Performans sporu ile uğraşan sporcu ve antrenörlerin, hazırlık süreci içersinde karşılaştıkları en önemli sorunlarından bir tanesi de form durumu artmış olan sporcuda ulaşılan fizik kondisyon seviyesinin uzun süre sabit tutulamamasından kaynaklanır. Maç sırasında gerçekleştirilen hareket örüntüsünü esas alarak yapılan antrenmanların kas hasarına yol açarak performans düşüşüne neden olabileceği ve dolayısıyla uzun süreli yorgunluğa yol olabileceği düşünülmektedir. Antrenmanlı sporcularda, antrenman şeklini değiştirmeden kapsamın arttırıldığı sınırsal yüklenmeler kas hasarı ve performans kaybına yol açarak uzun süreli yorgunluk oluşturabilir, kas hasarının boyutları performanstaki toparlanmayı doğrudan etkiler ve buna bağlı olarak da yorgunluk süresini uzatabilir.



2010 yılında Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor ABD'da doktora programını bitirdikten sonra, 2014 yılına kadar Erciyes Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulunda Yardımcı doçent olarak görev yaptı. 2014 yılından beri Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulunda Yardımcı doçent olarak göreve devam etmekte.

978-613-5-91007-0

Uzun Süreli Yorgunluk ve Kas Hasarı

Korkmaz Eryılmaz



Selcen Korkmaz Eryılmaz

Sporcularda Uzun Süreli Yorgunluğun Kas Hasarıyla İlişkisi

LAP LAMBERT Academic Publishing

Selcen Korkmaz Eryılmaz

Sporcularda Uzun Süreli Yorgunluğun Kas Hasarıyla İlişkisi

Selcen Korkmaz Eryılmaz

Sporcularda Uzun Süreli Yorgunluğun Kas Hasarıyla İlişkisi

LAP LAMBERT Academic Publishing

Imprint
Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:
LAP LAMBERT Academic Publishing
is a trademark of
International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page
ISBN: 978-613-5-91007-0

Zugl. / Onaylayan:: Adana, Çukurova Üniversitesi, 2010

Copyright © Selcen Korkmaz Eryılmaz
Copyright © 2018 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
All rights reserved. Beau Bassin 2018

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

*SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ……...1
1. GİRİŞ…….....3
2. GENEL BİLGİLER…….5
2.1. Sportif Form…….....5
2.1.1. Antrenmanın Unsurları …….....6
2.1.2. Yüklenme Dinlenme Arasındaki İlişki…….....9
2.1.3. Performans Gelişimi İçin Artan Yüklenme İlkesi……...10
2.1.4. Sürantrenman (Overtraining)…….....11
2.2. İskelet Kası ve Egzersiz……..…...12
2.2.1. İskelet Kasının Yapısı…….12
2.2.2. İskelet Kasının Uyarılma ve Kasılma Eşleşmesi…….....14
2.2.3. Kas Kasılmasının Refleks Kontrolü…….....15
2.2.4. İskelet Kasının Performansı.....……..…15
2.2.4.1. Kasılma Kuvveti ve Gücü…….15
2.2.4.2. Kasılma Hızı……...……....18
2.2.4.3. İskelet Kasının Elastik Kuvveti…….....18
2.2.4.4. İskelet Kasının Dayanıklılığı…….....18
2.2.5. Egzersizde İskelet Kasının Kullandığı Metabolik Yolaklar…….....19
2.2.6. Enerji Sistemleri ve Dinlenme Yöntemleri…….....20
2.2.7. Enerji Sistemleri ve Yüklenme Yöntemleri…….....23
2.3. Egzersiz ve Yorgunluk…….....26
2.3.1. Santral Yorgunluk…….....27
2.3.2. Periferik Yorgunluk……..27
2.4. Kas Hasarının Yorgunluk Etkisi……..…28
2.4.1. Egzersiz Sonucu Oluşan Kas Hasarının Mekanizması…….....29
2.4.2. Kas Hasarının Kas Gerimine Etkisi…….....30
2.4.3. Kas Hasarının Elastik Kuvvetine Etkisi……...33

