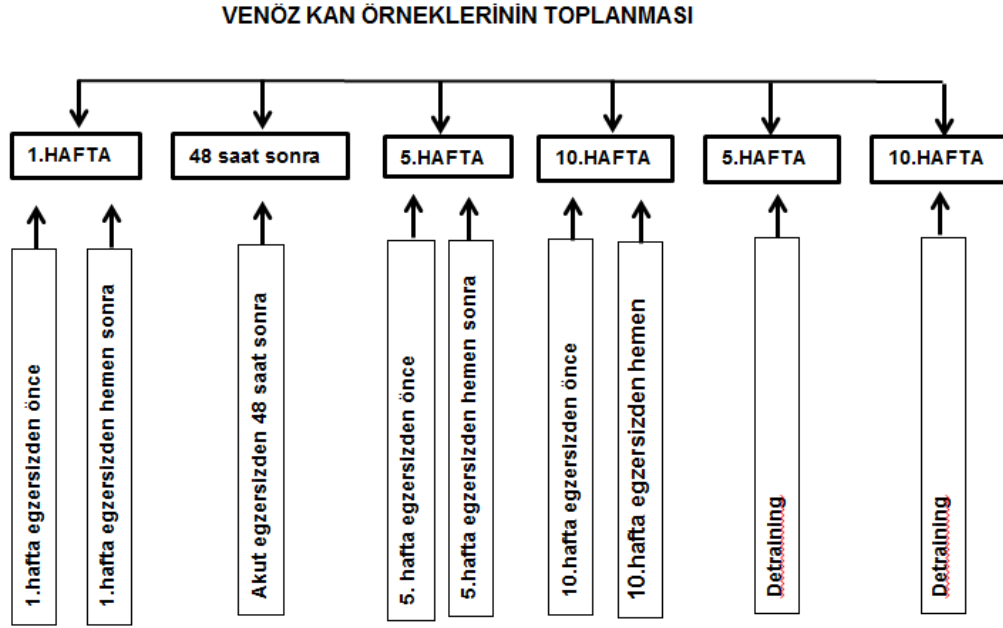


**Şekil 3.1** Nordic hamstring egzersizi

### 3.3. Venöz Kan Örnekleri Eldesi

Egzersiz grubundan NHE egzersiz eğitiminin ilk haftasında egzersiz öncesi (EÖ) ve hemen egzersiz sonrası (ES), akut egzersizden 48 saat sonra, 5.hafta EÖ ve hemen ES, 10.hafta EÖ ve hemen ES, egzersizi bıraktıktan (detraining) sonraki 5. hafta ve egzersizi bıraktıktan (detraining) sonraki 10. hafta olmak üzere toplam 9 kez venöz

kan örnekleri alınmıştır (Şekil 3.2). Akut egzersizden 48 saat sonra 1 ml, diğer kan alımları 10'ar ml olacak şekilde yapılmıştır.



**Şekil 3.2:** Venöz kan örneklerinin alınması

Kontrol grubundan ise 1 kez (1. haftada) aynı miktarda venöz kan alınmıştır. KK aktivitesi ve PV ölçümleri için plazma, oksidatif stres parametreleri için serum elde edilmiş; örnekler çalışılıncaya kadar – 80 °C’ de saklanmıştır.

### 3.4. Demografik ve Antropometrik Ölçümler

#### 3.4.1. Boy uzunluğunun ölçülmesi

Boy uzunluğu birey anatomik duruşta iken inspirasyon aşamasında, baş frontal düzlemde ve baş üstü tablası verteks noktasına degecek şekilde yerleştirilerek ölçüm cm cinsinden, hassasiyeti  $\pm 1$  milimetre (mm) olan stadiometre ile alınmıştır.

### 3.4.2 Vücut kompozisyonun ölçülmesi

Ölçümler bireylerin üzerinde ince bir şort ve tişörtle yapılmış olup, tüm ölçümler sırasında deneklerin aynı kıyafeti giymesi istenmiştir. Ölçüm yapılırken bireylerin aynı pozisyonda olmasına dikkat edilmiştir. Ölçümler, vücut kompozisyon analizörü Jawon Gaia 359 Plus (Güney Kore) kullanılarak yapılmış, kilo, vücut kitle indeksi (VKİ), vücut yağ yüzdesi (VYY), yağsız vücut kütlesi (YVK), yumuşak yağsız kütle (YYK), toplam su miktarı (TSM), bazal metabolizma hızı (BMH), üst ve alt eksteremite bilateral YVK ve YYK değerleri elde edilmiştir.

### 3.4.3. Çevre ölçümlerinin yapılması

#### 3.4.3.1. Bel çevresi

Birey mezuranın kolayca uygulanabileceği bir giysiyle ayakta karnı normal gevşek pozisyonda, kollar yanda sarkıtılmış, bacaklar bitişik durumdayken ölçüm yapılmıştır. Bireyin karşısında durarak esnek olmayan mezura ile gövdenin en geniş genelde göbek çukuru seviyesinden yere paralel olarak ölçülmüştür (Otman ve Köse 2008). Ölçüm sırasında mezuranın her iki tarafta da yere paralel olmasına, dokunun sıkıştırılmamış olmasına dikkat edilmiştir. Ölçüm yatay doğrultuda normal ekspirasyonun sonunda yapılmıştır. Sonuç santimetre (cm) cinsinden kaydedilmiştir.

#### 3.4.3.2. Kalça çevresi

Ölçümler denek mezuranın kolayca uygulanabileceği bir giysiyle ayakta, kollar yanda sarkıtılmış, bacaklar bitişik durumdayken, kalçanın en geniş bölgesinden, dokunun sıkıştırılmamasına dikkat edilerek mezura yere paralel bir şekilde tutularak alınmıştır. Sonuç cm cinsinden kaydedilmiştir (Otman ve Köse 2008).

### 3.4.3.3. Uyluk çevresi

Sol bacak ölçümü için birey ağırlığını sol bacak üzerine aktarmıştır. Bu arada diğer ayağın yerden kalkmamasına dikkat edilmiştir. Ölçüm uyluğun anterior yüzünde kasıkta ingiunal kıvrım ile patella proksimal kenarı arasında kalan mesafenin orta noktasından yapılmıştır (Otman ve Köse 2008). Sonuçlar cm cinsinden kaydedilmiştir. Sağ bacak ölçümü için ağırlığın sağ tarafa aktarılması istenip aynı işlem tekrar edilmiştir.

## 3.5. Esneklik Ölçümleri

### 3.5.1. Esneklik (otur-uzan) testi

Lumbal ekstansör, kalça ekstansör, hamstring, gastrocnemius kaslarının esnekliğini ölçebilmek için otur-uzan testi uygulanmıştır. Test, yüksekliği 34 cm, üst yüzeyinin uzunluğu 45 cm, eni 30 cm, alt yüzeyinin uzunluğu 31 cm ölçüsünde bir sehpa kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bireyler ayakkabılarını çıkarıp oturarak, ayak uçlarını yukarı bakacak şekilde ayak tabanını düz bir konumda otur-uzan sehpasının kendisine bakan yüzüne yerleştirmiştir. Daha sonra denek dizlerini hiç bükmeden parmaklarını ölçüm sehpa boyunca kaydırarak olabildiğince ilerletmiştir. Birey bu şekilde en uzak noktada, öne ya da geriye esnemen 2 saniye bekletilmiştir. Test 3 kez tekrar edilerek en yüksek olan değer cm cinsinden kaydedilmiştir.

### 3.5.2. Hamstring esneklik testi

Hamstring kaslarının esneklik değerlendirmesi için bireyler sırtüstü pozisyondayken, kalça ve diz 90° pozisyona alınmıştır. Kalçanın pozisyonunu hiç bozmadan hamstring kaslarında gerginlik hissedilinceye kadar diz pasif olarak ekstansiyona getirilerek ölçüm yapılmıştır. Ölçümler, fizyoterapist tarafından bir yardımcı eşliğinde yapılmış olup, gonyometre ile başlangıç diz fleksiyon ve hareketin sonundaki diz ekstansiyon açıları arasındaki fark ölçüm değeri olarak kaydedilmiştir.

### 3.6. Anaerobik Güç Testlerinin Ölçülmesi

#### 3.6.1. Çift ayak durarak uzun atlama testi

Test çift bacak kullanılarak, yere sabitlenen metre (m) ile yapılmıştır. Bireylerden düz bir çizgi üzerinde öne, sıçrayabildiği kadar uzağa sıçraması ve çift bacak üzerine düşmesi istenmiştir. Deneklerin sıçradığı noktadaki topuk bölgesiyle başlama çizgisi arasındaki mesafe ölçülmüş ve test performansı olarak kayıt edilmiştir. Test 3 defa uygulanmış ve tekrarlar arasında 3 dakika dinlenme verilmiştir. Değerlendirmeye her bir test için elde edilmiş olan en iyi değer alınmıştır.

#### 3.6.2. Dikey sıçrama testi

Dikey sıçrama testi sargent jump ile değerlendirilmiştir. Uygulama sırasında bireyin ayakta iken uzanabildiği maksimum yükseklik ile sıçrayarak uzanabildiği seviye arasındaki mesafe metre olarak ölçülmüştür. Aşağıdaki formül ile anaerobik güç hesaplanması yapılmıştır (Tamer 2000)

$$P = \sqrt{4,9} \cdot (W) \cdot \sqrt{D}$$

$$P = \text{Güç (kg.m/s)}$$

$$W = \text{Vücut Ağırlığı (kg)}$$

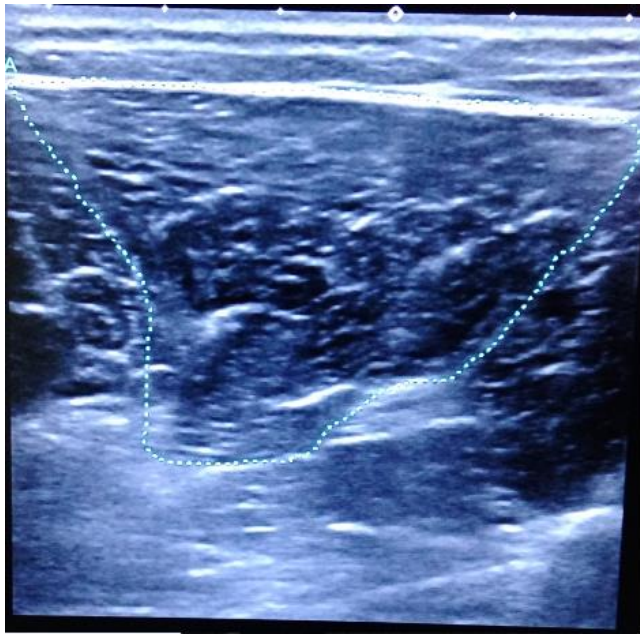
$$D = \text{Sıçrama Mesafesi (m)}$$

$$\sqrt{4,9} = \text{sabit değer (s) (Tamer, 2000)}$$

### 3.7. Kas Mimarisinin Değerlendirilmesi

#### 3.7.1. Ultrasonografik görüntüleme

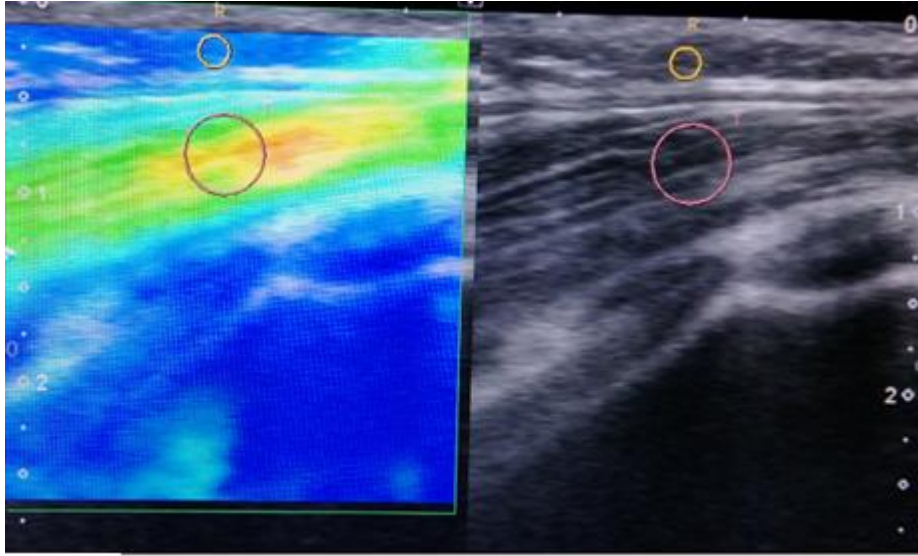
USG ve strain elastografi ile kas sertliği ölçümleri, 5 yıllık deneyimli bir radyolog tarafından yapılmıştır. Ölçümü yapan radyoloğa gruplar ve egzersiz türü hakkında bilgi verilmemiştir. Bireyler ölçümler için standart bir tedavi masasında yüzüstü ( $0^\circ$  kalça fleksiyonu,  $0^\circ$  diz fleksiyonu ve ayak bileği rahat pozisyonda) uzanmıştır. Ölçümler her bireyin dominant bacağına uygulanmıştır. Hamstring kas fonksiyonundaki değişiklikleri değerlendirmek için, BFub USG elde edilmiştir. BFub kasının ölçümleri, TOSHIBA APLIO 500 cihazı ve lineer bir prob yardımıyla incelenmiştir. Ultrason cihazının frekans aralığı 8-15 megahertz değerindedir. BFub aksiyal ve longitudinal olarak görüntülenmiştir. Tüm hamstring kaslarının ortak tendon oluşturduğu gluteal çizgi, proksimal muskulotendinoz kavşak olarak kabul edilip, distale doğru USG incelenmiştir. Distal kas-tendon bağlantısının belirlenebilmesi için prob kasın uzun alanına çapraz doğrultuda yönlendirilmiş olup, en küçük kas kesiti gözlenene kadar kademeli olarak distale kaydırılmıştır. Proksimal kas-tendon bağlantısının belirlenebilmesi, prob proksimale kaydırılarak aynı yöntemle gerçekleştirilmiştir. USG ölçümleri ile BFub kas mimarisi (FU, kas alanı, PA) değerlendirilmiştir. (Aşkın vd 2017, Freitas vd 2018) (Şekil 3.2).



Şekil 3.3 BFub alan ölçümü USG

### 3.7.2. Strain elastografi görüntüleme

Strain elastografi yöntemi, basınç verilen bölgede strain (gerinim, yer değiştirme) esasına dayanmaktadır. Sert dokularda yer değiştirme (strain) daha az iken, yumuşak dokularda daha fazladır. Basınç uygulaması öncesi ve sonrasında elde edilen eko verileri karşılaştırılarak dokuların yer değiştirme oranları hesaplanmıştır. Strain elastografi ölçümünde, uygulanan basıncın miktarı ekranda bir gösterge ile belirtilmiştir. Bu görüntüleme yönteminde, dokuların yer değiştirme bilgisi konvansiyonel B-mod görüntüleri üzerine eklenmesi ile oluşturulmuş, yer değiştirme dağılım haritası "elastogram" görüntüleri elde edilmiştir. Mavi renk sert dokuları, kırmızı renk yumuşak dokuları, yeşil ve sarı renkler ise orta sertlikte dokuları belirtmiştir (Şekil 3.4). Strain oranı adı verilen ölçüm kas sertliği olarak değerlendirmeye alınmıştır (Drakonaki vd 2012).



**Şekil 3.4** Strain elastografi görüntüleme

### 3.8. Kas Hasarı Değerlendirmesi

#### 3.8.1. Kreatin kinaz aktivitesi ölçümü

3000 rpm de 10 dakika santrifüj edilen plazma örneklerinden Biovision Creatinine Colorimetric/Fluorometric Assay Kit aracılığıyla, plazma KK aktiviteleri incelenmiştir. BioVision KK aktivitesi kolorimetrik test kitinde KK, kreatini fosfokreatine ve Adenozin difosfat (ADP)'a dönüştürür. Üretilen fosfokreatin ve ADP, başka bir ara madde oluşturmak için KK enzim karışımı ile reaksiyona girerek, saydam bir absorbasnta 450 nm dalga boyunda güçlü bir absorbansa sahip renkli bir ürüne indirgenir.

Öncelikle kit içerisinde bulunan komponentler (ATP, KK enzim karışımı, KK geliştirici, Nikotinamid adenin dinükleotit hidrojen (NADH) standardı ve pozitif kontrol) için reaktif maddeler hazırlanmış, NADH standart eğrisi grafiği çizilmiştir. Her bir örnek için 50 µl reaksiyon karışımı hazırlanmış ve 5 µl plazma örneği ile ölçüm yapılmıştır. Ölçümler 37°C de, 450 nm dalga boyunda, 2 dakikada bir 40 dakika boyunca kinetik yöntemle okunmuştur.

Hesaplama için;

B: Standart eğrisindeki NADH miktarı (nmol)

$\Delta T$ : Reaksiyon zamanı (dk)

V: Reaksiyon kuyucuğuna eklenen örnek miktarı

KK Aktivitesi =  $B/(\Delta T \times V) \times \text{Dilüsyon faktör} = \text{nmol/dk/ml} = \text{mU/ml}$  denklemi kullanılmıştır.

#### 3.8.2. Kan laktat ölçümü

Kan laktat konsantrasyonu ölçümü, bir laktat analizörü (Cera Check Laktat Plus) aracılığıyla egzersiz grubu bireylere 1. hafta ve 10. hafta EÖ ve ES bireylerin parmak uçlarından alınan kapiller kandan yapılmıştır. Egzersiz ve kontrol gruplarının bazal değerlerinin karşılaştırılması açısından kontrol grubu bireylere ise 1. hafta parmak uçlarından alınan kapiller kandan ölçüm gerçekleştirilmiştir.



### 3.8.3. Ağrı değerlendirme

Visual analog skalası (VAS), sayısal olarak ölçülemeyen değerleri sayısal hale çevirmek için kullanılan skaladır. 0'dan 10'a kadar numaralandırılmış sayılardan oluşan 10 cm'lik bir derecelendirme sisteminde 0 yok olanı, 10 en şiddetli olanı ifade etmektedir. Bireyin bu çizgi üzerinde kendi durumunun nereye uygun olduğunu nokta koyarak veya işaret ederek belirtmesi istenmiştir. Ağrının hiç olmadığı yerden kişinin işaretlediği yere kadar olan mesafenin uzunluğu kişinin hamstring ağrısını belirtmiştir (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5** VAS skalası

### 3.9. Yorgunluk Değerlendirmesi

Borg algılanan yorgunluk skalası sınıflandırılması 60-200 arasındaki kalp atım hızını kapsadığı için 6 ile 20 arasındadır. Egzersiz grubu bireylerden 1. hafta, 5. hafta ve 10. hafta EÖ ve ES hissettikleri yorgunluk değerlerini işaretlemeleri istenmiştir (Şekil 3.6).

- |     |                             |
|-----|-----------------------------|
| 6.  | Hiç yorgunluk yok           |
| 7.  | <b>Aşırı derecede hafif</b> |
| 8.  |                             |
| 9.  | <b>Çok hafif</b>            |
| 10. |                             |
| 11. | <b>Hafif</b>                |
| 12. | <b>Biraz hafif</b>          |
| 13. | <b>Orta</b>                 |
| 14. | <b>Biraz zor</b>            |
| 15. | <b>Zor</b>                  |
| 16. |                             |
| 17. | <b>Çok zor</b>              |
| 18. |                             |
| 19. | <b>Aşırı derece zor</b>     |
| 20. | <b>Maksimal efor</b>        |

Şekil 3.6 Borg algılanan yorgunluk skalası

### 3.10. Serum Total Oksidan Kapasite, Total Antioksidan Kapasite ve Oksidatif Stres İndeksi Ölçümleri

TOK ve TAK ölçümleri için 3000 rpm'de 10 dakika süresince santrifüj ile elde edilmiş serum örnekleri analiz edilinceye kadar -80 °C' de saklanmıştır.