2.4.4. Kas Hasarının Değerlendirilmesi…….....34
2.4.4.1. İskelet Kas Biyopsisi ve Manyetik Rezonans Görüntüleme Tekniği (MRI)…….....34
2.4.4.2. Kandaki Kas Enzim ve Proteinlerin Değerlendirilmesi…….....34
2.4.4.3. Kas Kuvveti, Esnekliği ve Sürat Kaybı…….....35
2.4.5. Gecikmiş Kas Ağrısı……..…….37
2.5. Egzersiz ve Stres…….……..37
2.5.1. Kortizol……..…....39
2.5.2 Egzersizin Kortizol Salınımına Etkisi……...40
2.6. Egzersiz ve İnflamasyon…….....…42
2.6.1. İnflamatuvar Sitokinler…….....……42
2.6.2. Akut Faz Yanıtı……...….43
2.6.3. Egzersiz ve Sitokinler…….…….....43
2.6.4. Sürantrenman Sendromu ve Sitokin İlişkisi…….....45
2.7. Kas Hasarı Sonrası Egzersize Uyum……...……47
2.7.1. Nöral Uyum……..….....47
2.7.2. Mekanik Uyum……...……..48
2.7.3. Hücresel Uyum…….……....49
2.7.3.1. Hücresel Uyumdan Sorumlu Hormon ve Sitokinler……..…....…..49
2.7.3.2. İnsülin Benzeri Büyüme Faktörleri (IGF)…….50
3. GEREÇ VE YÖNTEM…….....51
3.1. Deney Protokolü…..……..…….……51
3.2. Ölçülen değişkenler……...……....52
3.2.1. Maksimum Oksijen Alımı (VO_{2max} ml/dak)…….…….....52
3.2.2. Kas Kuvveti Ölçümü ……...…….……53
3.2.3. Esneklik Ölçümü……..…...53
3.2.4. 30m Sürat Ölçümü……....…..54
3.2.5. Kan Değişkenlerinin Ölçüm…….…...55

3.3. Antrenman Programı……...…….55
3.3.1. Antrenmanın Şiddet ve Kapsamının Haftalara Göre Dağılımı……..….59
3.4. Sporcuların genel performans değerlendirmeleri…….……..60
3.5. Kan örneklerinin alınma zamanı…..……..60
3.6. İstatistiksel Analiz…….……..…62
4. BULGULAR ……..…….…..63
4.1. Demografik Özellikler...…….....63
4.2. Yüklenme Antrenmanlarının Şiddeti……..……..…..63
4.2.1. Maksimal Sprintlerin Ortalama Zamanlarının Karşılaştırılması…….....63
4.2.2. Maksimal Sprint Zamanlarının Birbirleri ile Karşılaştırılması……....65
4.3. Sınırsal Yüklenme Antrenmanının Kapsamı……..……67
4.3. Maksimal 30 m. Sürat Ölçümleri……..…..67
4.3. İzometrik Kas Kuvveti Ölçümleri…….…….72
4.4. Esneklik Ölçümleri…….....74
4.5. Kan Değerleri…….....78
4.5.1. Kas Hasarı ile İlgili Enzimler (CK, LDH)…….....76
4.5.2. Kortizol ve IGF-1 Hormonu Sonuçları…….....80
4.5.3. İnflamasyon ile İlgili Bulgular (CRP)……..……....83
4.5.4. TNF-α ve IL-6 Sitokin Sonuçları……..……...84
5.TARTIŞMA..…….84
5.1. Uzun Süreli Performans Kaybında Antrenmanların Etkisi……...….86
5.2. Uzun Süreli Yorgunluğun Nedeni…….....89
5.3. Egzersizin Kortüzol ve IGF-1 Hormonlarına Etkisi……..….98
5.4. Egzersizin CRP, TNF-α ve IL-6 Üzerine Etkisi…….100
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER…...……....103
7. KAYNAKLAR…...……..105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Haftalık antrenman günlerinin şematik gösterimi. Uygulanılan antrenman programında deneklere haftanın 1., 2. ve 4. günleri antrenman yaptırılmış ve geri kalan süre içerisinde dinlendirilmiştir……....52