Serum TOK Erel' in geliştirdiği otomatize edilmiş bir yöntem ile kolorimetrik olarak ticari bir kit aracılığıyla (RelAssay Diagnostic, Türkiye) ölçülmüştür (Erel 2005). Ölçümün prensibi örneğin içindeki oksidanların ferröz iyon-o-dianisidine kompleksinin ferrik iyonla dönüşümünün sağlanması ve bunun da asidik bir ortamda kromojen ile reaksiyona girerek absorbans artışına sebep olmasına dayanmaktadır. Ortamda bulunan gliserol bu reaksiyonun hızını yaklaşık üç katına çıkarmaktadır. Örnekte bulunan oksidanların (lipitler, proteinler vb) miktarıyla ilişkili olan rengin şiddeti 530nm dalga boyunda ELISA yöntemiyle spektrofotometrik olarak ölçülmüş, sonuçlar  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ Eq/L}$  birimi ile ifade edilmiştir.

Serum TAK yine Erel' in geliştirdiği otomatize edilmiş bir yöntem ile kolorimetrik olarak ticari bir kit aracılığıyla (Rel Assay Diagnostic, Türkiye) llmştr (Erel 2004). lmn prensibi örneğin içindeki tüm antioksidanların mavi-yeşil 2,2'-azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) radikalini renksiz redükte ABTS haline getirmesi esasına dayanır. Spektrofotometrik olarak ölçülen absorbans değişikliği rneğin TAK düzeyi ile ilişkilidir. Deneklerin plazma TAK kapasite düzeyleri 660 nm dalga boyunda ELISA okuyucu ile spektrofotometrik olarak ölçülmüş, sonuçlar  $\mu\text{molTroloxEqv/L}$  birimi ile ifade edilmiştir.

Oksidatif stres düzeyinin bir diğer göstergesi hesapla elde edilen OSI' dir. Bu çalışmada elde edilen TOK ve TAK değerleri aşağıdaki formül ile hesap edilmiştir (Kosecik vd 2005).

$$\text{OSI} = \text{TOK} (\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ Eqv/L}) / \text{TAK} (\mu\text{molTroloxEqv/L}) \times 100$$

### 3.11. Plazma Viskozitesinin lm

Alınan venöz kan örneklere 3000 rpm de 10 dakika süresince santrifüj edilmiş ve plazmalar ayrılmıştır. PV bir WellsBrookfieldcone-plateviskometre (model DV-II+Pro, Brookfieldengineering Labs, Middleboro, MA) kullanılarak  $375 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında belirlenmiştir.

### 3.12. İstatiksel Analiz

Referans çalışmada elde edilen etki büyüklüğünün kuvvetli olduğu ( $d=1.08$ ) grlmştr. Yaptığımız güç analizi sonucunda, çalışmaya en az 32 kişi alındığında (her grup için en az 16 kişi) bu etki büyüklüğü için %95 güven düzeyinde %90 güç elde edilebileceği hesaplanmıştır. Çalışmadan ayrılanların, egzersiz sürecini srdremeyenlerin olabileceği göze alınarak çalışmada  $n=20$  olarak belirlenmiştir.

Veriler SPSS 25.0 (IBM SPSS Statistics 25 software (Armonk, NY: IBM Corp.) paket programıyla analiz edilmiştir. Sürekli değişkenler ortalama $\pm$ standart hata (SH) ve kategorik değişkenler sayı ve yüzde olarak ifade edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Parametrik test varsayımları sağlandığında bağımsız grup farklılıklarının karşılaştırılmasında iki

ortalama arasındaki farkın önemlilik testi kullanılmıştır. Parametrik test varsayımları sağlanmadığında ise bağımsız grup farklılıklarının karşılaştırılmasında Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Bağımlı grup incelemelerinde; Parametrik test varsayımları sağlandığında İki eş arasındaki farkın önemlilik testi ve Tekrarlı Ölçümlerde Varyans Analizi (post hoc: Bonferroni testi) kullanılmıştır. Parametrik test varsayımları sağlanmadığında ise Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testi ve Friedman testi (post hoc: Dunn testi) kullanılmıştır. Tüm analizlerde  $p < 0,05$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Demografik Özellikler

Kontrol grubu ile egzersiz grubunun 1. hafta EÖ ölçümleri arasında herhangi bir fark saptanmamıştır. İlk egzersiz seansı ölçülen parametreler herhangi bir değişikliğe sebep olmazken, 10. haftada egzersiz grubunun 1. hafta EÖ'ye göre istatistiksel olarak önemli düzeyde kilo kaybettiği gözlenmiştir ( $p=0,02$ ). 5 haftalık detraining süreci bireylerin 10.haftaya ( $p=0,002$ ) ve 1. hafta EÖ'ye ( $p=0,009$ ) göre istatistiksel olarak önemli düzeyde kilo almasına sebep olmuştur.5 haftalık detraining ek olarak TSM'de 1. hafta EÖ'ye ( $p=0,029$ ) göre, VKİ'de 1. hafta EÖ ( $p=0,015$ ) ve 10. haftaya ( $p=0,001$ ) göre artışa, VYY'de 10. haftaya ( $p=0,041$ ) göre artışa sebep olmuştur(Tablo 4.1). Cihazdaki bir sorun sebebiyle 10. hafta detraining ölçümleri güvenilir şekilde gerçekleştirilememiştir.

### 4.2. Antropometrik Ölçümler

Deneklerin antropometrik ölçümleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Kontrol grubu ile egzersiz grubunun 1. hafta EÖ ölçümleri arasında herhangi bir fark saptanmamıştır. 5 ve 10 haftalık egzersiz ölçülen parametrelerde herhangi bir değişikliğe sebep olmazken, 5 haftalık detraining sol kol YVK ( $p=0,029$ ), sağ kol YVK ( $p=0,01$ ), gövde YVK ( $p=0,035$ ), sol bacak YVK ( $p=0,01$ ) ve sağ bacak YVK'da ( $p=0,015$ ) 10 haftalık egzersiz grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artışlara sebep olmuştur.

Cihazdaki bir sorun sebebiyle 10. hafta detraining ölçümleri güvenilir şekilde gerçekleştirilememiştir. 10.hafta sağ ve sol uyluk çevresi ölçümleri 1. hafta EÖ'ye göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa sebep olmuştur ( $p=0,001$ ,  $p=0,004$ , sırasıyla). Ek olarak, 5 haftalık detraining süreci 10.haftalık egzersize göre sağ uyluk çevresinde istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmaya sebep olmuştur ( $p= 0,018$ ).

**Tablo 4.1** Bireylerin demografik özellikleri

	Kontrol	Egzersiz			Detraining
	1. hafta Ort±SH	EÖ Ort±SH	5. hafta Ort±SH	10. hafta Ort±SH	5.hafta Ort±SH
<b>KİLO (kg)</b>	74±2,33	73,14±2,81	72,98±2,59	<b>72,64±2,5</b>	<b>74,1±2,49<sup>*,#</sup></b>
<b>YVK (kg)</b>	59,74±1,56	59,86±1,66	60,17±1,6	60,53±1,59	61,03±1,62
<b>YYK (kg)</b>	55,43±1,42	55,62±1,51	55,91±1,46	56,3±1,46	56,72±1,49
<b>TSM (kg)</b>	43,01±1,12	43,11±1,19	43,32±1,15	43,59±1,14	<b>43,94±1,17</b>
<b>VKİ (kg/m<sup>2</sup>)</b>	23,59±0,51	23,08±0,67	23,05±0,63	22,94±0,64	<b>23,41±0,62<sup>*,#</sup></b>
<b>VYY(%)</b>	18,95±0,88	17,49±1,17	16,99±1,06	16,07±1,06	<b>17,19±1,05<sup>,#</sup></b>
<b>BMH (kcal)</b>	1653±28,79	1657,95±28,81	1662,1±28,11	1666,4±27,84	1669,45±29,74

(EÖ: Egzersiz Öncesi, YVK: Yağsız Vücut Kütlesi, YYK: Yumuşak Yağsız Kütle, TSM: Toplam Su Miktarı, VKİ: Vücut Kitle İndeksi, VYY: Vücut Yağ Yüzdesi, BMH: Bazal Metabolik Hız. Ortalama±Standart Hata; n=20, \*: 1.hafta EÖ grubundan fark  $p<0,05$ , \*\*: EÖ grubundan fark  $p<0,01$ , #:10. haftadan fark  $p<0,05$ , \*\*: 10. haftadan fark  $p<0,01$ )

**Tablo 4.2** Bireylerin antropometrik ölçümleri

	Kontrol	Egzersiz			Detraining
	1. hafta Ort±SH	EÖ Ort±SH	5. hafta Ort±SH	10. hafta Ort±SH	5.hafta Ort±SH
<b>Sol Kol YVK(kg)</b>	0,89±0,07	0,82±0,09	0,8±0,08	0,75±0,07	<b>0,82±0,08**</b>
<b>Sol Kol YYK (kg)</b>	3,71±0,1	3,77±0,1	3,79±0,09	3,83±0,09	3,84±0,1
<b>Sağ Kol YVK (kg)</b>	0,9±0,07	0,82±0,08	0,8±0,08	0,75±0,07	<b>0,82±0,08**</b>
<b>Sağ Kol YYK (kg)</b>	3,7±0,1	3,75±0,1	3,77±0,1	3,84±0,09	3,82±0,1
<b>Gövde YVK (kg)</b>	7,32±0,51	6,83±0,68	6,58±0,6	6,23±0,58	<b>6,71±0,59**</b>
<b>Gövde YYK (kg)</b>	27,76 ±0,68	27,89 ±0,72	27,91±0,7	28,07±0,69	28,29±0,72
<b>Sol bacak YVK (kg)</b>	2,57±0,18	2,4±0,24	2,31±0,21	2,19±0,2	<b>2,35±0,21**</b>
<b>Sol Bacak YYK (kg)</b>	10,13±0,28	10,1 0,31	10,22±0,29	10,29±0,3	10,1±0,45
<b>Sağ Bacak YVK (kg)</b>	2,58±0,18	2,4±0,24	2,31±0,21	2,19±0,2	<b>2,36±0,21**</b>
<b>Sağ Bacak YYK (kg)</b>	10,09 ±0,28	10,1±0,3	10,21±0,3	10,27±0,3	10,39±0,3
<b>Bel (cm)</b>	84,15 ± 1,4	82,63 ±2,21	81,53±1,99	80,95±1,63	83,09±1,57
<b>Kalça (cm)</b>	98,55 ±1,04	96,68 ±1,77	95,93 ±1,64	93,75± 2,11	96,57±1,56
<b>Sağ Uyluk (cm)</b>	51,18 ±0,77	51,24 ±1,03	51,58 ±1,04	<b>52,12±1,07*</b>	<b>51,23±1,04 **</b>
<b>Sol Uyluk (cm)</b>	51,08 ±0,73	50,97 ±1,06	51,33 ±1,05	<b>51,83±1,05*</b>	51,08±1,05

(EÖ: Egzersiz Öncesi, YVK: Yağsız Vücut Kütlesi, YYK: Yumuşak Yağsız Kütle. Ortalama±Standart Hata; n=20; \*: 1. hafta EÖ'den fark p<0,01, \*\*: 10. haftadan fark p<0,05)

### 4.3. Esneklik Ölçümleri

Kontrol grubu ile egzersiz grubunun 1. hafta EÖ ölçümleri arasında herhangi bir fark saptanmamıştır. 10 haftalık NHE sağ (p=0,019) ve sol diz (p=0,015) açısında 1. hafta EÖ'ye göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa sebep olmuştur. Egzersizin bırakılması ölçülen parametrelerde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3** Bireylerin esneklik ölçüm değerleri

	Kontrol	Egzersiz			Detraining	
	1. hafta Ort±SH	EÖ Ort±SH	5. hafta Ort±SH	10. hafta Ort±SH	5.hafta Ort±SH	10.hafta Ort±SH
<b>Otur-Uzan Testi (cm)</b>	4,5±1,82	8,45±2,05	10,2±2,21	11,13±2,13	9,48±2,35	9,47±2,38
<b>Sağ Diz Açısı</b>	16,1±1,3	17,55±1,73	15,1±1,48	<b>11,2±1,26</b>	13,7±1,33	10,37±1,59
<b>Sol Diz Açısı</b>	13,95±1,2	17,75±1,58	12,6±1,12	<b>10,25±1,1</b>	14,6±,32	11±1,45

(EÖ: Egzersiz Öncesi.Ortalama±Standart Hata; n=20; \* : 1. hafta EÖ grubundan fark p<0,05)

#### 4.4. Anaerobik Performans Ölçüm Değerleri

Kontrol grubu ile egzersiz grubunun 1. hafta EÖ ölçümleri arasında herhangi bir fark saptanmamıştır. 10 haftalık NHE çift ayak durarak öne uzun atlamada 1. hafta EÖ (p=0,0001) ve 5 haftalık egzersize (p=0,0001), dikey sıçramada 5 haftalık egzersize (p=0,009) göre artışa sebep olmuştur. 5 (p=0,0001) ve 10 haftalık (p=0,0002) egzersizi bırakma süreci çift ayak durarak öne uzun atlamada 10 haftalık NHE grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma oluşturmuştur (Tablo 4.4).



**Tablo 4.4** Bireylerin anaerobik performans test değerleri

	Kontrol	Egzersiz			Detraing	
	1. hafta Ort±SH	1.hafta EÖ Ort±SH	5. hafta Ort±SH	10. hafta Ort±SH	5.hafta Ort±SH	10.hafta Ort±SH
<b>Çift ayak durarak öne uzun atlama (cm)</b>	146,4±4,35	141,1±4,2	141,48±3,62	<b>159,85±3,04<sup>*,**</sup></b>	<b>143,2±2,59<sup>‡</sup></b>	<b>145,08±2,88<sup>‡</sup></b>
<b>Dikey sıçrama (kg.m/s)</b>	1022,2±36,38	1015,76±37,96	1009,77±37,52	<b>1056,64±38,12<sup>**</sup></b>	1052,64±37,34	1036,2±40,14

(EÖ: Egzersiz Öncesi. Ortalama±Standart Hata; n=20, <sup>\*</sup>: 1. hafta EÖ grubundan fark p<0,01; <sup>\*\*</sup>: 5. hafta egzersiz grubundan fark p<0,01; <sup>‡</sup>: 10. hafta egzersiz grubundan fark p<0,01)

#### 4.5. Ultrasonografi ve Strain Elastografi Ölçüm Değerleri

Egzersiz grubu ve kontrol grubu bireyler arasında 1. hafta EÖ ölçüm değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır. Egzersiz grubu bireylerde 10. hafta detraining PA ölçüm değerleri, 9. hafta değerlerine göre (p=0,0001) istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Egzersiz grubu bireylerde 9. hafta PA ölçüm değerleri, 1. hafta değerlerine göre (p=0,002) istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. 10. hafta detraining BFub kas alanı değerleri, 9. hafta değerlerine göre (p= 0,001) istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Ek olarak, 9. hafta BFub kas alanı değerleri, 1. hafta EÖ değerlerine göre (p= 0,006) istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. 10. hafta detraining BFub kas sertliği değerleri, 9. hafta değerlerine göre (p=0,02) istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Tablo 4.5).

**Tablo 4.5** Bireylerin ultrasonografi ve strain elastografi ölçüm değerleri

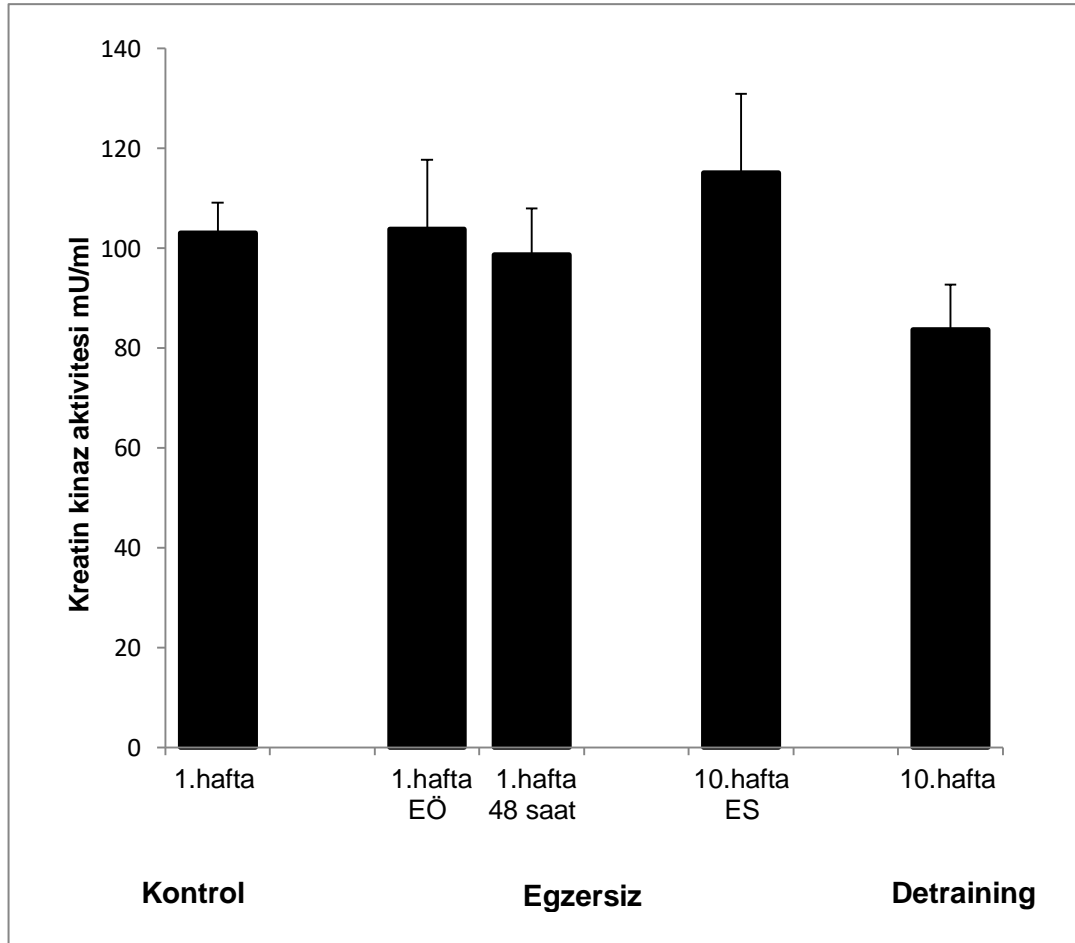
	Kontrol	Egzersiz		Detraining
	1. hafta	1. hafta EÖ	9. hafta	10.hafta
	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH
<b>BFub FU (cm)</b>	9,34±0,36	8,68±0,26	8,89±0,26	8,97±0,14
<b>BFub Alan (cm<sup>2</sup>)</b>	11,36±0,38	11,29±0,4	<b>12,34±0,42*</b>	<b>11,19±0,43<sup>#</sup></b>
<b>PA</b>	11,8±0,51	12,85±0,53	<b>15,4±0,6<sup>†</sup></b>	<b>12,35±0,47<sup>#</sup></b>
<b>BF kas sertliği</b>	0,20±0,002	0,23±0,03	0,25±0,03	<b>0,15±0,01**</b>

(EÖ: Egzersiz Öncesi, Ortalama±Standart Hata; n=19, <sup>†</sup>: 1. hafta EÖ grubundan fark p<0,01; <sup>\*\*</sup>: 9. hafta egzersiz grubundan fark p<0,05; <sup>#</sup>: 9. hafta egzersiz grubundan fark p<0,01)

#### 4.6. Kas Hasarı Değerlendirmeleri

##### 4.6.1. Kreatin kinaz aktivitesi ölçümleri

Deneklerin plazma KK aktivitelerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde fark bulunmamıştır (Şekil 4.1).