Sekil 2. Altı hafta haftanın üç günü yapılan antrenmanların ilk setinde (10×30m.), koşu zamanları ve kalp atımları ortalamalarıyla antrenman şiddetini gösteren grafik.…….....58

Sekil 3. Beş haftalık antrenman programında haftanın ilk günü yapılan yüklenme antrenmanlarında ve altıncı hafta sınırsal yüklenme antrenmanının ilk setinde, 10 sprintin tek tek ortalama zamanlarını gösteren grafik..……..58

Şekil 4. Altı hafta haftada üç gün yapılan antrenmanlarda 10×30m sprint zamanlarının ortalamaları **a**; 5 haftanın ilk antrenmanında yapılan tek setin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanının ilk setinin, **b**; haftanın ikinci antrenmanında yapılan tek setin, **c**; haftanın üçüncü antrenmanında yapılan iki setin (2×10) sprint zamanları ortalamalarının gösterimi…….....59

Şekil 5. Kan örneklerinin haftalık antrenmanlarda alınma zamanları…….…..……...61

Şekil 6. 2, 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında tek set yapılan10 sprintin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setin, 1. ve 2. maksimal sprint zamanlarının ortalamaları……...64

Şekil 7. 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında tek set yapılan10 sprintin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setin, 1,2,3 ve 4. maksimal sprint zamanlarının ortalamaları.....65

Şekil 8. 2, 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setinde, maksimal yapılan ilk beş sprintin tek tek ortalama zamanları……...…….……....66

Şekil 9. 6 haftalık antrenman programında haftalara göre maksimal 30 m. sprint zamanlarının değişimi……..……...……...69

Şekil 10. Sınırsal yüklenme antrenmanı öncesinde, ertesi gün, 3, 5, 7 ve 9 gün sonra maksimal 30m koşu zamanları……..……..71
Şekil 11. Altı haftalık antrenman programında, haftalara göre izometrik kuvvet değişimi……...73
Şekil 12. Altıncı hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi, sonrası ve 1, 3, 5, 7, 9 gün sonrasında izometrik kuvvet değerleri…….....74
Şekil 13. Altı haftalık antrenman programında esneklik ölçümleri…….……...76
Şekil 14. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrasında esneklik ölçümleri……..77
Şekil 15. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve antrenman sonrası, ertesi gün, üç gün sonra (6. hafta) serum CK değerleri…….....79
Şekil 16. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve antrenman sonrası, ertesi gün, üç gün sonra (6. hafta) serum LDH değerleri…….…80
Şekil 17. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrası serum kortüzol değerleri……..…82
Şekil 18. İlk antrenman ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrası serum IGF-1 değerleri……...…….……83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Çalışmaya katılan sporcuların demografik özellikleri…….….60

Çizelge 2. Kişilere göre 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında yapılan setlerin (10×30m) koşu zamanları (saniye) ortalamaları…..68

Çizelge 3. Haftalara göre maksimal 30m sprint zamanları……...….70

Çizelge 4. 1., 5. ve 6. haftada izometrik kas kuvveti ölçüm değerleri……...72

Çizelge 5. 1., 5. ve 6. haftada esneklik ölçüm değerleri…….....75

Çizelge 6. 1., 5. ve 6. haftada plazma CK ve LDH ölçüm değerleri……..78

Çizelge 7. 1., 5. ve 6. haftada serum kortüzol ve IGF-1 ölçüm değerleri……..81

Çizelge 8. 1., 5. ve 6. haftada plazma CRP ölçüm değerleri…….....83

Çizelge 9. 1., 5. ve 6. haftada plazma IL-6 ve TNF-α ölçüm değerleri…….....84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Fosfokreatindir: PCr