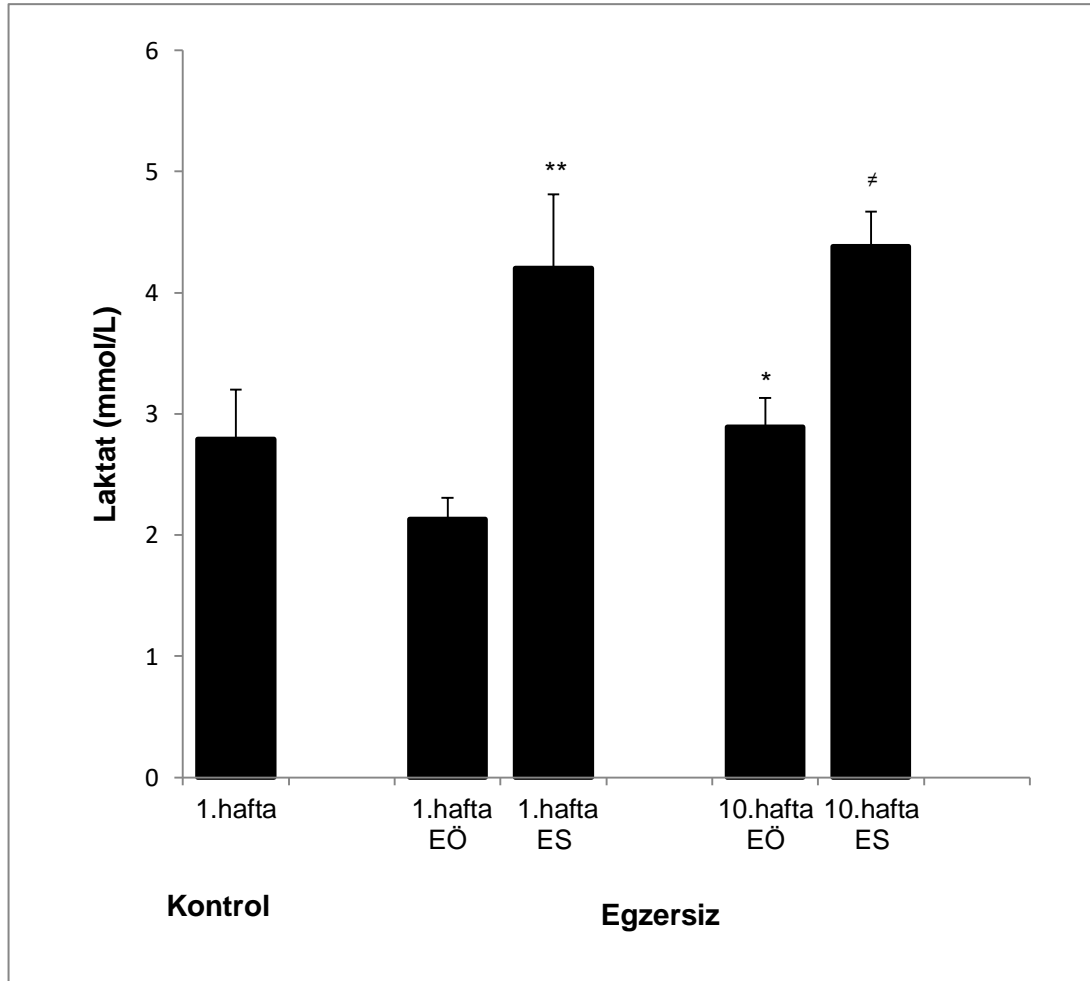


**Şekil 4.1** Plazma KK aktivitesi değerleri (EÖ: Egzersiz Öncesi, ES: Egzersiz sonrası, 1. hafta 48 saat: akut egzersizden 48 saat sonra, Ortalama±Standart Hata; n=13)

#### 4.6.2. Kan laktatı

Deneklerin kan laktat düzeyi ölçümleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Her bir kan örneğinden elde edilen kan laktat analizi ES değerleri, EÖ değerlerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ( $p=0,001$ ,  $p=0,002$ , sırasıyla).

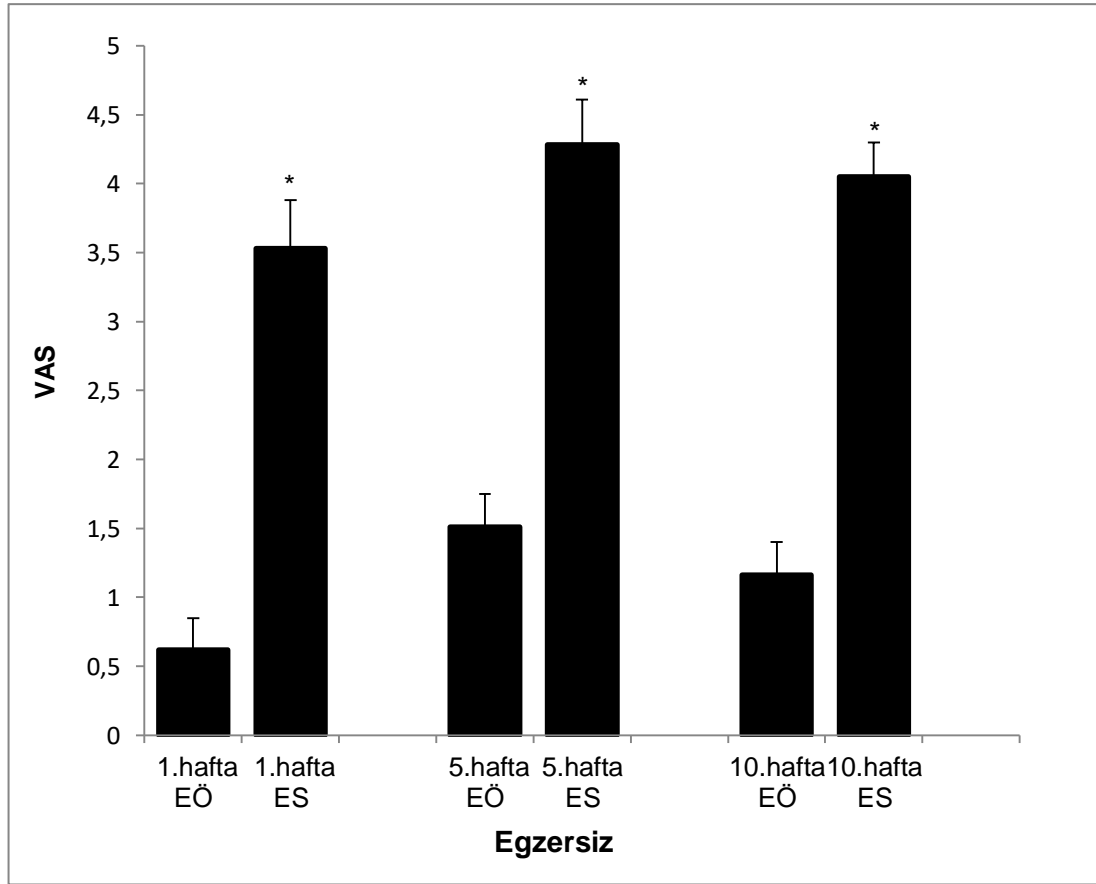
EÖ ölçülen değerler birbirleriyle karşılaştırıldığında; 10. hafta EÖ kan laktat değerleri, 1. hafta EÖ değerlerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ( $p=0,027$ ).



**Şekil 4.2** Kan laktat ölçüm değerleri (EÖ: Egzersiz Öncesi, ES: Egzersiz Sonrası, Ortalama±Standart Hata; n=18, \*: 1. hafta EÖ'den fark  $p<0,05$ ; \*\*: 1. Hafta EÖ grubundan fark  $p<0,01$ ; ≠: 10. hafta EÖ grubundan fark  $p<0,01$ )

#### 4.6.3. Egzersiz grubu ağrı ölçümleri

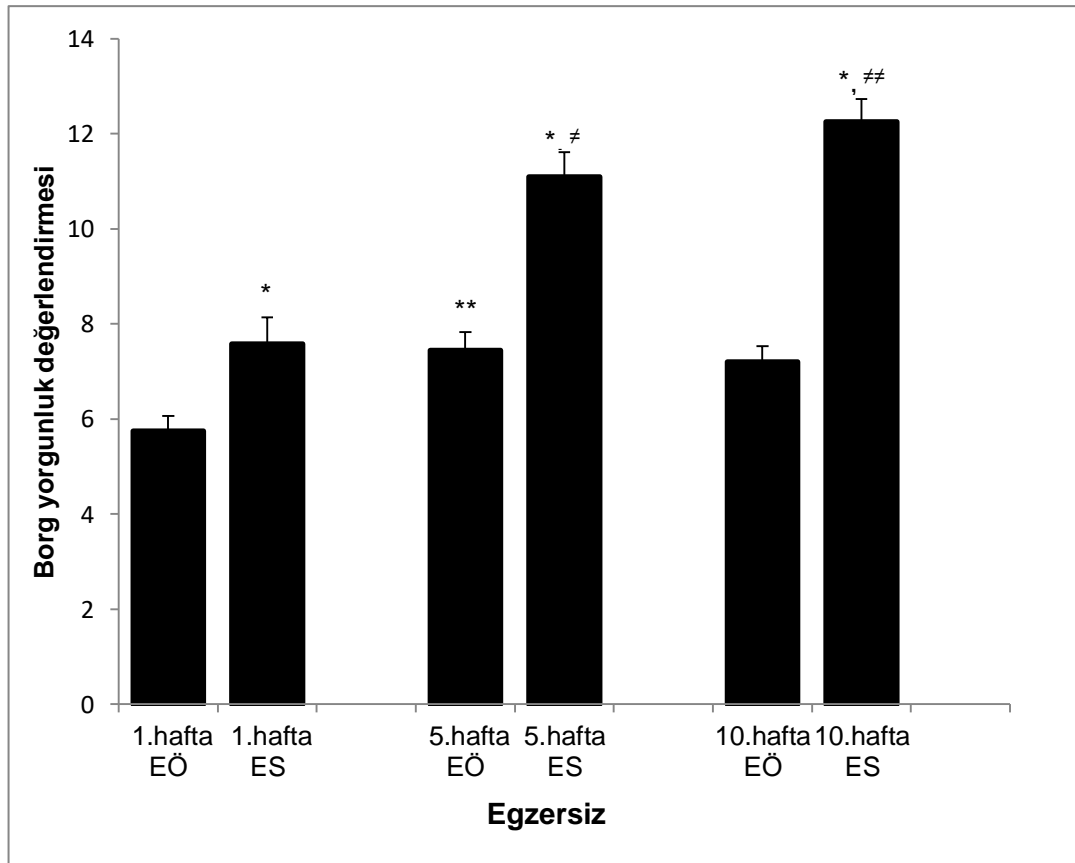
Bireylerin ağrı değerlendirmeleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Tüm haftalarda ES bireyler EÖ'ne göre daha fazla ağrı hissettiklerini ifade etmişlerdir ( $p=0,0001$ ;  $p=0,0001$ ;  $p=0,0001$ , sırasıyla).



**Şekil 4.3** Deneklerin VAS değerlendirmeleri (Ortalama±Standart Hata; n=20, \*: EÖ'den fark p<0,01)

#### 4.7. Egzersiz Grubu Yorgunluk Değerlendirmeleri

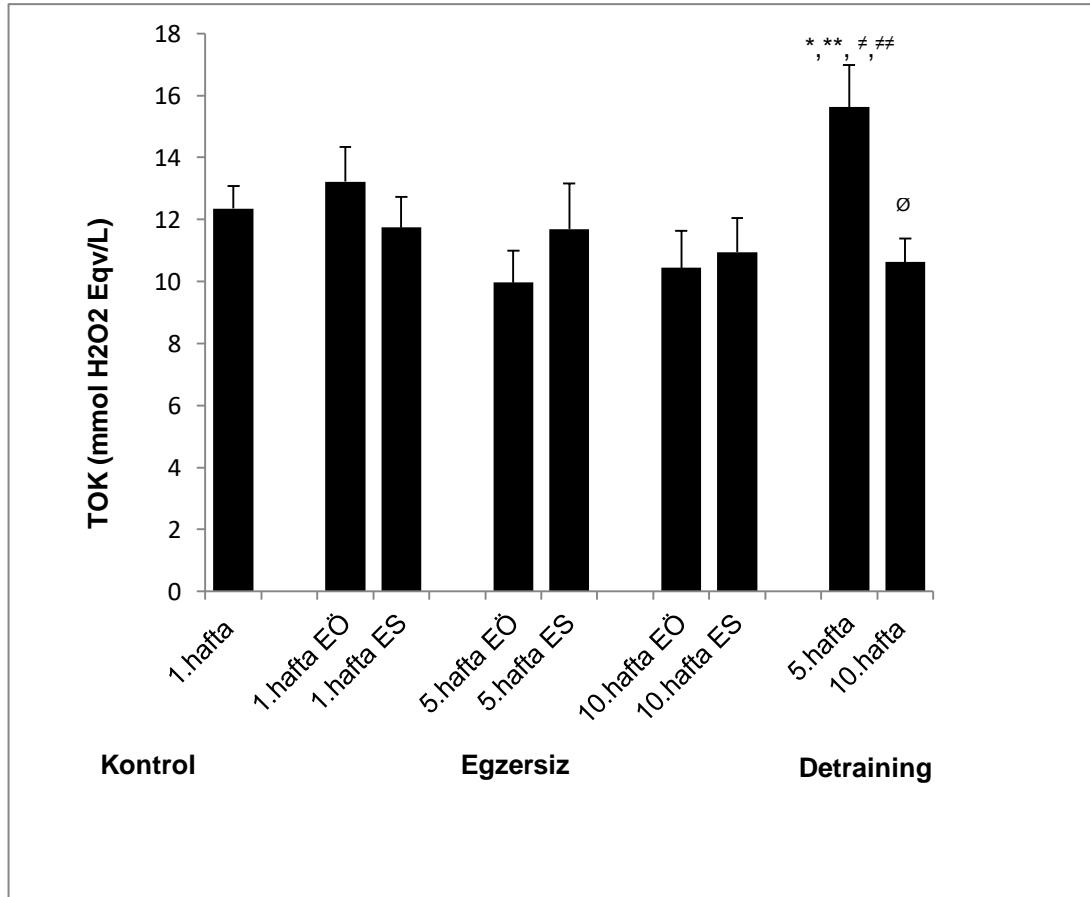
ES Borg algılanan yorgunluk düzeyleri tüm gruplarda kendi EÖ'lerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur (p=0,002, p=0,0001, p=0,0001, sırasıyla). Denekler 5. hafta EÖ'de, 1. hafta EÖ'ne göre daha fazla ağrı hissettiklerini ifade etmişlerdir (p=0,006). Ek olarak, 5. ve 10. hafta ES Borg algılanan yorgunluk değerleri, 1. hafta ES değerlerine göre (p=0,022, p=0,0001 sırasıyla) istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4** Egzersiz grubu bireylerin Borg algılanan yorgunluk değerlendirme (Ortalama±Standart Hata; n=20, \*: EÖ'den fark  $p<0,01$ ; \*\*: 1. hafta EÖ'den fark  $p<0,01$ ; †: 1. hafta ES grubundan fark  $p<0,05$ ; ††: 1. hafta ES grubundan fark  $p<0,01$ )

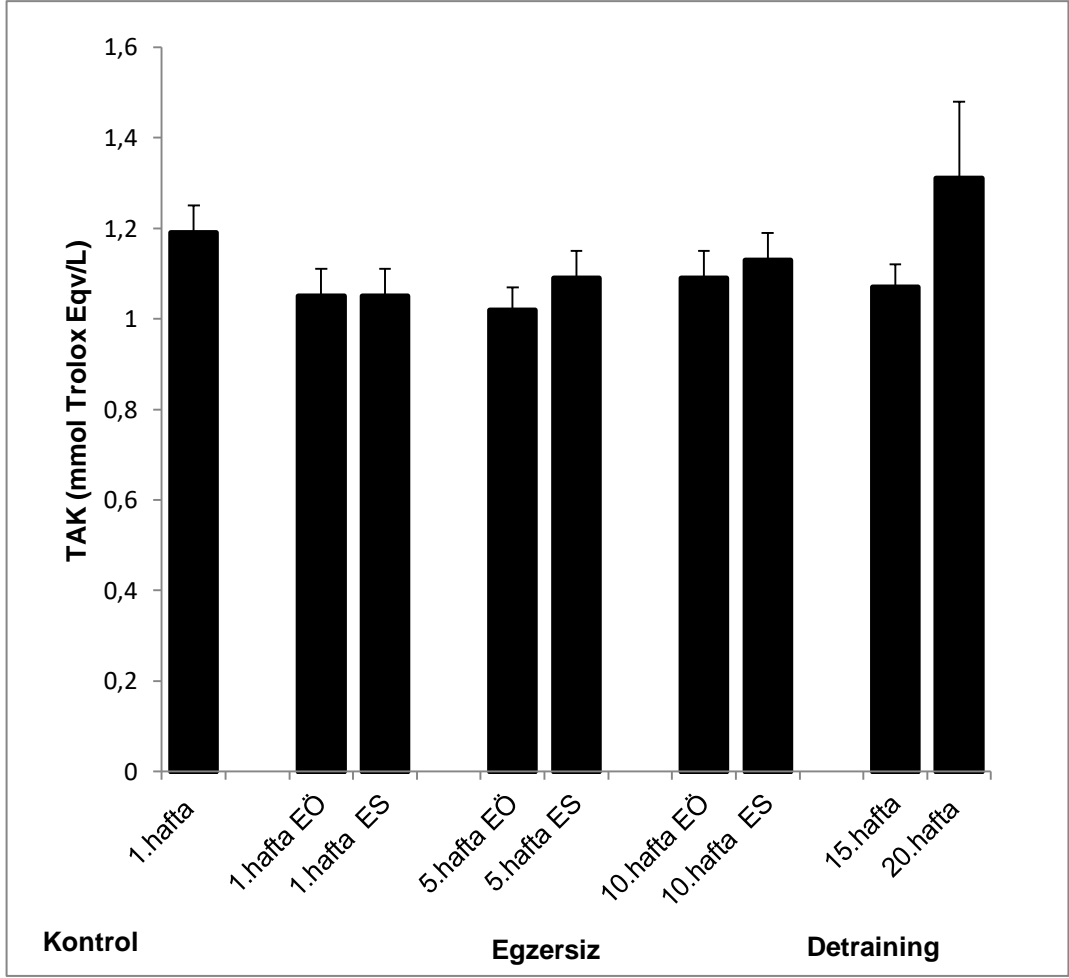
#### 4.8. Total Oksidan Kapasite, Total Antioksidan Kapasite ve Oksidatif Stres İndeksi Değerleri

Bireylerin TOK ölçümleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. 1. hafta alınan kan örneklerinde egzersiz grubu ile kontrol grubu TOK değerleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde bir fark bulunamamıştır. 5 haftalık egzersizi bırakma TOK değerlerinde, 5. hafta EÖ ( $p=0,048$ ), ES ( $p=0,029$ ), 10. hafta EÖ ( $p=0,001$ ) ve ES ( $p=0,029$ ) değerlerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa sebep olmuştur. 10 haftalık egzersizi bırakma TOK'da 5. hafta detraining grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmaya yol açmıştır ( $p=0,001$ ).



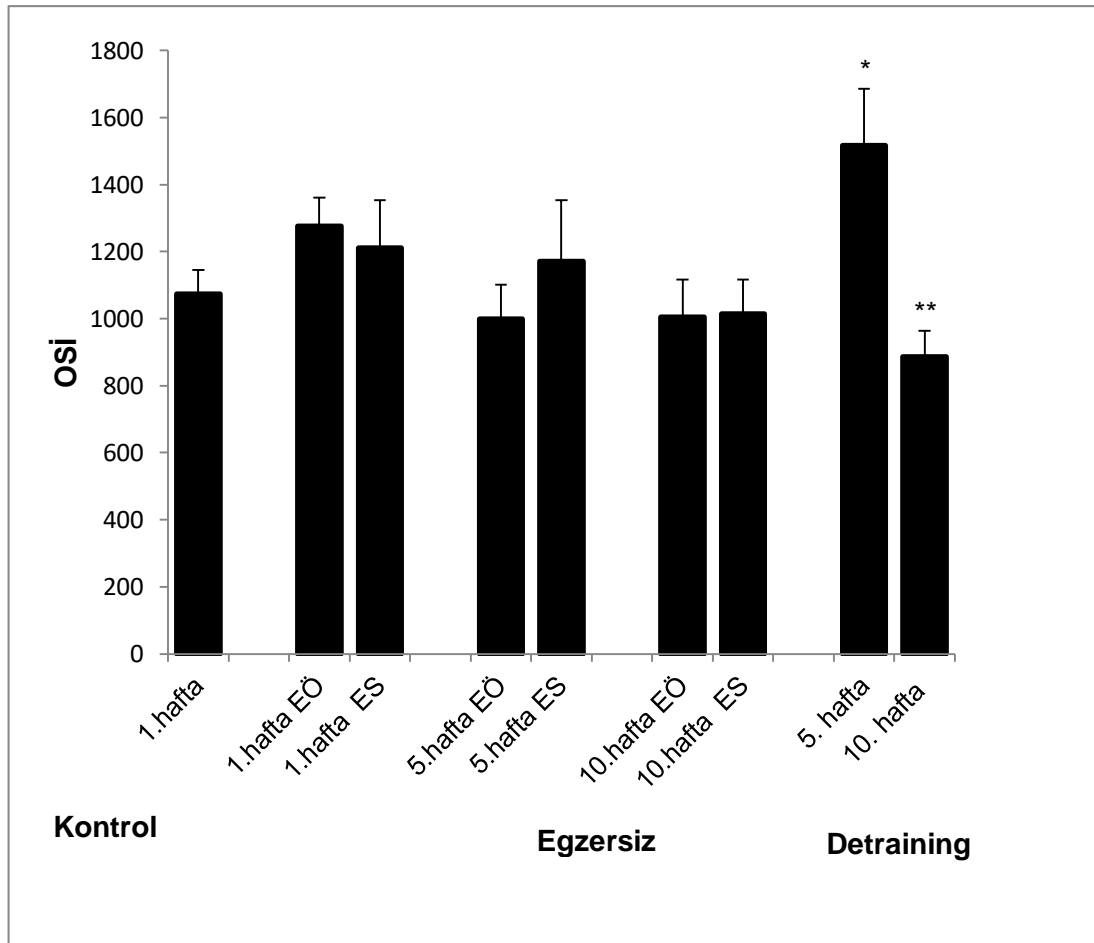
**Şekil 4.5** Serum TOK değerleri (EÖ: Egzersiz Öncesi ES: Egzersiz Sonrası. Ortalama±Standart Hata; n=17 \*: 5. hafta EÖ grubundan fark p<0,05; \*\*: 5. hafta ES grubundan fark p<0,05; †: 10. hafta EÖ grubundan fark p<0,01; ‡: 10. haftada ES'den fark p<0,05; ∅: 5. hafta detraining grubundan fark p<0,01)

Grupların TAK değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark saptanmamıştır (Şekil 4.6). Bireylerin OSİ ölçümleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. 5. hafta detraining OSİ ölçümleri, 10. hafta EÖ OSİ'ye göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur (p=0,037). Egzersizi 10 hafta boyunca bırakmak OSİ değerlerinde, 5 haftalık detraininge göre azalmaya neden olmuştur (p=0,001).



**Şekil 4.6** Serum TAK değerleri (EÖ: Egzersiz öncesi ES: Egzersiz sonrası. Ortalama±standart hata; n=17)



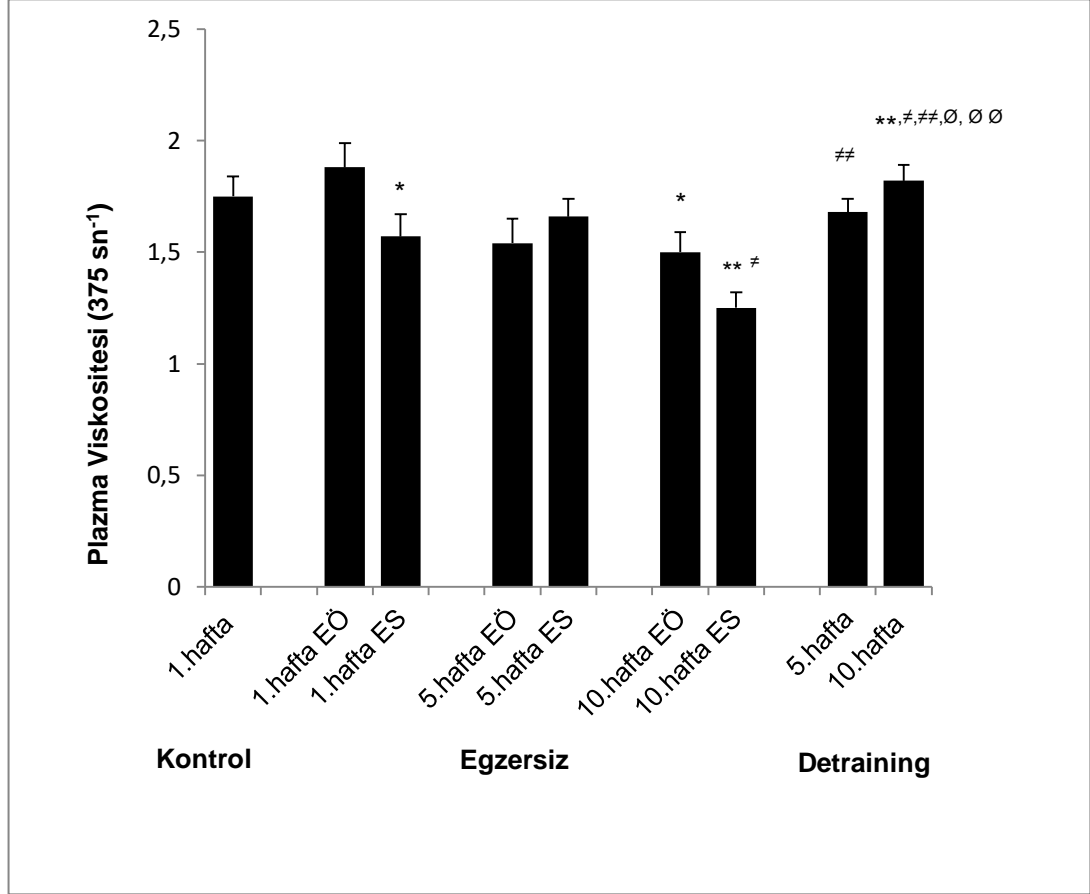


**Şekil 4.7** Serum OSI değerleri (EÖ: Egzersiz Öncesi ES: Egzersiz Sonrası. Ortalama±Standart Hata; n=17. \*: 10. hafta EÖ grubundan fark  $p<0,05$ ; \*\*: 5. hafta detraining grubundan fark  $p<0,01$ )

#### 4.9. Plazma Viskozitesi Değerleri

PV  $375 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında ölçülmüştür. Deneklerin PV ölçümleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Kontrol ve 1. hafta EÖ PV değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur. 1. hafta ( $p=0,031$ ) ve 10. haftada ( $p=0,004$ ) yapılan egzersizler PV'de EÖ'sine göre azalmaya sebep olmuştur. 10. hafta EÖ PV değerleri, 1. hafta EÖ değerlerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur ( $p=0,016$ ). 10. hafta ES PV değerleri 5. hafta ES'ye kıyasla azalmıştır ( $p=0,037$ ). 5 haftalık egzersizi bırakma 10. hafta ES grubuna göre PV'de istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa sebep olmuştur ( $p= 0,001$ ). 10 hafta boyunca egzersizi bırakma PV'de 1. hafta ES ( $p=0,019$ ), 5. hafta EÖ ( $p=0,027$ ) ve ES ( $p=0,037$ ), 10. hafta EÖ

( $p=0,003$ ) ve ES ( $p=0,0001$ ) değerlerine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artışa sebep olmuştur.



**Şekil 4.8:** PV değerleri (EÖ: Egzersiz Öncesi ES: Egzersiz Sonrası. Ortalama±Standart Hata; n=20 \*: 1. hafta EÖ grubundan fark  $p<0,05$ ; \*\*: 10. hafta EÖ grubundan fark  $p<0,01$ ; †: 5. hafta ES grubundan fark  $p<0,05$ ; ‡: 10. hafta ES grubundan fark  $p<0,01$ ; ∅: 1. hafta ES grubundan fark  $p<0,05$ ; ∅∅: 5. hafta EÖ grubundan fark  $p<0,05$ )

## 5. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında hamstring kasının eksantrik kas kuvvet gelişiminin sağlanması amacıyla kullanılan basit ama etkili bir yöntem olan NHE'nin 10 haftalık ilerleyici eğitimiyle, sağlıklı, sedanter aktif, genç erişkin, erkek bireylerde demografik, antropometrik ölçümler, esneklik ölçümleri, anaerobik egzersiz ölçüm parametreleri, USG ve strain elastografi ölçümleri, kas hasar parametreleri, ağrı ve yorgunluk değerlendirmeleri ile oksidatif stres parametreleri ve PV üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ek olarak, bu parametrelerdeki olası değişimlerin 2 ayrı detraining sürecinden (5 ve 10 haftalık) nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Egzersiz gruplarımızın bazal değerleri ile kontrol grubu arasında istatistiksel olarak herhangi bir fark olmadığı gözlenmiştir. Veriler, 10 haftalık ilerleyici NHE'nin deneklerin kilo vermesine ve uyluk çevrelerinde artışa sebep olduğunu göstermektedir. Egzersiz bireylerin demografik ve antropometrik ölçümlerinde bunlar dışında istatistiksel olarak önemli bir değişime sebep olmamıştır. Bununla beraber 5 haftalık egzersiz bırakma süreci verilen kiloların yeniden alınmasına ek olarak, deneklerin TSM, VKİ, VYY, kol, bacak, gövde YVK'da artışa; sağ uyluk çevresinde azalmaya neden olmuştur. 10 haftalık NHE her 2 diz açısında artış oluşturmuş; bu parametreler detraining sürecinden etkilenmemişlerdir. 10. hafta sonunda deneklerin anaerobik performans testlerinde artış gözlenmiş; egzersizi bırakmayla çift ayak durarak öne uzun atlamadaki olumlu değişim geri dönmüştür. NHE bireylerin BFub alanı ve PA'da artışa sebep olmuş; bu 2 parametredeki değişim 10 haftalık detrainingle geri dönmüştür. Uygulanan egzersiz protokolü BFub kas sertliğinde değişikliğe sebep olmazken, egzersizin bırakılması bu oranın bazal değerlerinin de altına inmesine neden olmuştur. Deneklerin KK aktivitesi değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmezken, her egzersiz seansını takiben kan laktat düzeyi, VAS ve Borg yorgunluk değerlendirmesinde istatistiksel olarak önemli artışlar saptanmıştır. 10. hafta EÖ tespit edilen kan laktat düzeyinin bazal değerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Denekler 5 hafta EÖ ve ES ile 10. Hafta ES'de, bazale göre kendilerini daha yorgun hissettiklerini ifade etmişlerdir. Uygulanan egzersiz protokolü TOK, TAK ve OSİ değerlerinde değişime sebep olmazken; egzersizin bırakılması 5.

Haftada TOK ve OSI'de artış oluşturmuştur. 10 haftalık detraining ise bu 2 parametrenin yeniden azalmasına neden olmuştur. 1. ve 10. Hafta ES ölçülen PV değerleri aynı hafta EÖ'ye göre düşük bulunmuştur. 10. Hafta EÖ PV bazale göre düşük olarak tespit edilmiştir. 5 haftalık egzersiz bırakma süreci PV'de istatistiksel olarak önemli düzeyde artış oluşturmuş, 10 haftalık detraining ile bu artış devam etmiştir.

Kasın özellikle eksantrik olarak zorlanmasıyla ortaya çıkan hamstring yaralanmaları saha sporlarında çok sık meydana gelen yaralanmalar arasındadır (Burket 1970). Bu yaralanmalar, sporcunun performansının azalmasına ve rehabilitasyon sürecinde ciddi oranda zaman kaybına neden olmaktadır (Ribeiro-Alvares vd 2018). Hamstring yaralanmaları, toplam yaralanmaların %12-17' sini oluşturur (Orchard vd 2010) ve son on yılda artma eğilimindedir (Ekstrand vd 2016). Bu sebeplerle hamstring yaralanmalarının önlenmesi için başarılı eğitim programlarının belirlenmesi, optimize edilmesi ve bu eğitimlerin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Seymore vd 2017). NHE hamstring kas yaralanmalarını önlemeyi amaçlayan bir egzersiz türüdür (Bahr vd 2015). NHE uygulanırken, direnç olarak vücut ağırlığı kullanıldığından ve özel bir ekipman gerektirmediğinden bu egzersizin kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır (Al Attar vd 2017). Egzersize başlamadan önce deneklere haftada 3 gün, 2 set, 2 tekrarlı NHE yaptırılmış, deneklerden 4 sn'de düşmeleri istenerek egzersize alıştırmaları sağlanmıştır. Deneklerin tümü egzersiz ve detraining süreçlerini tamamlamışlardır.

Toplumumuzda düzenli olarak egzersiz yapma kültürü yerleşmemiş olup, özellikle belli yaralanma ve/veya hastalık riski altındaki bireyler egzersize başlamakta; ancak belli bir süre sonra sıklıkla bir takım sebeplerle ara vermekte veya bırakmaktadır (detraining) (Mujika ve Padilla 2000). Bu durumda egzersize bağlı yaralanma ve/veya hastalık riskinde azalma tespit edilmiş olsa bile, bu olumlu değişimlerin ne kadar süre korunabileceği, geri dönüş süre ve şiddetleri, bu olası geri dönüşlerin fizyolojik mekanizmaları ile ilgili yeterli literatür bilgisi mevcut değildir.

10 haftalık ilerleyici NHE sedanter aktif bireylerin kilo vermesine neden olmuş, 5 haftalık egzersiz bırakma süreci ile verilen kilolar geri alınmıştır. Literatür incelendiğinde, sedanter ve rekreasyonel aktif bireylerde NHE eğitimine bağlı kilo kaybı gözlenmediği anlaşılmaktadır (Bourne vd 2017, Riberio-Alves vd 2018, Rodio ve Fattorini 2014). Presland ve arkadaşları (2018) 20 rekreasyonel aktif erkekte düşük hacimli ve yüksek hacimli 6 haftalık NHE ve 4 haftalık egzersiz bırakma ile denekler arasında kilo açısından anlamlı bir fark olmadığını bildirmiştir (presland vd 2018)

Tez çalışmamız kapsamında öğrencilere herhangi bir diyet önerisi uygulanmamıştır. Ancak öğrencilerin çoğunun yurttan kalması da kilo vermelerine katkı sağlamış olabilir. Literatürde NHE eğitimini takiben deneklerin TSM, VYY, kol, gövde ve bacak YVK'larındaki değişimi inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bulgularımız egzersize bağlı bu parametrelerde değişim göstermezken, 5 haftalık detraining döneminde hepsinde artış olduğunu ortaya koymuştur. Bu değişim deneklerin genel olarak egzersizi bırakma sürecinde kilo almalarıyla açıklanabilir. Tez kapsamında uygulanan NHE eğitimi, deneklerin sağ ve sol uyluk çevre ölçümlerinde artışa sebep olmuş, egzersiz bırakılınca sadece sağ uyluk çevre ölçümünde azalma meydana gelmiştir. Öğrencilerin çoğunda dominant bacak sağ bacağıdır.

Kronik eksantrik antrenman kas esnekliğinin artması ve sporcularda hamstring gerilme yaralanması riskinin azaltılması ile ilişkilendirilmiştir (Coratella vd 2016, Petersen vd 2011). van der Horst arkadaşları (2017) 18-40 yaş arası amatör futbolcularda 13 haftalık NHE eğitimi alan bireyleri 1 yıl boyunca değerlendirmiş ve sonuç olarak hamstring esnekliğinin arttığını, yaralanmanın ise azaldığını göstermişlerdir (van der Horst vd 2017). Rivereo-Alves ve arkadaşları (2018) 18-35 yaş arası genç sağlıklı kişilerde 4 haftalık NHE eğitimi ile esnekliğin arttığını göstermişlerdir (Rivereo-Alves 2018). Mujika ve Padilla (2000) bildirdiğine göre çalışmalarda beden eğitimi öğrencilerinde 4 haftalık egzersiz bırakmanın kalça esnekliğini azalttığı bildirilmiştir (Mujika ve Padilla 2000). Bizim verilerimiz de 10 haftalık NHE eğitiminin bireylerin diz açısı ile değerlendirilen esnekliklerinde artış olduğunu, öte yandan otur-uzan testinde değişiklik olmadığını ifade etmektedir. Diz açısı ölçümü bölgesel hamstring esnekliğini incelerken, otur-uzan testi lumbar ekstansörler, kalça ekstansörleri ve hamstring esnekliğini belirlemektedir (Otman ve Köse 2008). Verilerimiz NHE'nin temel olarak hamstring esnekliğini arttırdığını göstermektedir. Tez bulgularımız kapsamında, egzersizin 5 ve 10 hafta süreli bırakılması hamstring esneklik kazanımını geri çevirmemiştir. Hamstring esnekliğinin NHE'yi bırakmaya cevaben ne kadar süre korunacağı daha uzun detraining süreçleri içeren çalışmalarla test edilebilir.

Çalışmamızda uygulanan NHE 10. haftada çift ayak durarak öne uzun atlama ve dikey sıçrama ölçümleri ile değerlendirilen anaerobik performans testlerinde gelişmeye sebep olmuştur. Sporda performans temel olarak anaerobik patlayıcı güç, esneklik, çeviklik, hız gibi kavramlarla yakından ilişkilidir (Fahey vd 2011). NHE'nin sporda performansı arttırdığı bilinmektedir (Ishøi vd 2018). Bu doğrultuda sedanter aktif bireylerde 10 haftalık ilerleyici NHE ile anaerobik performansın artması beklenen bir değişimdir. Bunlardan çift ayak durarak öne uzun

atlama testinde elde edilen kazanımlar 5 ve 10 haftalık egzersizli bırakma süreci ile geri dönerken, dikey sıçrama testindeki değişim bozulmamıştır. Çalışmamızda uygulanan detraining protokolü yukarıda ifade edilen diz esnekliği parametrelerini de geri çevirmemiştir. Esneklik, fiziksel uygunluk ve anaerobik performansın bir ölçüsüdür (Fahey vd 2011). Diz açılarındaki değişimlerin geri dönmemesi, dikey sıçramanın detraining sürecindeki yanıtını belirlemiş olabilir. Çift ayak durarak öne uzun atlama, alt ekstremiteye ek olarak kol aktivitesini de gerektirmektedir. Krommes ve arkadaşları (2017) 25 erkek futbolcu ile 10 haftalık NHE eğitim grubu ve kontrol olarak ayırdığı çalışmada iki grup arasında dikey sıçrama performansında bir değişim olmadığını bildirmişlerdir (Krommes vd 2017). Krommes ve arkadaşları'nın bulgularıyla bizimkiler arasındaki uyumsuzluk kısmen deneklerin antrenman düzeylerindeki farklılık ile açıklanabilir. Bizim çalışmamızdaki denekler sedanter aktif bireyler arasından seçilmiştir.