Kreatin kinaz: CK

Laktik asit: LA

Maksimal oksijen tüketimi: VO_{2max}

Hidrojen iyonu: H^+

İnorganik fosfat: P_i

Adenozin difosfat: ADP

Laktat dehidrogenaz: LDH

Adrenokortikotrofik hormon: ACTH

Kortikotropin salgılatıcı hormon: CRH

Antidiüretik hormon: ADH

İnterlökin-1α/β: IL-1α/β

Tümör nekrozis faktörα/β: TNF-α/β

İnterlökin 6: IL-6

İnterferon- α/β: IFN- α/β

İnterlökin 8: IL-8

Akut faz proteinleri: APP

C-Reaktif protein: CRP

Serum amiloid A protein: SAA

α1-asit glikoprotein: APG

Sürantrenman sendromu: OTS

Leukemia inhibitör faktör: LIF

Hepatosit (Hepotocyte) growth faktör: HGF

Fibroblast growth faktör: FGF

İnsülin benzeri büyüme faktör: IGF-1

Sürantrenman (Overtraining): OT

1. GİRİŞ

Performans sporu ile uğraşan sporcu ve antrenörlerin, hazırlık süreci içersinde karşılaştıkları en önemli sorunlarından bir tanesi de form durumu artmış olan sporcuda ulaşılan fizik kondisyon seviyesinin uzun süre sabit tutulamamasından kaynaklanır[1,2,3,4]. Antrenman ya da karşılaşma sırasında yapılan yüklemelerin yaratacağı katabolik etkinin göz önüne alınmaması, ulaşılan form seviyesinin korunmasında bir takım zorluklara neden olabilir[5,6,7]. Sporcularda performans kaybının ortaya çıkma eğilimi çoğu kez sportif formun zirvesine karşılık gelen antrenman döneminin sonuna rastlar[1,2,8]. Yeterli önlemlerin alınmadığı durumlarda, olası performans kaybının giderilmesi aylarla ifade edilebilecek bir zamanı gerektirir ve bu durum klasik spor bilimleri literatüründe sürantrene (overtrainig) terimiyle ifade edilir[3,6,7,9,10,11]. Pek çok antrenman programında antrenmanların şiddetti, tekrar sayısı ve sıklığı yarışma dönemi yaklaştıkça arttırılır. Ancak bireyin antrenmana uyum gösterebilme yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle, antrenman programının ağırlaştırılması her koşulda istenilen kazanımı sağlamayabilir[1,3,8]. Nitekim her yükleme akut dönemde doğası gereği sporcularda yorgunluğa neden olurken, yeterli dinlenme ile organizma yeniden toparlanır ve sonrasında da bireyin fizik kapasitesi yükleme öncesi sürece oranla belirli miktarda artış gösterir[1,4,12]. Buna karşın ağır antrenmanlar sonrasında verilen dinlenme süresinin toparlanma için yetersiz kalması durumunda, fizik kapasite beklenilenin aksine yorgunluk süresinin uzamasına bağlı olarak geriler[1,4,8,13,14].

Literatürde yorgunluk klasik olarak iskelet kasının kuvvet veya güç üretebilme kapasitesinin azalması şeklinde tanımlanır[5,8,15,16,17]. Yapılan çalışmalarda yorgunluğa neden olabilecek çok sayıda etkenin varlığını göstermiştir. Bu etkenlerden bir tanesinin de yüklemeler sonrası iskelet kasında meydana gelen harabiyet olduğu belirtilmektedir. İskelet kasının özel kasılma tiplerinden birisi olan egzentrik kontraksiyonların, hücresel düzeyde iskelet kasında belirgin hasara yol açması nedeniyle önemli bir yeri vardır. Egzentrik kontraksiyonların baskın olarak

gerçekleştirildiği fiziksel aktivitelerden sonra oluşan kas hasarında toparlanma, hasarın derecesine de bağlı olmak üzere birkaç gün ya da hafta sürebilir. Belirtilen zaman aralığında oluşan uzun süreli yorgunluk iskelet kaslarının kuvvet, esneklik ve süratindeki azalmayla kendini belli eder[14,18,19,20,21,22]. Tekrarlayan egzentrik kontraksiyonlarla kas hücresinin yapısını oluşturan aktin, miyozin, desmin ve titin gibi proteinlerin deformasyonu ile beraber sarkomerlerin organizasyonunun bozulması, eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesini olumsuz yönde etkilemektedir[19,20,23,24,25,26]. Ayrıca enerji döngüsünde gereksinim duyulan substratların ve ortaya çıkan metabolitlerin hücre zarında taşınmasından sorumlu proteinlerin de bu süreçten olumsuz etkilendiği gösterilmiştir (Laktat-H^+ taşıyıcı proteinler, pH düzenlenmesi, Glut-4 protein)[20,27,28,29,30,31]. Öte yandan kas hasarının görece daha az oluştuğu konsantrik kasılmaların baskın olarak gerçekleştirildiği fiziksel aktiviteler sonrasında oluşan yorgunlukta toparlama birkaç saat içersinde gerçekleşebilir[19,20,23,24,25,32].

Koşma, yürüme ve sıçrama gibi hareketler sırasında harekete katılan vücut bileşenleri kuvvet üretirken, bu esnada kaslar döngüsel olarak egzentrik ve konsantrik olarak kasılmak zorunda kalırlar. Hareketlerin yüksek hızda tekrarlanarak yapılması, egzentrik kasılmalarla gerginliğe maruz kalan kasın hasara uğrama olasılığını arttırır[33,34,35]. Pek çok spor branşında fiziksel aktiviteye bağlı olarak oluşan yorgunluğun en önemli nedenlerinden bir tanesi de, maç esnasında maksimal şiddette yapılan sprint, sıçrama, yön değiştirme gibi hareketlerle tekrarlanan egzentrik kasılmaların oluşturduğu kas hasarlarıdır[31,36,37,38].

Maç sırasında gerçekleştirilen hareket örüntüsünü esas alarak yapılan antrenmanların kas hasarına yol açarak performans düşüşüne neden olabileceği ve dolayısıyla uzun süreli yorgunluğa yol olabileceği düşünülmektedir. Sunulan çalışmada, antrenman şeklini (yöntemini) değiştirmeden kapsamını (tekrar sayısını) arttırarak uzun süreli yorgunluk oluşturulmuş sporcularda, uzun süreli yorgunluğun yaratmış olduğu etkiyi performans ölçümleriyle değerlendirmek ve antrenmanlar sonucu oluşabilecek kas hasarını tespit ederek uzun süreli yorgunlukla olası ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sportif Form

Günümüzde sporcular yüksek performans gerektiren spor branşlarında arzulanılan başarıyı kazanabilmek için psikolojik ve fiziksel kapasitelerini en üst düzeyde zorlamaktadır. Belirlenen hedefe ulaşılabilmesi, mutlak bir özveriyle mümkün olabilmektedir[1,2]. Bireylerin başarı olasılığı fiziksel form kapasiteleri ile doğrudan ilişkili olup, yarışma öncesi dönemde form seviyelerinin yapılan yoğun antrenmanlarla o birey için olası en üst seviyeye taşınması arzulanmaktadır[2,12,39]. Nitekim hazırlık döneminde yapılan çalışmaların bütünü sporcunun belirli bir yarışma sırasında ulaşabilecekleri en yüksek verim düzeyinin belirleyicisi olacak ve anlık form durumunu doğrudan yansıtacaktır[1,40].

Yapılan antrenmanlarda yarışma döneminde sporcunun başarılı olabilmesi için; üstün sportif form düzeyine ulaşabilmesini sağlamak yanında, yorgunluğu ve hastalanma riskini en aza indirebilmek hedeflenir[40]. Ancak ardışık yüklemelerin herhangi bir değerlendirme gözetilmeksizin gerçekleştirilmesi sporcularda form durumunu artırmayabileceği gibi, arzulanılanın tam tersine aşırı yorgunluktan başka bir anlam da taşımayabilmektedir. Nitekim bu türlü yüklemelerin yapıldığı sporcularda uzun dönem içersinde gelişebilecek tablo sürantrene olarak da tanımlanmaktadır[5,6,7,9,10,11,40,41] Öte yandan sporculara uzun süre antrenman yaptıran ve bu anlamda sorumluluğu üstlenen kişilerden form gelişimiyle ilgili sürecin ayrımını yapmış olmaları beklenilir. Ulaşılan form seviyelerini korumanın ayrı bir değerlendirme konusu olduğu akılda tutulmalı ve form düzeyinin uzun süre sabit kalamayacağı, zaman içinde ulaşılan seviyenin altına inebileceğinin de bilinmesi gerekir[1,4,40]. Yapılan çalışmalar üst düzey performans kapasitesini yakalamış olan bir sporcunun bu seviyeyi yaklaşık ortalama 10 gün süre ile koruyabileceğini göstermektedir[1,3,4]. Antrenman programının hazırlanmasında yıllık hedef müsabakaların belirlenmiş olması ve yapılan yüklemelerde bu programın esas