Çeşitli egzersiz eğitimlerine cevap olarak hamstring kasının yapı ve fonksiyonunun adapte olabilirliliği; hamstring yaralanmalarını azaltabilecek önemli bir etkiye neden olabilir (Cuthbert vd 2019). İzole eksantrik direnç eğitiminin izole konsantrik eğitime göre daha fazla sinirsel ve morfolojik adaptasyona neden olduğu gösterilmiştir (Roig vd 2009). Kas mimarisi genellikle FU, PA ve kas sertliği, kas kesit alanı olarak incelenmektedir (Cuthbert vd 2019). Hamstring kasının kendine has mimarisi, hamstring gerilme yaralanmasının engellenmesinde önemli bir faktördür (Mendiguchia vd 2012). Literatürde NHE'ye yanıt olarak kas mimarisindeki değişimler incelenmiş olup, sonuçlar deneklerin antrenman durumları, NHE'nin eksternal bir yüke karşı veya vücut ağırlığı ile yapılmış olması, egzersiz şiddet ve süresi farklılığı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Presland vd 2018, Bourne vd 2017, Riberio-Alves vd 2018, Alonso- Fernandez vd 2018). NHE sırasında katılımcılara, yer ile temasa geçene kadar maksimum eksantrik torkunun artması için düşmeden önceki son açıda kalabildikleri süre boyunca kendilerini tutmaları istenmiştir. NHE sırasındaki hareket ve hız aralığı katılımcılar arasında bireysel farklılıklar göstermektedir. Bu farklar mimari adaptasyonların kapsamını etkilemiş olabilir (Messer vd 2018).

Bizim çalışmamıza benzer şekilde, Seymore ve arkadaşları (2017) 18-25 yaş arası sağlıklı kişilerde çalışmış, 6 haftalık NHE eğitimi sonrasında FU, PA ve kas sertliğinde anlamlı bir değişim olmadığını ancak BFub kas alanında anlamlı bir artış olduğunu göstermişlerdir (Seymore vd 2017). Araştırmacılar PA'da istatistiksel olarak önemli olmayan artış da saptamışlardır. Bizim verilerimiz de BFub alanı ve PA'da artış tespit etmiş, bu 2 parametrenin 10 haftalık detrainingle geri döndüğü gözlenmiştir. 20 rekreasyonel aktif erkekte düşük hacimli ve yüksek hacimli 6

haftalık NHE ve takiben 4 haftalık egzersiz bırakma sürecinde iskelet kas mimari değişimlerinin incelendiği bir çalışmada her iki egzersiz hacminde de FU'nun arttığı, PA'nın azaldığı ve kas sertliğinin değişmediği; detraining boyunca FU'nun azaldığı, PA'nın arttığı ve kas sertliğinin bazal seviyelerin bir miktar altına indiği gösterilmiştir (Presland vd 2018).

Uzun süreli eksantrik antrenmanın potansiyel faydaları sağlıklı popülasyonlarda klinik açıdan önem taşımaktadır (Mitchell vd 2017). Ancak eksantrik zorlu ve akut egzersiz kas hasarı olarak adlandırılan derin kas yapısal ve fonksiyonel bozulmalarına neden olabilmektedir (Krentz ve Farthing 2010). Duhig ve arkadaşları (2019) 30 rekreasyonel aktif erkek 5 haftalık NHE eğitiminin kas hasarı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak 5 haftalık NHE sonrası PA azalmış, kas sertliği ve FU artmıştır. 5 haftalık NHE sonucunda kas hasar belirtici olan KK seviyelerinde bizim bulgularımızla uyumlu olarak istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmemiştir. Abaïdia ve arkadaşları (2017) yaş ortalamaları 29 olan 12 fiziksel aktif erkeğe tek seanslık 5 set ve 15 tekrardan oluşan izokinetik dinometre kullanılarak yapılan egzersizin ardından KK seviyelerinin egzersiz sonrası 24 saatte arttığı ancak egzersiz sonrası 48 saatte normale döndüğünü bildirmişlerdir (Abaïdia vd 2017). Mevcut tezde KK seviyesi değil, aktivitesi değerlendirilmiştir. Ek olarak, 1. hafta akut egzersize bağlı KK aktivitesi ölçümleri egzersiz takiben 48. saatte, 10. hafta uzun süreli egzersizin plazma KK aktivitesine etkisi egzersizden hemen sonra incelenmiştir. Abaïdia ve arkadaşlarının bulgularını destekler şekilde KK aktivitesinde değişiklik saptanmamıştır. 10 hafta süresince egzersizin bırakılması da KK aktivitesin istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmamıştır. Çalışmamızda ilerleyici bir NHE programı uygulanmıştır. İlk seansta 1. Hafta, 2 set 5 tekrarlı düşük bir egzersiz uygulanmış, bu da KK aktivitesinde değişikliğe sebep olamamıştır. Deneklere uygulanan alıştırmaya sürecinin de bu sonuçta payı olabilir. 10. haftada yapılan ölçümlerde KK aktivitesinin değişmemiş olması da egzersize uyum ile açıklanabilir. Literatürde eksantrik egzersiz takiben detraining sürecinde KK aktivitesinin nasıl etkilendiğini gösteren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Kan laktat konsantrasyonu artışı, egzersize bağlı kas hasarının bir başka göstergesi olabilir (Twist ve Eston 2009). Akut NHE'nin kan laktat konsantrasyonlarını arttıracığı tahmin edilmiş ve bu sebeple 1. ve 10. haftada NHE'den hemen sonra sedanter aktif deneklerin kan laktat konsantrasyonları ölçülmüş ve beklendiği gibi yüksek bulunmuştur. 10 haftalık ilerleyici NHE'ye adaptasyona rağmen kan laktat konsantrasyonunda akut artış tespit edilmiştir. Scharf ve arkadaşları (1994) 20-36 yaşları arasında 21 sağlıklı genç sağlıklı erkek

bireylerde izokinetik eksantrik egzersiz sonrası 2 dakikada 1 olmak üzere 15 dakikaya kadar kan laktat konsantrasyonlarını ölçmüşler ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığını bulmuşlardır (Scharf vd 1994). NHE'ye cevaben kan laktat düzeyi ölçen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Eksantrik egzersizin akut ve gecikmiş başlangıçlı kas ağrısına neden olduğu bilinmektedir (Atkinson ve Nevil 1998). Çalışmamızda sedanter aktif deneklere 1., 5. ve 10. hafta egzersiz seansını hemen takiben VAS uygulanmış ve 3'ünde de kendi EÖ'lerine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artış tespit edilmiştir. 1. hafta verileri akut, düşük şiddetli egzersizin etkisini yansıtmaktadır. NHE şiddeti 5. haftada en üst seviyeye ulaşmış olup 5. hafta verileri bu egzersiz şiddetine cevaben oluşan ağrıyı göstermektedir. 5-10. hafta arası deneklere aynı yüksek şiddette egzersiz uygulanmış, 10. hafta sonunda NHE'ye uyum sağlamış bireylerde bile akut egzersizi takiben kas ağrısında ciddi artışlar meydana geldiği gözlenmiştir. VAS'daki artışlar kan laktat konsantrasyonları verileri ile uyumludur. Mjølunes (2004) ve arkadaşları profesyonel futbolcularda 10 haftalık NHE'nin EÖ ve ES ölçülen bacak kas ağrılarında istatistiksel olarak önemli bir fark oluşturmadığını göstermişlerdir (Mjølunes vd 2004). Bu çalışmanın sonuçlarının bizim verilerimizle çelişkili olması, Mjølunes (2004) ve arkadaşlarının profesyonel futbolcularla çalışmış olmalarıyla açıklanabilir.

Borg yorgunluk skalası egzersize cevaben yorgunluğun değerlendirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Morishita vd 2019). 60-200 atım/dk kalp hızlarında kullanımı uygun olup 6-20 arası ölçeklendirilmiştir. Deneklerimiz tahmin ettiğimiz gibi, 1., 5. ve 10. hafta egzersiz seansını takiben yorgunluklarında istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşan artışlar ifade etmişlerdir. Ünver ve arkadaşları (2018) 19-21 yaş aktif erkeklerde akut NHE'yi takiben yorgunluk seviyelerinin arttığını bildirmişlerdir (Ünver vd 2018). Yarrow ve arkadaşları (2008) yaş ortalamaları 21 olan 22 sağlıklı erkekte 5 hafta, haftada 3 gün ilerleyici dirençli eksantrik egzersiz sonrası borg yorgunluk skalasının akut egzersiz seansı gibi arttığını göstermişlerdir (Yarrow vd 2004). Bu veriler bizim çalışmamızın sonuçlarıyla uyum içindedir. Uygulanan 5 haftalık egzersiz ilerleyici karakterde olduğu için yorgunlukta artışa sebep olmuş; ancak 5-10. hafta arası set ve tekrar sayıları sabit kaldığından adaptasyonun da etkisiyle yorgunlukta artış gözlenmemiş olabilir.

Yüksek yoğunluktaki egzersizler esnasında oksijen kullanımında dramatik artış, genellikle serbest radikallerin oluşumu ve birikimiyle ilgili olup, bu serbest radikaller nötralize edilmezlerse oksidatif hasarla sonuçlanır (Sen 2001). Eksantrik egzersizlerin reaktif oksijen türlerinin oluşumunu uyararak, kas lifi hasarının



başlamasında ve ilerlemesindeki etkisi bildirilmiştir (Margaritelis vd 2014). Redoks durum değişiklikleriyle oksidatif stresin aşırı artmasının, egzersiz patofizyolojisinde ve egzersize adaptasyonun bozulmasında rol oynadığı ve bu sebeple uzun vadeli periyodik olarak izlenmesinin önemli olduğu ileri sürülmektedir (Tanskanen vd 2010). Literatürde genelde egzersize oksidatif stres cevabı incelenirken seçilen organlarda ilgili enzimler tek tek incelenmekte olup (Balcı ve Pepe 2012, Lima vd 2013) çalışmamız kapsamında vücuttaki toplam oksidan-antioksidan durumun değerlendirilebilmesi için plazma TOK, TAK ve bu iki parametreden hesaplanan OSİ kullanılmıştır. Verilerimiz NHE'ye cevaben TOK, TAK ve OSİ seviyelerinde herhangi bir istatistiksel olarak önemli değişime işaret etmemektedir. Benzer şekilde, 19-21 yaş arasında aktif sağlıklı erkeklerde 1 set 7 tekrarlı akut NHE'yi takiben TOK, TAK ve OSİ seviyelerinde istatistiksel olarak bir fark olmadığı gösterilmiştir (Ünver vd 2018). Stagos vd (2015) yaş ortalamaları 24 olan 19 genç bireyde tek bir seans izokinetik eksantrik egzersizden 24, 48, ve 72 saat sonra oksidatif stres ve TAK'ın değişmediğini bildirmişlerdir (Stagos vd 2015). Çalışmamız kapsamında kullanılan akut egzersiz modeli düşük şiddette olup, alıştırmaya protokolü de uygulanmıştır. Bu faktörler TOK, TAK ve OSİ'de akut dönemde istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmemesini etkilemiş olabilir.

Literatürde NHE'ye cevaben geç dönemde oksidan/antioksidan parametrelerdeki değişimi inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kılıç-Toprak ve arkadaşları (2012) genç sağlıklı erkek bireylerde kronik 12 haftalık ilerleyici dirençli egzersize cevaben TOK seviyelerinde istatistiksel olarak bir fark olmadığını göstermişlerdir (Kılıç-Toprak vd 2012). Tong ve arkadaşları (2012) 36 adolesan erkek bireyin katıldığı çalışmada koşu grubu=12, bisiklet grubu=12, eğitim almayan =12; olmak üzere 3 grupta oksidan ve antioksidan kapasiteleri değerlendirmişlerdir. Sporcu bireylerin oksidatif stres ve antioksidan kapasite seviyelerinin eğitimsiz bireylere göre daha yüksek olduğunu ve bunun nedeninin spor, beslenme alışkanlıkları, sporcuların aldıkları besin takviyeleri gibi yaşam tarzı alışkanlıkları olabileceğini bildirmişlerdir. (Tong vd 2012). Diyetin özellikle TAK'ı etkilediği ileri sürülmektedir (Spanidis vd 2017). Çalışmamız kapsamında uzun dönemde TOK, TAK, OSİ değerlerinde değişiklik saptanmamış olması egzersize adaptasyon sürecine bağlı olabilir.

Oksidatif stresin harekete uyum kapsamındaki değişimini net olarak ortaya koyabilmek için biz egzersize ek olarak detraining sürecinde de oksidatif stresi inceledik. Bradic ve arkadaşları (2018) sıçanlara günde 60 dakika, haftada 5 gün, 8 hafta boyunca yüzme egzersizi ve takiben 2, 4 haftalık detraining süreçleri

uygulamışlar; 2 ve 4 haftalık egzersizi bırakma ile O<sub>2</sub><sup>-</sup> ve tiyobarbütirik asit gibi oksidatif stres belirteçlerinde artış ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Ek olarak 2 haftalık detraining süresi sonunda O<sub>2</sub><sup>-</sup> radikalının 4 haftalık detraining süresi sonundaki serbest radikal seviyesine göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Yine TAK seviyelerinin egzersizi bırakma ile yüksek seviyede kaldığı bildirilmiştir (Bradic vd 2018). Mevcut tez kapsamında yukarıdaki verilerle uyumlu olarak 5 haftalık egzersizi bırakma sürecinin TOK ve OSİ değerlerinde istatistiksel olarak önemli seviyede artışa; 10 haftalık detrainingin ise TOK ve OSİ’de azalmaya (bazale dönüş) sebep olduğu gösterilmiştir. Bradic ve arkadaşlarının çalışmalarındaki egzersizi bırakma süreleri bizimkine göre oldukça kısa olduğundan ilgili çalışmada geç detrainingin etkilerinin gözlenemediği ileri sürülebilir.

Düzenli egzersiz eğitimlerinin eritrosit şekil değiştirme yeteneği (deformabilite), eritrosit agregasyonu tam kan ve PV’yi içeren hemoreolojik parametrelerde iyileşme sağladığı bilinmekte (Ernst 1987) ve kan reolojisini iyileştirmek için düzenli egzersizler yapılmasının önemi vurgulanmaktadır (Bateman vd 2001, Brun vd 2012). Genel olarak, egzersizin akut etkisi sedanterlerde kan akışkanlığında azalma (hemokonsantrasyon) şeklindedir (Neuhaus ve Gaehtgens 1994, Brun vd 1998, Yalcin vd 2000). Bu durumun plazmanın sıvı içeriğinin azalması yoluyla PV’nin artması ile sonuçlanması beklenebilir. Brun ve arkadaşlarının (2013) bildirdiğine göre, sağlıklı bireylerde dirençli egzersizler yaşam tarzının bir parçası olmadığından fizyolojik etkilerinin büyük ölçüde egzersizin yoğunluğu ve tipine göre yorumlanması gerekmektedir (Brun vd 2013). Bizim çalışmamızın verileri 5. haftada yapılan egzersizin PV’yi değiştirmedini gösterirken; 1. ve 10. haftada ES PV’de azalma tespit edilmiştir. Varlet-Marie (2011) egzersiz yoğunluğunun PV ile pozitif korele olduğunu bildirmiştir (Varlet-Marie vd 2011). Ek olarak, kan akışkanlığının aerobik kapasiteyle de pozitif korele olduğu ileri sürülmüştür (Brun 1998). Bizim deneklerimiz tam olarak sedanter değil, sedanter aktif bireylerden oluşmaktadır. 1. haftada deneklere yaptırılan egzersizin şiddeti de oldukça düşük düzeyde olup, öncesinde alıştırma süreci uygulanmıştır. 1. haftada egzersizi takiben gözlenen PV değişikliği bu faktörlere bağlı gözlenmiş olabilir. En yüksek egzersiz şiddetine 5. haftada ulaşılmış olup; orada egzersiz yoğunluğundaki artış ile kısmen de olsa hemokonsantrasyona bağlı ES PV’de istatistiksel olarak önemli düzeye ulaşmayan bir yükselme gözlenmiştir. Literatürde uzun süreli egzersiz eğitimiyle ise, plazma volümünün arttığı (otohemodilüsyon) bilinir (Ernst vd 1991). Çalışmamız kapsamında 10. hafta EÖ ölçülen PV’nin bazale (1. hafta EÖ) göre düşük olması ve 10. haftada egzersizi takiben daha da düşmesi egzersize uyumun göstergesi olabilir ve literatür bilgileriyle uyumludur.

Ortalama olarak plazma hacmi egzersizi bırakma ile 2 gün içinde % 5 ila 12 oranında düşebilir (Martin vd 1986, Coyle vd 1986). Dayanıklılık eğitimi almış sporcularda kısa süreli egzersizi bırakmanın toplam kan hacmi ve plazma hacmini azalttığı gösterilmiştir (Houmart vd 1992). Bu durumun PV'de artışa sebep olması beklenir. Egzersizi 5 hafta boyunca bırakmak PV'de 10. hafta ES grubuna göre artışa sebep olurken; detraining süresinin uzaması PV'de daha fazla artış oluşturmuştur. Bu durum kan akışkanlığının azalmasına yol açabileceğinden hemoreolojik açıdan istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Literatürde NHE'yi takiben detraining döneminde PV değişimlerini inceleyen ilk çalışma olan tez verilerimiz, 5 ve 10 hafta boyunca egzersizin bırakılmasının NHE'ye yanıt olarak PV'de gözlenen olumlu değişimlerin kaybına neden olduğunu göstermektedir.

Hamstring kasında eksantrik diz fleksör kas kuvvetini artırmayı, hamstring/quadriceps kas kuvvet oranı dengesizliğini ortadan kaldırmayı amaçlayan NHE (Bahr vd 2015), çalışmamız kapsamında genç erkek, sedanter aktif bireylere uygulanmış ve etkileri incelenmiştir. NHE'nin çeşitli fizyolojik parametreler üzerindeki etkilerinin daha net ortaya konması için kadınlar, çeşitli spor dallarından ve farklı antrenman düzeyinden sporculara da uygulanması gereklidir. Bu konuda ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

## 6. SONUÇLAR

Sağlıklı, gönüllü, sedanter aktif bireylerde 10 haftalık ilerleyici NHE eğitimi ve takiben uygulanan 5 ve 10 haftalık egzersizi bırakma (detraining) süreçlerinin etkileri aşağıda özetlenmiştir.