alınması, programlamada makro ve mikro siklus gibi kavramların tartışılmasına neden olmuştur[1,4] Sporcuların belirlenen antrenman yüklemelerine vereceği yanıtın irdelenmesi hazırlanacak olan programın gerçekliliği anlamında önem taşır. Sürecin belirlenmesinde sporcuya özel yükleme ve bu yüklemeye uyum gibi kavramların tartışılması gerekir. Unutulmaması gereken bir diğer konu da sporcuların katıldıkları müsabakaların da en az antrenman kadar vücutta katabolik bir reaksiyon dizisini tetiklediğidir. Dolayısıyla antrenman programlarının hazırlanmasında sadece antrenmanları değil yarışmaların da göz önüne alınması ayrıca önem taşır[1,4,42,43,44].

Sportif form kapasitesini değerlendirilmesinde beceri, koordinasyon, yüksek kuvvet, çabukluk, dayanıklılık, çeviklik, ergonomi, toparlanma süresi yanında bireyin psikolojik özelliklere gibi çok sayıda değişken etken olmaktadır. Performans kapasitesini bütün bu unsurların bir arada belirliyor olması, yapılan çalışmalarda çoklu değişkenli denkliklerin çözülmesini de zorunlu kılmaktadır. Bilimsel açılımları olan antrenman programlarının nesnelliğini tartışmak ancak ve ancak bütün bu değişkenlerin bir arada değerlendirilmesi durumunda mümkün olabilir[1,4,13,44].

2.1.1. Antrenmanın Unsurları

Antrenman, organizmada fonksiyonel ve/veya morfolojik değişimler sağlayan ve bireyin sportif veriminin yükseltilmesi amacıyla belirli zaman aralıkları ile uygulanan yüklenmelerin bütünüdür[1,3]. Canlı organizma, homeostatik koşullarını bozacak her türlü uyarana, kendisini korumasını sağlayacak kontrol mekanizmalarını kullanarak yanıt vermek üzere programlanmıştır. Antrenman gibi belirli bir düzen ve kurallar silsilesi içersinde yapılan, kendisini düzenli aralıklarla tekrarlayan uyaran grubunun yaratacağı fizyolojik etki bu çerçevede düşünülmelidir. Nitekim antrenmanlara verilen yanıttan (adaptasyon) yapılan yüklemelerin vücutta yarattığı olası denge bozukluğunu en aza indirecek uyum sürecinin başlatılması beklenilir. Bu fizyolojik sürecin açılımını vücudun gelişmesi olarak da ifade etmek mümkündür. Antrenman programlarının kalitesi ise uyaran ile yanıt arasındaki uyumu sağlamak şeklinde açıklanabilir. Doğru uyaran örüntüsünün yaratacağı sonuç performansın gelişmesidir. Bu amaç çerçevesinde antrenörler, antrenmanın bileşenleri olan kapsam, şiddet ve sıklık ile ilgili değişiklikleri

sporcunun fizyolojik kapasitesine göre değiştirerek performansı artırmaya çalışırlar[1,3,15,44,45,46].

Antrenman yöntemleri açısından irdelendiğinde klasik sınıflandırmada yüklemeler dış ve iç yüklenmeler başlığı altında iki gurupta incelenir. Antrenmanın kapsamı ve şiddeti yapılan yüklemenin dış bileşenini oluşturur. Dış yüklenmeler sporcuda bir seri fiziksel ve psikolojik tepkiyi ortaya çıkarır. Organizmada yüklemeye yanıt olarak meydana gelen fiziksel ve psikolojik tepki ise içsel yüklenme olarak adlandırılır[1]. Bireyin vücudunda meydana gelen tepkimelerin bütünü belirli oranda denge koşullarının bozulmasına neden olarak performans kapasitesinde azalmaya neden olur. Yüklemeler sonrası performans kaybı ile sonuçlanan fizyolojik süreç sonucunda sportif performansı da olumsuz yönde etkileyen yorgunluğa neden olur. Antrenmanın uygun biçimde düzenlenebilmesi için, antrenmanın şiddeti, kapsamı, yüklenmeler arası dinlenme süresi ve antrenmanın sıklığı arasında ilişkilerin doğru biçimde kurgulanması gerekir[1,3,15,44,46,47,48].

Antrenmanın şiddetini fiziksel aktivitenin düzeyi, süresi ve uygulama sıklığı belirler. Şiddet birim zamanda gerçekleştirilen motor sinir deşarjı ile doğrudan ilintili olup, motor uyaranların niteliği yüke, hıza ve tekrarlar arası dinlenme süresine bağlı olarak değişir[1,3,4,15,48]. Antrenmanın şiddetinin nesnel değerlendirmesi göreceli ve mutlak koşullar referans alınarak yapmak mümkündür. Göreceli şiddet kavramıyla anlatılmak istenilen, sporcunun bir antrenman yüklenmesinde hissettiği zorlanma düzeyini kendi değer yargılarıyla değerlendirmesi esasına dayanır. Bu çerçevede antrenmanın şiddeti sporcunun maksimal koşu hızı, sıçrama mesafesi veya kaldırabildiği ağırlığın yüzdesine göre ayarlanır. Buna karşın mutlak şiddette ise yüklemeler antrenmanın niteliğine bağlı olarak değişir. Antrenmanlarda kullanılan ağırlık, hız, sıçrama yüksekliği, kat edilen mesafe gibi değişkenlerin değerlendirildiği antrenman modaliteleri, antrenmanın mutlak şiddetini belirlemede kullanılan referans değişkenlerinden bazılarıdır[1,3]. Spor dalına özgü temel beklentiler yaptırılacak antrenmanın şiddeti üzerinde belirleyici olur. Performansının maksimal eforla belirlendiği spor dallarından halter, atma, atlama, sprint gibi sporlarda yaptırılan antrenmanların şiddeti, yarışmalar sırasında karşılaşılan

yüklemenin gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla yüksek tutulur. Sportif performansın daha çok beceri ile belirlendiği artistik patinaj, senkronize yüzme, ritmik cimnastik gibi sporlarda ise antrenmanların şiddeti azaltılırken, teknik kazanımların artırılmasına yönelik hareket örüntüleri çalışmalarda ön plan çıkmaya başlar. Buna karşın pek çok takım sporunda oyunun temposu sürekli değişkenlik gösterdiği için, antrenman yüksek ve düşük şiddette yüklemeler şeklinde biçimlendirilir[1].

Antrenmanın kapsamını ise antrenmanın bir evresi ya da birimi boyunca yapılan işin toplamı oluşturur. Öte yandan antrenmanın süresi ile fiziksel etkinliğin gerçekleştirildiği zaman birimi ifade edilir. Hareketin bileşenleri olan kat edilen mesafe, ağırlık kaldırma ve tekrar sayısı gibi değişkenler bu bileşenin unsurları olarak kabul edilir[1,3,15,48]. Antrenman programlarının başlangıç aşamasında bireylerden istenilen temel özellik, belirli bir iş yükünü gerçekleştirebilecek yeteneği kazandırmaktır. Bu amaçla öncelikli olarak antrenmanın kapsamı artırılarak sporcunun belirli bir işi yapabilir hale gelmesi sağlanır. İlerleyen aşamada ise antrenman şiddeti değiştirilerek sporcuların birim zamanda daha verimli iş yapabilmelerini sağlamak ve bu anlamdaki yeteneklerin geliştirmek amaçlanır[1,4,47,48]. Antrenmanın kapsam ve şiddeti, spor dalına özgü genel karakteristikler ve sportif performans beklentileriyle uyumlu olacak şekilde ayarlanır. Genel özellik olarak sporcular yüksek şiddetli, düşük kapsamlı yüklenmeleri ancak kısa süreler için tolere edilebilir. Bu tür antrenmanlar performans anlamında daha çok anaerobik kapasitenin ön planda olduğu spor branşlarında, direnç ve hızı geliştirmek amacıyla yaptırılır. Aksine şiddeti düşük kapsamı geniş antrenmanların yaptırılması aerobik kapasiteyi geliştirirken, özellikle dayanıklılık gerektiren spor branşlarında performans beklentilerini karşılamak anlamında önem taşır[1,3,8]. Antrenman bütünlüğü içerisinde kaliteyi artırabilmek için antrenman şiddeti ve kapsamını bir bütün olarak değerlendirmek gerekir. Genel presip olarak antrenmanın şiddeti ve kapsamı ters orantılıdır. Yarışma döneminin yaklaşmasıyla beraber kapsam kademeli olarak azaltılırken, yüklenme şiddeti arttırılır[1,4,44,46,47,48].