- 1) NHE, Deneklerin kilo vermesini sağlamış; ancak uyluk çevreleri artmıştır. Egzersizin 5 hafta boyunca bırakılması ile verilen kilolar geri alınmıştır.
- 2) 5 haftalık detraining TSM, VKİ, VYY, kol, bacak, gövde YVK'da artışa; sağ uyluk çevresinde azalmaya neden olmuştur.
- 3) NHE diz açılarında artışa neden olmuş; bu artış detrainingle geri dönmemiştir.
- 4) 10 haftalık NHE deneklerin anaerobik performanslarında artışa sebep olmuştur. Egzersizin bırakılmasıyla bu kazanım kısmen gerilemiştir.
- 5) NHE BFub alanı ve PA'da 10 haftalık detrainingle geri dönen artış oluşturmuştur.
- 6) Egzersizin bırakılmasıyla BFub kas sertliği bazal değerlerinin de altına düşmüştür.
- 7) Akut egzersiz kan laktat düzeyinde artışa, kas ağrısı ve yorgunluğa sebep olmuştur. Uzun süreli, ilerleyici NHE'de bireylerin yorgun hissetmesine neden olmuştur.
- 8) NHE oksidan/antioksidan parametrelerde değişiklik oluşturmazken; 5 haftalık detraining TOK ve OSI'de artışa neden olmuştur. Egzersizin 10 hafta boyunca bırakılması ise bu parametrelerin yeniden azalmasına neden olmuştur.
- 9) Akut egzersiz 1. ve 10. haftada PV'de artışa sebep olmuştur. 10. haftada EÖ ölçülen PV bazale göre düşük bulunmuştur.
- 10) Egzersizin bırakılması PV'de artışa sebep olmuştur.

## 7. KAYNAKLAR

Abaïdia AE, Delecroix B, Leduc C, Lamblin J, McCall A, Baquet G, Dupont G. Effects of a strength training session after an exercise inducing muscle damage on recovery kinetics. **J Strength Cond Res** 2017; 31 (1): 115-125.

Abbott BC, Bigland B, Ritchie JM. The physiological cost of negative work. **J Physiol** 1952; 117 (3): 380–390.

Abrantes C, Sampaio J, Reis V, Sousa N, Duarte J. Physiological responses to treadmill and cycle exercise. **Int J Sports Med** 2012; 33: 26–32.

Abreu P, Mendes SVD, Leal-Cardoso JH, Ceccatto VM. Anaerobic threshold employed on exercise training prescription and performance assessment for laboratory rodents: A short review. **Life Sci** 2016 15;151:1-6.

Ahmadizad S, Moradi A, Nikookheslat S, Ebrahimi H, Rahbaran A, Connes P. Effects of age on hemorheological responses to acute endurance exercise. **Clin Hemorheol Microcirc** 2011; 49 (1-4): 165-74.

Ajmani RS, Fleg JL, Demehin AA, Wright JG, O'Connor F, Heim JM, Tarien E, Rifkind JM. Oxidative stress and hemorheological changes induced by acute treadmill exercise. **Clin Hemorheol Microcirc** 2003; 28 (1): 29-40.

Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury prevention Programs that Include the Nordic hamstring exercise on hamstring injury rates in soccer players: A systematic review and meta-analysis. **Sports Med** 2017; 47 (5): 907-916.

Alonso-Fernandez D, Docampo-Blanco P, Martinez-Fernandez J. Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise. **Scand J Med Sci Sports** 2018; 28 (1):88-94.

Aoi W, Naito Y, Yoshikawa T. Role of oxidative stress in impaired insulin signaling associated with exercise-induced muscle damage. **Free Radic Biol Med** 2013; 65: 1265-1272.

Ascensão A, Rebelo A, Oliveira E, Marques F, Pereira L, Magalhães J. Biochemical impact of a soccer match analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. **Clin Biochem** 2008; 41 (10-11): 841-51.

Aşkın A, Kalaycı ÖT, Bayram KB, Tosun A, Demirdal ÜS, Atar E, İnci MF. Strain sono elastographic evaluation of biceps muscle intrinsic stiffness after botulinum toxin-A injection. **Top Stroke Rehabil** 2017; 24 (1): 12-17.

Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. A hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason training with eccentric overload. **Scand J MedSci Sports** 2003; 13 (4): 244-50.

Askling CM, Heiderscheit BC. "Acute hamstring muscle injury: types, rehabilitation, and return to sports", Sports injuries: prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation, Eds. Doral M, Karlsson J, **Springer**, Berlin, 2015. s. 2137–2147.

Atkinson G, Nevill M. Statistical Methods For Assessing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. **Sports Med** 1998;26 (4): 217-238.

Aunola S, Rusko H. Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1984; 53 (3): 260-266.

Azizbeigi K, Stannard SR, Atashak S, Mosalman Haghighi M. Antioxidant enzymes and oxidative stress adaptation to exercise training: Comparison of endurance, resistance, and concurrent training in untrained males. **Journal of Exercise Science & Fitness** 2014; 12 (1): 1-6.

Bahr R, Thorborg K, Ekstrand J: Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey. **Br J Sports Med** 2015; 49 (22): 1466-71.

Balci SS, Pepe H. Effects of gender, endurance training and acute exhaustive exercise on oxidative stress in the heart and skeletal muscle of the rat. **Chin J Physiol** 2012 31; 55 (4): 236-44.

Bamman MM, Petrella JK, Kim JS, Mayhew DL, Cross JM, Cluster analysis tests the importance of myogenic gene expression during myofiber hypertrophy in humans. **J Appl Physiol** 2007;102: 2232–2239.

Barclay CJ. Energy demand and supply in human skeletal muscle. **J Muscle Res Cell Motil** 2017; 38 (2): 143-155.

Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, De Azevedo Franke R, Karamanidis K, Vaz MA. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis. **Muscle Nerve** 2013; 48 (4): 498-506.

Bassel-Duby R, Olson EN. Signaling pathways in skeletal muscle remodeling. **Annu Rev Biochem** 2006; 75: 19-37.

Bateman RM, Jagger JE, Sharpe MD, Ellsworth ML, Mehta S, Ellis CG. Erythrocyte deformability is a nitric oxide-mediated factor in decreased capillary density during sepsis. **Am J Physiol Heart Circ Physiol** 2001; 280 (6): H2848-56.

Baumert P, Lake MJ, Stewart CE, Drust B, Erskine RM. Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing. **Eur J Appl Physiol** 2016; 116 (9): 1595-625.

Beaton LJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Contraction- induced muscle damage in humans following calcium channel blocker administration. **J Physiol** 2002, 3 (544): 849 -859.

Beaton LJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Contraction-induced muscle damage in humans following calcium channel blocker administration. **J Physiol** 2002; 544 (Pt 3): 849–859.

Bijsterbosch MK, Duursma AM, Smit MJ, Bos OJ, Bouma JM, Gruber M. Several dehydrogenases and kinases compete for endocytosis from plasma by rat tissues. **Biochem J** 1985; 229 (2): 409–417.

Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training: Recommendations for long-distance running. **Sports Medicine** 1996; 22 (3): 157-175.

Bradic J, Dragojlovic Ruzicic R, Jeremic J, Petkovic A, Stojic I, Nikolic T, Zivkovic V, Srejovic I, Radovanovic D, Jakovljevic VL. Comparison of training and detraining on redox state of rats: gender specific differences. **Gen Physiol Biophys** 2018; 37 (3): 285-297.

Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. **Br J Sports Med** 2017; 51 (5): 469-477.

Bourne MN, Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Eccentric knee flexor strength and risk of hamstring injuries in rugby union: A prospective study. **Am J Sports Med** 2015; 43 (11): 2663–70.

Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. **Clin Chem Lab Med** 2010; 48 (6): 757-67.

Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, Limongelli FM. Serum enzyme monitoring in sports medicine. **Clin Sports Med** 2008; 27 (1): 1-18.

Brancaccio P; Maffulli N; Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **Br Med Bull** 2007; 81–82, 209–230.

Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. **Med Sci Sports Exerc** 1985; 17 (1): 22-34.

Brooks JH, Fuller CW, Kemp SP, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. **J Sports Med** 2006; 34 (8): 1297-1306.

Brun JF, Khaled S, Raynaud E, Bouix D, Micallef JP, Orsetti A. The triphasic effects of exercise on blood rheology: which relevance to physiology and pathophysiology? **Clin Hemorheol Microcirc** 1998; 19 (2):89-104.

Brun JF, Khaled S, Raynaud E, Bouix D, Micallef JP, Orsetti A. The triphasic effects of exercise on blood rheology: which relevance to physiology and pathophysiology? **Clin Hemorheol Microcirc** 1998; 19 (2): 89-104.

Brun JF, Varlet-Marie E, Connes P, Aloulou I. Hemorheological alteration related to training and overtraining. **Biorheology** 2010; 47 (2): 95-115.

Brun JF, Varlet-Marie E, Raynaud de Mauverger E, Mercier J. Minimal model-derived insulin sensitivity, insulin secretion and glucose tolerance: relationships with blood rheology. **Clin Hemorheol Microcirc** 2012; 51 (1): 21-7.



Brun JF, Varlet-Marie E, Romain AJ, Guiraudou M, Raynaud de Mauverger E. Exercise hemorheology: Moving from old simplistic paradigms to a more complex picture. *Clin Hemorheol Microcirc* 2013; 55 (1):15-27.

Brun JF. Exercise hemorheology as a three acts play with metabolic actors: is it of clinical relevance? *Clin Hemorheol Microcirc* 2002; 26 (3): 155-74.

Burkett LN. Causative factors in hamstring strains. *Med Sci Sports Exerc*. 1970; 2 (1): 39–42.

Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine* 2004; 34 (1): 49–69.

Cairns SP. Lactic acid and exercise performance: Culprit or friend? *Sports Med* 2006; 36 (4): 279–291.

Camera DM, Smiles WJ, Hawley JA. Exercise-induced skeletal muscle signaling pathways and human athletic performance. *Free Radic Biol Med* 2016; 98: 131-143.

Capaldo B, Gastaldelli A, Antoniello S, Auletta M, Pardo F, Ciociaro D, Guida R, Ferrannini E, Sacca` L. Splanchnic and leg substrate exchange after ingestion of a natural mixed meal in humans. *Diabetes* 1999; 48 (5): 958-966.

Chapman D, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med* 2006; 27 (8): 591–8.

Chatterjee S. Oxidative Stress, “Oxidative Stress, Inflammation, and Disease”, Oxidative stress and biomaterials, Eds. Dziubla T, Butterfield DA, **Joe Hayton**, Chennai, India, 2016, s.37-38.

Chen TC, Nosaka K, Lin MJ, Chen HL, Wu CJ. Changes in running economy at different intensities following downhill running. *J Sport Sci* 2009; 27 (11): 1137–44.

Chen TC, Nosaka K, Tu JH. Changes in running economy following downhill running. *J Sport Sci* 2007; 25 (1): 55–63.

Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, Skinner JS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (7): 1510-30.

Christen Y. Oxidative stress and alzheimer disease. *Am J Clin Nutr* 2000; 71 (2): 621S-629S.

Christiansen D. Molecular stressors underlying exercise training-induced improvements in K<sup>+</sup> regulation during exercise and Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup>-ATPase adaptation in human skeletal muscle. *Acta Physiol (Oxf)* .2019; 225 (3): e13196.

Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise- induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24 (5): 512–20.

Clarkson PM, Sayers SP. Etiology of exercise-induced muscle damage. **Can J Appl Physiol** 1999; 24 (3): 234-48.

Close GL, Ashton T, McArdle A, Maclaren DP. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. **Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol** 2005; 142 (3): 257-66.

Collins H, Booth JN, Duncan A, Fawcner S. The effect of resistance training interventions on fundamental movement skills in youth: a meta-analysis. **Sports Medicine** 2019; 5: 17.

Connes P, Bouix D, Durand F, Kippelen P, Mercier J, Prefaut C, Brun JF, Caillaud C. Is hemoglobin desaturation related to blood viscosity in athletes during exercise? **Int J Sports Med** 2004; 25 (8): 569-74.

Connes P, Pichon A, Hardy-Dessources MD, Waltz X, Lamarre Y, Simmonds MJ, Triplette J. Blood viscosity and hemodynamics during exercise. **Clin Hemorheol Microcirc** 2012; 51: 101–109.

Connes P, Simmonds MJ, Brun JF, Baskurt OK. Exercise hemorheology: classical data, recent findings and unresolved issues. **Clin Hemorheol Microcirc** 2013; 53 (1-2): 187-99.

Cooke, R. Modulation of the actomyosin interaction during fatigue of skeletal muscle. **Muscle Nerve** 2007; 36 (6): 756-77.

Coratella G, Schena F. Eccentric resistance training increases and retains maximal strength, muscle endurance, and hypertrophy in trained men. **Appl Physiol Nutr Metab** 2016; 41 (11): 1184-1189.

Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. **Med Sci Sports Exerc** 2007; 39 (2): 340-9.

Cormie P, Zopf EM, Zhang X, Schmitz KH. The Impact of exercise on cancer mortality, recurrence and treatment - related adverse effects. **Epidemiol Rev** 2017; 39 (1): 71-92.

Coyle EF, Hemmert MK, Coggan AR. Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: role of blood volume. **J Appl Physiol (1985)** 1986; 60 (1): 95-9.

Cuthbert M, Ripley N, McMahon JJ, Evans M, Haff GG, Comfort P. The effect of Nordic hamstring exercise intervention volume on eccentric strength and muscle architecture adaptations: A systematic review and meta-analyses. **Sport Med** 2019

Dalleck LC. "Bioenergetics of exercise and energy transfer", Exercise Physiology, (Eds). Porcari JP, Bryant CX, Comana F, **Arch Street**, Philadelphia, 2015, s 69-78.

Dan Dunn J, Alvarez LA, Zhang X, Soldati T. Reactive oxygen species and mitochondria: a nexus of cellular homeostasis. *Redox Biol* 2015; 6: 472–85.

de Sousa CV, Sales MM, Rosa TS, Lewis JE, de Andrade RV, Simões HG. The Antioxidant Effect of Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2017; 47 (2): 277-293.

de Sousa NM, Magosso RF, Pereira GB, Leite RD, Arakelian VM, Montagnolli AN, Perez SA, Baldissera V. The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. *Clin Physiol Funct Imaging* 2011; 31 (5): 376-81.

Delahunt E, McGroarty M, De Vito G, Ditroilo M. Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. *Eur J Appl Physiol* 2016; 116 (4): 663–672.

DiMeo S, Reed TT, Venditti P, Victor VM. Role of ROS and RNS sources in physiological and pathological conditions. *OxidMed Cell Longev* 2016; 2016: 1245049.

Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Serra-Paya N, Garnacho-Castaño MV. Lactate threshold as a measure of aerobic metabolism in resistance exercise. *Int J Sports Med* 2018; 39 (3): 163-172.

Dougla J, Pearson S, Angus Ross, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological characteristics and acute responses. *Sports Med* 2017; 47 (4): 663-675.

Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br J Radiol* 2012; 85: 1435-45.

Dröge W. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev* 2002; 82 (1): 47-95

Duchateau J, Baudry S. Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol (1985)* 2014 1; 116 (11): 1418-25.

Duhig SJ, Bourne MN, Buhmann RL, Williams MD, Minett GM, Roberts LA, Timmins RG, Sims CKE, Shield AJ. Effect of concentric and eccentric hamstring training on sprint recovery, strength and muscle architecture in inexperienced athletes. *J Sci Med Sport* 2019; 22 (7): 769-774.

Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Hamstring injuries have increased by 4 % annually in men's Professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med* 2016; 50 (12): 731– 737.

Elmer SJ, Martin JC. Joint-specific power loss after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42 (9): 1723–30.

Elmer SJ, McDaniel J, Martin JC. Alterations in neuromuscular function and perceptual responses following acute eccentric cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010; 110 (6): 1225–33.

Enns DL; Tiidus PM. The influence of estrogen on skeletal muscle: Sex matters. **Sports Med.** 2010, 40 (1): 41-58.

Erel O. A novel automated method to measure total antioxidant response against potent free radical reactions. **Clin. Biochem** 2004; 37: 112-119.

Erel O. Toplam oksidan durumunu ölçmek için otomatik kolorimetrik yöntem. **Clin Biochem** 2005; 38 (12): 1103-11.

Ernst E. Influence of regular physical activity on blood rheology. **Eur Heart J** 1987; 8 Suppl G:59-62.

Ertbjerg P, Puolanne E. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. **Meat Sci** 2017; 132: 139-152.

Fabbrini E, Serafini M, Colic Baric I, Hazen SL, Klein S. Effect of plasma uric acid on antioxidant capacity, oxidative stress, and insulin sensitivity in obese subjects. **Diabetes** 2014; 63 (3): 976-981.

Fahey TD, Insel PM, Roth WT, Insel CEA. Fit & Well core concept and labs in physical fitness and wellness, 12.baskı, **Mc Graw Hill**, New York, 2011, s. 95-170.

Farina A, Mikelić A, Saccomandi G, Sequeira A, Toro EF. Non-Newtonian Fluid Mechanics and Complex Flows, **Springer**, Italy 2016, s.1.

Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? **Sports Med** 2009; 39 (6): 469–490.

Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR, Alvarez-Alvarez L, de Paz JA. Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. **Eur J Appl Physiol** 2014; 114 (5): 1075-84.

Flann KL, LaStayo PC, McClain DA, Hazel M, Lindstedt SL. Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? **J Exp Biol** 2011; 214 (4): 674–679.

Fortin M, Videman T, Gibbons LE, Battie MC. Paraspinal muscle morphology and composition: a 15-yr longitudinal magnetic resonance imaging study. **Med Sci Sports Exerc** 2014; 46 (5): 893-901.

Freitas SR, Marmeleira J, Valamatos MJ, Blazeovich A, Mil-Homens P. Ultrasonographic measurement of the biceps femoris long-head muscle architecture. **J Ultrasound Med** 2018; 37 (4): 977-986.

Friden J, Lieber LR. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiologica Scandinavica**, 2001, 3 (171): 321–326.

Friederich JA, Brand RA. Muscle fiber architecture in the human lower limb. **J Biomech** 1990; 23 (1): 91-5.

Frontera WR, Ochala J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. **Calcif Tissue Int** 2015; 96 (3): 183-95.

Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. **Sports Med** 2004; 34 (10): 663–679.

Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP; American College of Sports Medicine. 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. **Med Sci Sports Exercise** 2011; 43 (7): 1334-59.

Garrett Jr WE, Califf JC, Bassett 3rd FH. Histochemical correlates of hamstring injuries. **Am J Sports Med** 1984; 12 (2): 98-103.

Gault ML, Willems ME. Aging, functional capacity and eccentric exercise training. **Aging Dis** 2013; 4(6): 351-63.

Gjevestad GO, Holven KB, Ulven SM. Effects of exercise on gene expression of inflammatory markers in human peripheral blood cells: a systematic review. **Curr Cardiovasc Risk Rep** 2015; 9 (7): 34.

Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. **J Physiol** 2004; 558 (Pt 1): 5-30.

Golden CL, Dudley GA. Strength after bouts of eccentric or concentric actions. **Med Sci Sports Exerc** 1992; 24 (8): 926–933.

Gomes EC, Silva AN, de Oliveira MR. Oxidants, antioxidants, and the beneficial roles of exercise-induced production of reactive species. **Oxid Med Cell Longev** 2012; 2012: 756132.

Gordon T, Pattullo MC. Plasticity of muscle fiber and motor unit types. **Exerc Sports Sci Rev** 1993 21: 331–362,

Goreham C, Green HJ, Ball-Burnett M, Ranney D. High-resistance training and muscle metabolism during prolonged exercise. **Am J Physiol** 1999; 276 (3): E489-96.

Green H, Goreham C, Ouyang J, Ball-Burnett M, Ranney D, Regulation of fiber size, oxidative potential, and capillarization in human muscle by resistance exercise. **Am J Physiol** 1999; 276(2): R591-6.

Guidetti L, Musulin A, Baldari C. Physiological factors in middleweight boxing performance. **J Sports Med Phys Fitness** 2002; 42 (3): 309-14.

Guilhem G, Cornu C, Guevel A. Neuromuscular and muscle tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. **Ann Phys Rehabil Med** 2010; 53 (5): 319–41.

Gutowski M, Kowalczyk S. A study of free radical chemistry: their role and pathophysiological significance. *Acta Biochim Pol* 2013; 60 (1): 1–16.

Hagglund M, Walde'n M, Ekstrand J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med* 2006; 40 (9): 767-72.

Hall MM, Rajasekaran S, Thomsen TW, Peterson AR. Lactate: Friend or Foe. *PMR* 2016; 8 (3 Suppl): S8-S15.

Halliwell B, Whiteman M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *Br J Pharmacol* 2004; 142 (2): 231–55.

Hargreaves M, Spriet LL. Exercise metabolism: Fuels for the fire. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2018; 8 (8).

Harriss DJ, Atkinson G. International journal of sports medicine – ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med* 2009; 30 (10): 701-2.

Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39 (8): 1423–34.

Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985; 6 (3): 117-30.

Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factor associated within creased propensity for hamstring injury in English Premier Leagues occerplayers. *J Sci Med Sport* 2010; 13 (4): 397-402.

Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL 3rd, Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol (1985)*, 1996; 81 (5): 2173-81.

Hikida RS. Aging changes in satellite cells and their functions. *Curr Aging Sci* 2011; 4 (3): 279-97.

Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol* 2019; 10: 536.

Hoppeler H, Lüthi P, Claassen H, Weibel ER, Howald H. The ultrastructure of the normal human skeletal muscle: a morphometric analysis of untrained men, women and well-trained orienteers. *Pflugers Arch* 1973; 28; 344 (3): 217-32.

Hoppeler H. Moderate load eccentric exercise; A distinct novel training modality. *Front Physiol* 2016 16; 7:483.

Hortobagyi T, Katch FI. Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. Influence of strength level. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990; 60 (5): 395-401.

Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, Grim C, Bloch W, Hüttel M, Heiss R. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden* 2018; 32 (4): 243-250.

- Hough T. Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol* 1902; 7: 76-92.
- Houmard JA, Hortobágyi T, Johns RA, Bruno NJ, Nute CC, Shinebarger MH, Welborn JW. Effect of short-term training cessation on performance measures in distance runners. *Int J Sports Med* 1992; 13 (8): 572-6.
- Howatson G, Van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 2008; 38 (6): 483–503.
- Hubal MJ. Mechanisms underlying exercise-induced muscle damage. Doktora Tezi, *University of Massachusetts Amherst*, Massachusetts 2006 s.10.
- Hudak ML, Koehler RC, Rosenberg AA, Traystman RJ, Jones MD Jr. Effect of hematocrit on cerebral blood flow. *Am J Physiol* 1986; 251 (1 Pt 2): H63-70.
- Hunter GR, Fisher G, Neumeier WH, Carter SJ, Plaisance EP. Exercise training and energy expenditure following Weight Loss. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47 (9): 1950-7.
- Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 2004; 34 (5): 329–348.
- Iga J, Fruer CS, Deighan M, Croix MD, James DV. Nordic hamstrings exercise-engagement characteristics and training responses. *Int J Sports Med* 2012; 33 (12):1000-1004.
- Ishøi L, Hölmich P, Aagaard P, Thorborg K, Bandholm T, Serner A. Effects of the Nordic Hamstring exercise on sprint capacity in male football players: a randomized controlled trial. *J Sports Sci* 2018; 36 (14): 1663-1672.
- Isner - Horobeti M, Dufour SP, Vautravers P, Geny B, Coudeyre E, Richard R. Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Med* 2013; 43 (6): 483-512.
- Brun JF, Monnier A. Charpiat and A. Orsetti, Longitudinal study of relationships between red cell aggregation at rest and lactate response to exercise after training in young gymnasts, *Clin Hemorheol* 1995; 15: 147–156.
- Jackson MJ, Khassaf M, Vasilaki A, McArdle F, McArdle A. Vitamin E and the oxidative stress of exercise. *Ann N Y Acad Sci* 2004; 1031: 158-68.
- Jadczak AD, Makwana N, Luscombe-Marsh N, Visvanathan R, Schultz TJ. Effectiveness of exercise interventions on physical function in community-dwelling frail older people: an umbrella review of systematic reviews. *JBI Database System Rev Implement Rep* 2018; 16(3): 752-775.
- Joo CH. The effects of short term detraining and retraining on physical fitness in elite soccer players. *PLoS One* 2018; 13 (5): e0196212.

Karasiak FC, Guglielmo LGA. Effects of Exercise– induced muscle damage in well-trained cyclist aerobic and anaerobic performances. *J Strength Cond Res* 2018; 32 (9): 2623-2631.

Kellis E, Galanis N, Kapetanios G, Natsis K. Architectural differences between the hamstring muscles. *J Electromyogr Kinesiol* 2012; 22 (4): 520-6.

Kellis E, Galanis N, Natsis K, Kapetanios G. Validity of architectural properties of the hamstring muscles: correlation of ultrasound findings with cadaveric dissection. *J Biomech* 2009; 42 (15): 2549-54.

Kellis E. Intra – and Inter – muscular variations in hamstring architecture and mechanics and their implications for Injury: A narrative review. *Spor Med* 2018;48 (10): 2271-2283.

Kemp GJ. “Muscle Energetics and Its Performance”, Muscle and Exercise Physiology, Eds. Zolads JA. *AcademicPress*, London, 2019, s. 95.

Kenney WL, Wilmore JH, Costil DL. “An introduction to exercise and sport physiology”, physiology of sport and exercise, *Human Kinetics*, Champaign, 2011, s. 2

Késmárky G, Kenyeres P, Rábai M, Tóth K. Plasma viscosity: a forgotten variable. *Clin Hemorheol Microcirc* 2008; 39 (14): 243-6.

Kilarski W. “Functional Morphology of the Striated Muscle”, Muscle and Exercise Physiology, Eds. Zoladz JA, *Academic Press*, London, 2018, s.137.

Kilic-Erkek O, Kilic-Toprak, E, Caliskan S, Ekbiç Y, Akbudak IH, Kucukatay V, Bor-Kucukatay, M. Detraining reverses exercise-induced improvement in blood pressure associated with decrements of oxidative stress in various tissues in spontaneously hypertensive rats. *Mol Cell Biochem*, 2016; 412 (1-2), 209-219.

Kilic-Toprak E, Ardic F, Erken E, Unver-Kocak F, Kucukatay V, Bor-Kucukatay M. Hemorheological responses to progressive resistance exercise training in healthy young males. *Med Sci Monit* 2012; 18 (6): CR351–CR360.

Kim Y, Wijndaele K, Lee DC, Sharp SJ, Wareham N, Brage S. Independent and joint associations of grip strength and adiposity with all-cause and cardiovascular disease mortality in 403,199 adults: the UK Biobank study. *Am J Clin Nutr* 2017; 106 (3): 773-782.

Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979; 42 (1): 25-34.

Kirkeberg JM, Dalleck LC, Kamphoff CS, Pettitt RW. Validity of 3 protocols for verifying VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Med* 2011;32 (4): 266-70.

Klausen K, Andersen LB, Pelle I. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol Scand* 1981; 113 (1): 9-16.



Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. **J Musculoskelet Neuronal Interact** 2014; 14 (1): 68-77.

Kosecik M, Erel O, Sevinc E, Selek, S. Increased oxidative stress in children exposed to passive smoking. **Int. J. Cardiol**, 2005; 100: 61-64.

Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes M. Factors in exercise prescription of resistance training. **Strength Cond J** 1988; 10: 36–41.

Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. **Sports Med** 2005; 35(4): 339-61.

Krentz JR, Farthing JP. Neural and morphological changes in response to a 20-day intense eccentric training protocol. **Eur J Appl Physiol** 2010; 110 (2): 333–340.

Krommes K, Petersen K, Nielsen MB, Aagaard P, Hölmich P, Thorborg K. Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: a randomised pilot study. **BMC Res Notes** 2017; 10: 669.

Lacour JR. Muscle activity and energy expenditure. **Rev Mal Respir** 2011; 28 (10): 1278-92.

LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. **J Orthop Sports Phys Ther** 2003; 33 (10):557-71.

Lemmer JT, Hurlbut DE, Martel GF, Tracy BL, Ivey FM, Metter EJ, Fozard JL, Fleg JL, Hurley BF. Age and gender responses to strength training and detraining. **Med Sci Sports Exerc** 2000; 32 (8): 1505-12.

Leonard TR, Herzog W. Regulation of muscle force in the absence of actin-myosin-based cross-bridge interaction. **Am J Physiol** 2010; 299 (1): C14-20.

Leschke M, Klimek W, Jung F. Rheologische Determinanten von Endorganschäden. **Internist** 2003; 44: 853–863.

Letieri RV, Teixeira AM, Furtado GE, Lamboglia CG, Rees JL, Gomes BB. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. **Exp Gerontol** 2018; 114: 78-86.

Lewis PB, Ruby D, Bush-Joseph CA. Muscle soreness and delayed-onset muscle soreness. **Clinics in sports medicine** 2012; 31 (2): 255-62.

Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. **Muscle Nerve** 2000; 23 (11): 1647-66.

Lieber RL, Friden J. Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction. **J Sci Med Sport** 1999; 2 (3): 253-65.

Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2011; 366 (1570): 1466–1476.

Lieber RL. Skeletal muscle architecture: implications for muscle function and surgical tendon transfer. *J Hand Ther* 1993; 6(2): 105-13.

Lima LCS, Denadai BS. Attenuation of eccentric exercise-induced muscle damage conferred by maximal isometric contractions: a mini review. *Front Physiol* 2015; 6: 300.

Lima FD, Stamm DN, Della-Pace ID, Dobrachinski F, de Carvalho NR, Royes LF, Soares FA, Rocha JB, González-Gallego J, Bresciani G. Swimming training induces liver mitochondrial adaptations to oxidative stress in rats submitted to repeated exhaustive swimming bouts. *PLoS One* 2013; 8 (2):e55668.

Lipowsky HH. “Blood rheology aspects of the microcirculation”, Handbook of hemorheology and hemodynamics, 69, Eds. Baskurt OK, Hardeman MR, Rampling MW, Meiselman HJ, *IOS Press*, Amsterdam, Netherlands, 2007, s. 307-321.

Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009; (3): CD002759.

Liu G, Mac Gabhann F, Popel AS Effects of fiber type and size on the heterogeneity of oxygen distribution in exercising skeletal muscle. *PLoS One* 2012; 7 (9): e44375.

Lobstein DD, Mosbacher BJ, Ismail AH. Depression as a powerful discriminator between physically active and sedentary middle-aged men. *J Psychosom Res* 1983; 27: 69-76.

Macaluso F, Isaacs AW, Myburgh KH. Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. *J Athl Train* 2012; 47 (4): 414-20.

Machado M, Pereira R, Willardson JM. Short intervals between sets and individuality of muscle damage response. *J Strength Cond Res* 2012; 26 (11): 2946-52.

Makihara Y, Nishino A, Fukubayashi T, Kanamori A. Decrease of knee flexion torque in patients with ACL reconstruction: combined analysis of the architecture and function of the knee flexor muscles. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14 (4): 310-7.

Margaritelis NV, Kyparos A, Paschalis V, Theodorou AA, Panayiotou G, Zafeiridis A, Dipla K, Nikolaidis MG, Vrabas IS. “Reductive stress after exercise: the issue of redox individuality”, *Redox Biology* 2014; 2: 520-528.

Maritim AC, Sanders RA, Watkins JB 3rd. Diabetes, oxidative stress, and antioxidants: a review. *J Biochem Mol Toxicol* 2003; 17 (1): 24-38.

Martin WH 3rd, Coyle EF, Bloomfield SA, Ehsani AA. Effects of physical deconditioning after intense endurance training on left ventricular dimensions and stroke volume. *J Am Coll Cardiol* 1986; 7 (5): 982-9.

Martinez Amat A, Marchal Corrales JA, Rodriguez Serrano F, Boulaiz H, Prados Salazar JC, Hita Contreras F, Caba Perez O, Carrillo Delgado E, Martin I, Aranega Jimenez A. Role of alpha-actin in muscle damage of injured athletes in comparison with traditional markers. *Br J Sports Med* 2007; 41 (7): 442–446.

McCall GE, Byrnes WC, Dickinson A, Pattany PM, Fleck SJ. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2004–2012.

McHugh MP, Tetro DT. Changes in the relationship between joint angle and torque production associated with the repeated bout effect. *J Sport Sci* 2003; 21 (11): 927–32.

McLeod JC, Stokes T, Phillips SM. Resistance exercise training as a primary countermeasure to Age-related chronic disease. *Front Physiol* 2019; 10: 645.

Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *Br J Sports Med* 2012; 46 (2): 81–5.

Mendiguchia J, Arcos AL, Garrues MA, Myer GD, Yanci J, Idoate F. The use of MRI to evaluate posterior thigh muscle activity and damage during nordic hamstring exercise. *J Strength Cond Res* 2013; 27 (12): 3426–35.

Messer DJ, Bourne MN, Williams MD, Al Najjar A, Shield AJ. Hamstring muscle use in women during hip extension and the Nordic hamstring exercise: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *J Orthop Sports Phys Ther* 2018; 48 (8): 607–612.

Messonnier L, Kristensen M, Juel C, Denis C. Importance of pH regulation and lactate/H<sup>+</sup> transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol* 2007; 102 (5): 1936–1944.

Miliadis GA, Nomikos T, Fragopoulou E, Athanasopoulos S, Antonopoulou S. Effects of eccentric exercise-induced muscle injury on blood levels of platelet activating factor (PAF) and other inflammatory markers. *Eur J Appl Physiol* 2005; 95 (5–6): 504–513.

Mitchell WK, Taivassalo T, Narici MV, Franchi MV. Eccentric Exercise and the Critically Ill Patient. *Front Physiol* 2017; 8: 120.

Mjølsnes R, Arnason A, Østhagen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2004; 14 (5): 311–317.

Moggetti P, Bacchi E, Brangani C, Donà S, Negri C. Metabolic Effects of Exercise. *Front Horm Res* 2016; 47: 44–57.

Moldogazieva NT, Mokhosoev IM, Feldman NB, Lutsenko SV. ROS and RNS signaling: adaptive redox switches through oxidative/nitrosative protein modifications. *Free Radic Res* 2018; 52 (5): 507-543.

Montezano AC, Touyz RM. Reactive oxygen species, vascular NOXs, and hypertension: focus on translational and clinical research. *Antioxid Redox Signal* 2014; 20 (1): 164–82.

Morin JB, Gimenez P, Edouard P, Arnal P, Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Mendiguchia J. Sprint acceleration mechanics: the major role of hamstrings in horizontal force production. *Front Physiol* 2015; 24: 6:404.

Morishita S, Tsubaki A, Nakamura M, Nashimoto S, Fu JB, Onishi H. Rating of perceived exertion on resistance training in elderly subjects. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2019; 17 (2): 135-142.

Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Med* 2000; 30 (2): 79-87.

Murase S, Terazawa E, Queme F, Ota H, Matsuda T, Hirate K, Kozaki Y, Katanosaka K, Taguchi T, Urai H, Mizumura K. Bradykinin and nerve growth factor play pivotal roles in muscular mechanical hyperalgesia after exercise (delayed-onset muscle soreness). *J Neurosci* 2010; 30 (10): 3752-61.

Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, Minamitani K. Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82 (5-6): 361-7.

Narouei S, Imai A, Akuzawa H, Hasebe K, Kaneoka K. Hip and trunk muscles activity during nordic hamstring exercise. *J Exerc Rehabil* 2018;14 (2):231-238.

Neuhaus D, Gaehtgens P. Haemorheology and long term exercise. *Sports Med* 1994; 18 (1): 10-21.

Newton MJ, Morgan GT, Sacco P, Chapman DW, Nosaka K. Comparison of responses to strenuous eccentric exercise of the elbow flexors between resistance-trained and untrained men. *J Strength Cond Res* 2008; 22 (2): 597–607.

Nickenig G, Harrison DG. The AT(1)-type angiotensin receptor in oxidative stress and atherogenesis: part I: oxidative stress and atherogenesis. *Circulation* 2002; 105: 393–6.

Nigro G, Comi LI, Limongelli FM, Giugliano MA, Politano L, Petretta V, Passamano L, Stefanelli S. Prospective study of X-linked progressive muscular dystrophy in Campania. *Muscle Nerve* 1983; 6 (4): 253-262.

Norrbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, Tesch PA. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 2008; 102 (3): 271–281.

Opar DA, Drezner J, Shield A, Williams M, Webner D, Sennett B, Kapur R, Cohen M, Ulager J, Cafengiu A, Cronholm PF. Acute hamstring strain injury in track-and-field athletes: a 3-year observational study at the Penn Relay Carnival. **Scand J MedSci Sports** 2014; 24: e 254–259.

Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. **Sports Med** 2012; 42 (3): 209-26.

Orchard J, James T, Kountouris A, PortusM. Changes to injury profile and (recommended cricket injury definitions) based on the increased frequency of Twenty 20 cricket matches. **Open Access J Sports Med** 2010; 1: 63–76.

Otman AS, Köse N. “Antropometrik Ölçümler” Tedavi hareketlerinde temel değerlendirme prensipleri, 4.baskı, **Yücel Matbaacılık**, Ankara, 2008, s.50.

Overend TJ, Versteegh TH, Thompson E, Birmingham TB, Vandervoort AA. Cardiovascular stress associated with concentric and eccentric isokinetic exercise in young and older adults. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci** 2000; 55 (4): B177-82.

Paschalis V, Giakas G, Baltzopoulos V, Jamurtas AZ, Theoharis V, Kotzamanidis C, Koutedakis Y. The effects on muscle damage following eccentric exercise on gait biomechanics. **Gait Posture** 2007; 25 (2): 236–42.

Patel H, Alkhawam H, Madanieh R, Shah N, Kosmas CE, Vittorio JT. Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. **World J Cardiol** 2017; 9 (2): 134–138.

Paulsen G, Mikkelsen UR, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? **Exerc Immunol Rev** 2012; 18: 42-97.

Peake J, Nosaka K, Suzuk K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. **Exercise Immunology Review** 2005; 11: 64-85.

Pepe H, Balci SS, Revan S, Akalin PP, Kurtoğlu F. Comparison of oxidative stress and antioxidant capacity before and after running exercises in both sexes. **Gend Med** 2009; 6 (4): 587-95.

Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jorgensen E, Holmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men’s soccer: a cluster-randomized controlled trial. **The Am J Sports Med** 2011; 39 (11): 2296-303.

Petrella JK, Kim JS, Mayhew DL, Cross JM, Bamman MM. Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. **J Appl Physiol** 2008; 104 (6): 1736-42.

Pfeiffer FE, Homburger HA, Yanagihara T. Creatine kinase BB isoenzyme in CSF in neurologic diseases. measurement by radioimmunoassay. **Arch Neurol** 1983; 40 (3): 169-72.

Plowman SA, Smith DL. Exercise physiology for health, fitness, and performance, Eds. Lupash E, **Wolters Kluwer**, Philadelphia, 2014, s.5-54.

Plowman SA, Smith DL. Exercise physiology for health, fitness, and performance, Eds. Lupash E, **Wolters Kluwer**, Philadelphia, 2014, s 519-553

Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. **Eur J Appl Physiol** 2009; 105 (6): 939–44.

Powers SK, Howley ET. Exercise physiology: theory and application to fitness and performance, **McGraw-Hill Education**, New York, 2015, s .483.

Powers SK, Howley ET. Exercise physiology: theory and application to fitness and performance, **McGraw-Hill Education**, New York, 2015, s .338.

Praticò D, Iuliano L, Mauriello A, Spagnoli L, Lawson JA, Rokach J, Maclouf J, Viola F, FitzGerald GA. Localization of distinct F2-isoprostanes in human atherosclerotic lesions. **J Clin Invest** 1997; 100 (8): 2028-34.

Presland JD, Timmins RG, Bourne MN, Williams MD, Opar DA. The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. **Scand J Med Sci Sports** 2018; 28 (7): 1775-1783.

Proske U, Allen TJ. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. **Med Sci Sports Exerc** 2005; 33 (2): 98–104.

Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of Physiology** 2001; 537 (2): 333-345.

Qaisar R, Bhaskaran S, Van Remmen H. Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. **Free Radic Biol Med** 2016; 98: 56-67.

Rawson ES, Clarkson PM, Tarnopolsky MA. Perspectives on Exertional Rhabdomyolysis. **Sports Med** 2017; 47(Suppl 1): 33-49.

Ribeiro-Alvares JB, Marques V B, Vaz MA, Baroni BM. Four weeks of Nordic hamstring exercise reduce muscle injury risk factors in young adults. **J Strength Cond Res** 2018; 32 (5): 1254-1262.

Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. American College of Sports Medicine's guidelines for exercise testing and prescription, **Wolters Kluwer**, Philadelphia, 2018, s.53-54.

Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. American College of Sports Medicine's guidelines for exercise testing and prescription, **Wolters Kluwer**, Philadelphia, 2018, s.229-240.

Rodio A, Fattorini L. Downhill walking to improve lower limb strength in healthy young adults. **Eur J Sport Sci** 2014; 14 (8): 806-12.

Rogers K. The human body Blood: physiology and circulation, **Britannica Educational Publishing**, New York, 2011, s.23.

Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid DW. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analyses. **Br J Sports Med** 2008; 43: 556–568.

Romain AJ, Brun JF, Varlet-Marie E, Raynaud de Mauverger E. Effects of exercise training on blood rheology: a meta-analysis. **Clin Hemorheol Microcirc** 2011;49 (1-4): 199-205.

Romero FJ, Bosch-Morell F, Romero MJ, Jareño EJ, Romero B, Marín N, Romá J. Lipid peroxidation products and antioxidants in human disease. **Environ Health Perspect** 1998; 106 Suppl 5:1229-34.

Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. **Am J Physiol** 1993; 265 (3 Pt 1): E380-91.

Rosenthal M, Haskell WL, Solomon R, Widstrom A, Reaven GM. Demonstration of a relationship between level of physical training and insulin-stimulated glucose utilization in normal humans. **Diabetes**, 1983; 32: 408-411.

Rutt MD. The effect of different modes of recovery exercise on the rates of removal of blood lactate following high intensity exercise. Yüksek Lisans Tezi, **Indiana University**, Pennsylvania, 2014, s.9-10.

Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, Brown NA, Pandy MG. Mechanics of the human hamstring muscle during sprinting. **Med Sci Sports Exerc** 2012; 44: 647-58.

Scharf HP, Eckhardt R, Maurus M, Puhl W. Metabolic and hemodynamic changes during isokinetic muscle training. A controlled clinical trial. **Int J Sports Med** 1994; 15 Suppl 1: S56-9.

Schlattner U, Tokarska-Schlattner M, Wallimann T. Mitochondrial creatine kinase in human health and disease. **Biochim Biophys Acta** 2006; 1762 (2): 164-80.

Schwartz RS, Shuman WP, Larson V, Cain KC, Fellingham GW, Beard JC, Kahn SE, Stratton JR, Cerqueira MD, Abrass IB. The effect of intensive endurance exercise training on body fat distribution in young and older men. **Metabolism** 1991; 40: 545-551.

Schwingshackl L, Missbach B, Dias S, König J, Hoffmann G. Impact of different training modalities on glycaemic control and blood lipids in patients with type 2 diabetes: a systematic review and network meta-analysis. **Diabetologia** 2014; 57 (9): 1789-97.

Sconce E, Jones P, Tuner E, Comfort P, Graham - Smith P. The validity of the Nordic hamstring lower for a field-based assessment of eccentric hamstring strength. *J Sport Rehabil* 2015; 24: 13-20.

Seagrave III RA, Perez L, McQueeney S, Toby EB, Key V, Nelson JD. Preventive effects of eccentric training on acute hamstring muscle injury in Professional baseball. *Orthop J Spor Med* 2014; 2 (6): 2325967114535351.

Sen CK. Antioxidants in exercise nutrition. *Sports Med* 2001; 31 (13): 891-908.

Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol* 2017; 117 (5): 943-953.

Shankar PR, Alanlar SK, Collins CL, Dick RW, Comstock RD. Epidemiology of high school and collegiate football injuries in the United States, 2005-2006. *J Sports Med* 2007;35 (8): 1295-1303.

Shiroma EJ, Cook NR, Manson JE, Moorthy MV, Buring JE, Rimm EB, Lee IM. Strength training and the risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease. *Med Sci Sports Exerc* 2017;49 (1): 40-46.

Siahkoughian M, Hedayatneja M. Correlations of anthropometric and body composition variables with the performance of young elite weight lifters. *J Hum Kinet* 2010; 25: 125-31.

Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biol* 2015; 4: 180-3.

Silva JR, Rumpf MC, Hertzog M, Castagna C, Farooq A, Girard O, Hader K. Acute and residual soccer match-related fatigue: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2018; 48 (3): 539-583.

Silva LA,Pinho CA,Silveira PC,Tuon T,De Souza CT,Dal-Pizzol F,Pinho RA. Vitamin E supplementation decreases muscular and oxidative damage but not inflammatory response induced by eccentric contraction. *J PhysiolSci* 2010; 60 (1): 51-7.

Slater GJ, Dieter BD, Marsh JD, Helms ER, Shaw G, Iraki J. Is an energy surplus required to maximize skeletal muscle hypertrophy associated with resistance Training. *Front Nutr* 2019; 6: 131.

Smith RA, Martin GJ, Szivak Comstock BA, Dunn-Lewis C, Hooper DR, Flangan SD, Looney DP, Volek JS, Maresh CM, Kraemer WJ. The effects of resistance training prioritization in NCAA division I football summer training. *J Strength Cond Res* 2014; 28 (1): 14-22.

Spanidis Y, Stagos D, Orfanou M, Goutzourelas N, Bar-Or D, Spandidos D, Kouretas D. Variations in Oxidative stress levels in 3 days Follow - up in ultramarathon mountain race Athletes. *J Strength Cond Res* 2017; 31 (3): 582-594.



Spanidis Y, Veskokouk AS, Papanikolaou C, Stagos D, Priftis A, Deli CK, Jamurtas AZ, Kouretas D. Exercise-Induced reductive stress is a protective mechanism against oxidative stress in peripheral blood mononuclear cells. ***Oxid Med Cell Longev*** 2018; 2018: 3053704.

Spirduso WW. Physical fitness, aging, and psychomotor speed: a review. ***J Gerontol*** 1980; 35: 850-865.

Stagos D, Goutzourelas N, Ntontou AM, Kafantaris I, Deli CK, Poullos A, Jamurtas AZ, Bar-Or D, Kouretas D. Assessment of eccentric exercise-induced oxidative stress using oxidation-reduction potential markers. ***Oxid Med Cell Longev*** 2015; 2015: 204615.

Stamatakis E, Lee IM, Bennie J, Freeston J, Hamer M, O'Donovan G, Ding D, Bauman A, Mavros Y. Does strength-promoting exercise confer unique health benefits? A pooled analysis of data on 11 population cohorts with all-cause, cancer and cardiovascular mortality endpoints. ***Am J Epidemiol*** 2018; 187 (5): 1102-1112.

Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. ***Int J Sports Med*** 1981; 2 (3): 160-5.

Stoner JD, Clanton TL, Aune SE, Angelos MG. O<sub>2</sub> delivery and redox state are determinants of compartment-specific reactive O<sub>2</sub> species in myocardial reperfusion. ***American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*** 2007; 292 (1): H109-116.

Sun S, Li H, Chen J, Qian Q. Lactic Acid: No Longer an Inert and End-Product of Glycolysis. ***Physiology (Bethesda)*** 2017; 32 (6): 453-463.

Takekura H, Fujinami N, Nishizawa T, Ogasawara H, Kasuga N. Eccentric exercise-induced morphological changes in the membrane systems involved in excitation contraction coupling in rat skeletal muscle. ***J Physiol*** 2001; 533 (Pt 2): 571-83.

Talbot J, Maves L. Skeletal muscle fibertype: using insights from muscle developmental biology to dissect targets for susceptibility and resistance to muscle disease. ***Wiley Interdiscip Rev Dev Biol*** 2016; 5 (4): 518-34.

Tamer K. Sporda Fiziksel-Fizyolojik Performansın Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi, ***Bağırgan Yayinevi***, Ankara, 2000, s.138-143.

Tanasescu M, Leitzmann MF, Rimm EB, Willett WC, Stampfer MJ, Hu FB. Exercise type and intensity in relation to coronary heart disease in men. ***JAMA*** 2002; 288 (16): 1994-2000.

Tang JE, Hartman JW, Phillips SM. Increased muscle oxidative potential following resistance training induced fibre hypertrophy in young men. ***Appl Physiol Nutr Metab*** 2006; 31 (5): 495-501.

Tanskanen M; Atalay M; Uusitalo A. Altered oxidative stress in overtrained athletes. **J Sports Sci** 2010; 28 (3): 309-17.

Tee JC, Bosch AN, Lambert MI. Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. **Sports Med** 2007; 37 (10): 827–36.

Theofilidis G, Bogdanis GC, Koutedakis Y, Karatzaferi C. Monitoring exercise-induced Muscle fatigue and adaptations: making sense of popular or Emerging Indices and **Biomarkers. Sports (Basel)** 2018; 26 (4): 6.

Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS; American College of Sports Medicine. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, ninth edition. *Curr Sports Med Rep* 2013; 12 (4): 215-7.

Thorborg K. Why hamstring eccentric sare hamstring essentials. **Br J Sports Med** 2012; 46 (7): 463-5.

Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, Opar DA. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. **Med Sci Sports Exerc** 2016; 48 (3): 499-508.

Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps femoris long head architecture: a reliability and retrospective injury study. **Med Sci Sports Exerc** 2015; 47 (5): 905-13.

Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Architectural adaptation of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. **Br J Sports Med** 2016; 50 (23): 1467-1472.

Trachootham D, Lu W, Ogasawara MA, Nilsa RD, Huang P. Redox regulation of cell survival. **Antioxid Redox Signal** 2008;10 (8):1343-74.

Tripette J, Hardy-Dessources MD, Beltan E, Sanouiller A, Bangou J, Chalabi T, Chout R, Hedreville M, Broquere C, Nebor D, Dotzis G, Hue O, Connes P. Endurance running trial in tropical environment: a blood rheological study. **Clin Hemorheol Microcirc** 2011; 47 (4): 261-8.

Tripette J, Loko G, Samb A, Gogh BD, Sewade E, Seck D, Hue O, Romana M, Diop S, Diaw M, Brudey K, Bogui P, Cissé F, Hardy-Dessources MD, Connes P. Effects of hydration and dehydration on blood rheology in sickle cell trait carriers during exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol** 2010; 299 (3): H908-14.

Tong TK, Lin H, Lippi G, Nie J, Tian Y. Serum oxidant and antioxidant status in adolescents undergoing professional endurance sports training. **Oxid Med Cell Longev** 2012; 2012: 741239.

Tu J, Inthavong K, WongLong KK. “Fundamentals of Hemodynamics”, Hemodynamics-Theory, Modelling and Applications Computational, Eds. Greenbaum E. **Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering**, Tennessee, 2015, s.67-69.

Twist C, Eston RG. The effect of exercise-induced muscle damage on perceived exertion and cycling endurance performance. *Eur J Appl Physiol* 2009; 105 (4): 559-67.

Umbel JD, Hoffman RL, Dearth DJ, Chleboun GS, Manini TM, Clark BC. Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107 (6): 687-95.

Unver F, Kilic-Toprak E, Kilic-Erkek O, Korkmaz H, Yasin O, Oymak B, Oskay A, Bor-Kucukatay M. Hemorheological alterations following an acute bout of nordichamstring exercise in active male participants. *Clin Hemorheol Microcirc* 2019; 71 (4): 463-473.

Valle X, Tol JL, Hamilton B, Rodas G, Malliaras P, Malliaropoulos N, Rizo V, Moreno M, Jordi J. Hamstring muscle injuries, a rehabilitation protocol purpose. *Asian J Sports Med* 2015; 6 (4): e25411.

van der Horst N, Priesterbach A, Backx F, Smits DW. Hamstring-and-lower-back flexibility in male amateur soccer players. *Clin J Sport Med* 2017; 27 (1): 20-25.

van der Horst N, Smits DW, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJ. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2015; 43 (6): 1316-23.

van der Made AD, Wieldraaijer T, Kerkhoffs GM, Kleipool RP, Engebretsen L, van Dijk CN, Golanó P. The hamstring muscle complex. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015; 23 (7): 2115-22.

Van Roie E, Walker S, Van Driessche S, Baggen R, Coudyzer W, Bautmans I, Delecluse C. Training load does not affect detraining's effect on muscle volume, muscle strength and functional capacity among older adults. *Exp Gerontol* 2017; 98:30-37.

Varlet-Marie E, Brun JF, Fédou C, Raynaud de Mauverger E. Blood rheology and body composition as determinants of exercise performance in male soccer players. *Clin Hemorheol Microcirc* 2011; 49 (1-4):225-30.

Vincent HK, George SZ, Seay AN, Vincent KR, Hurley RW. Resistance exercise, disability and pain catastrophizing in obese adults with back pain. *Med Sci Sports Exerc* 2014; 46 (9): 1693-701.

Vincent HK, Innes KE, Vincent KR. Oxidative stress and potential interventions to reduce oxidative stress in overweight and obesity. *Diabetes Obes Metab* 2007; 9 (6): 813-39.

Wagner BA, Venkataraman S, Buetner GR. The rate of oxygen utilization by cells. *Free Radic Biol Med* 2011; 51 (3): 700-712.

Wahid A, Manek N, Nichols M, Kelly P, Foster C, Webster P, Kaur A, Friedemann Smith C, Wilkins E, Rayner M, Roberts N, Scarborough P. Quantifying the association between physical activity and cardiovascular disease and diabetes: A systematic review and meta analysis. *J Am Heart Assoc* 2016; 14: 5 (9). pii: e002495.

Waldron M, Worsfold P, Twist C, Lamb K. Changes in anthropometry and performance, and their interrelationships, across three seasons in elite youth rugby league players. *J Strength Cond Res* 2014; 28 (11): 3128-36.

Wang Emhoff C. Regulation of Glycemia and Energy Substrate Partitioning in Exercising Humans. Doktora Tezi, *University of California*, Berkeley, 2013, s.32.

Ward SR, Eng CM, Smallwood LH, Lieber RL. Are current measurements of lower extremity muscle architecture accurate? *Clin Orthop Relat Res* 2009; 467 (4): 1074-82.

Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973; 35 (2): 236-43.

Waugh CM, Korff T, Fath F, Blazeovich AJ. Rapid force production in children and adults: mechanical and neural contributions. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45 (4): 762-71.

Westerblad H, Allen DG, Lännergren J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci* 2002; 17: 17-21.

Westerblad H, Bruton JD, Katz A. Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Exp Cell Res* 2010; 316 (18): 3093-9.

Widmaier EP, Raff H, Strang KT. Vander's human physiology: the mechanisms of body function, **McGraw-Hill Education**, New York, 2019, s. 178-259.

Williams PT. High-density lipoprotein cholesterol and other risk factors for coronary heart disease in female runners. *N Engl J Med* 1996; 334: 1298-1303.

Woodley SJ, Mercer SR. Hamstring muscles: architecture and innervation. *Cells Tissues Organs* 2005; 179 (3): 125-41.

Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson the football association medical research programme: an audit of injuries in Professional football - analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med* 2004; 38 (1): 36-41.

Wu JD, Lin DW, Page ST, Lundgren AD, True LD, Plymate SR. Oxidative DNA damage in the prostate may predispose men to a higher risk of prostate cancer. *Transl Oncol* 2009; 2 (1): 39-45.

Yalcin O, Bor-Kucukatay M, Senturk UK, Baskurt OK. Effects of swimming exercise on red blood cell rheology in trained and untrained rats. *J Appl Physiol (1985)* 2000; 88 (6): 2074-80.

Yarrow JF, Borsa PA, Borst SE, Sitren HS, Stevens BR, White LJ. Early-phase neuroendocrine responses and strength adaptations following eccentric - enhanced resistance training. **J Strength Cond Res** 2008; 22 (4):1205-14.

Yang Z, Scott CA, Mao C, Tang J, Farmer AJ. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med** 2014; 44 (4): 487-99.

Yeung SS, Suen AM, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. **Br J Sports Med** 2009; 43 (8): 589-94.

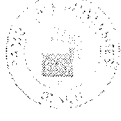
Ylä-Herttuala S, Palinski W, Rosenfeld ME, Parthasarathy S, Carew TE, Butler S, Witztum JL, Steinberg D. Evidence for the presence of oxidatively modified low density lipoprotein in atherosclerotic lesions of rabbit and man. **J Clin Invest** 1989; 84 (4): 1086–1095.

Yokota T; Kinugawa S; Yamato M; Hirabayashi K; Suga T; Takada S; Harada K; Morita N; Oyama-Manabe N; Kikuchi Y; Okita K, Tsutsui K. Systemic oxidative stress is associated with lower aerobic capacity and impaired skeletal muscle energy metabolism in patients with metabolic syndrome. **Diabetes Care** 2013; 36 (5): 1341–1346.

Zalba G, San José G, Moreno MU, Fortuño MA, Fortuño A, Beaumont FJ, Díez J. Oxidative stress in arterial hypertension: role of NAD(P) H oxidase. **Hypertension** 2001;38 (6):1395-9.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

02.04.1991 tarihinde Antalya'da dünyaya gelen Hatice Çağla ÖZDAMAR ilk öğrenimini Antalya'da, orta öğrenimini Burdur'da ve lise öğrenimini ise Burdur-Göhlisar Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2014 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nü bitirmiş; 2014-2017 arasında Aydın'ın Nazilli ilçesinde bir özel eğitim ve rehabilitasyon kurumunda çalışmıştır. 2017 yılının Eylül ayında Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Evli olan Hatice Çağla ÖZDAMAR 2017 yılının Kasım ayından itibaren Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.



T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik  
Kurulu



Sayı : 00116787-020/53191  
Konu : Başvurunuz hk.

08/08/2018


Sayın Prof. Dr. Zekiye Melek KÜÇÜKATAY

İlgi : 01.08.2018 tarihli dilekçeniz.

İlgi dilekçe ile başvurmuş olduğunuz "Genç, sağlıklı erkeklerde 10 haftalık Nordic Hamstring egzersiz eğitimi ve onu izleyen egzersizi bırakma (detraining) süreçlerinin plazma viskozitesi ve oksidatif stres seviyeleri üzerine etkilerinin incelenmesi" konulu çalışmamız 07.08.2018 tarihi ve 16 sayılı kurul toplantımızda görüşülmüş olup,

Yapılan görüşmelerden sonra, söz konusu çalışmanın yapılmasında **ETİK AÇIDAN SAKINCA OLMADIĞINA**, altı ayda bir çalışma hakkında Kurulumuza bilgi verilmesine oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

  
Prof. Dr. Tahir TURAN  
Başkan