2.1.2. Yüklenme Dinlenme Arasındaki İlişki

Yapılan antrenmanların organizmanın fizyolojisinde yaratacağı olası etkiyi, enerji üretim kapasitesini artırması, yüklemeler sırasında oluşan fizyolojik stresi daha kolay tolere edebilmesi ve bunların bir sonucu olarak da egzersiz kapasitesinde gelişmesi olarak özetlemek mümkündür[5,8,15,16,17]. Sportif performansın geliştirilebilmesi için sporcuların yüklenme sonrası dinlenmeleri amacıyla yeterli bir süreye gereksinimleri olduğu bilinmektedir. Antrenmanların istenilen kazanımı sağlayabilmesi için yükleme ve dinlenme süreçlerin iyi organize edilmelidir. Nitekim bu konu modern antrenman biliminin önemli araştırma konularından bir tanesini oluşturur. Yapılan çalışmalarda amaca yönelik performansın gelişiminde yalnız yüklenmeler değil, dinlenme aralıklarının da büyük öneme sahip olduğu gösterilmiştir. Yorgunluğun özellikle yüksek şiddetli fiziksel etkinlikler sonrasında daha fazla olduğu düşünüldüğünde, yüklemeler sonrasında verilecek dinlenmenin de özellik göstereceğini ifade etmek mümkündür. Bu bilgilerin ışığı altında antrenörlerin iyi bir antrenman programında yüklenme ve dinlenme arasındaki ilişkiyi daha önceden planlanmış olması beklenilir[1,3,4,5,44,48].

Antrenmanlarda yapılan yüklenmelerin sayısının belirleyicisi olan değişken yüklenme-dinlenme sürelerinin birbirlerine olan oranıdır. Fizyolojik prensiplerin esas alındığı durumlarda yüklenmeler arası verilecek dinlenme süreleri antrenman amaçlarına göre tam ve verimsel dinlenme olarak iki sınıfta değerlendirilir. Yüklenmeler arasında yapılan tam dinlenme ile yorgunluğun giderilmesi sağlanır. Tam dinlenme daha çok dikkat, koordinasyon, maksimal kuvvetle yapılan egzersizler, motorik öğrenim sürecinde sportif tekniği geliştirici kombine çalışmalar yanında sürat ve reaksiyon hızı ile patlayıcı kuvveti geliştirmeyi amaçlayan egzersizlerde kullanılır. Verimsel dinlemede ise antrenmanlar sırasında yapılan yüklemenin organizma üzerinde yarattığı etki tamamen ortadan kalkmadan yapılan ikinci bir yüklenme ile sporcunun dayanıklılığının geliştirilmesi amaçlanır. Verimsel dinlenmenin uygulandığı antrenman modelleri ise süratte ve kuvvette devamlılık çalışmaları ile temel ve özel dayanıklılık yanında istemli güç gelişiminin amaçlandığı yüklemelerde kullanılır[1,5,15,44,48].

Klasik antrenman biliminde hafta içerisinde yapılan yüklemelerin sayısı antrenman sıklığı olarak tanımlanır. Antrenman sıklığı sporcunun dinlenme yeteneğine, antrenmanların kapsamına ve şiddetine bağlı olarak değişir[1,5,15,48]. Antrenmanlar arasında dinlenme aralığının doğru belirlenmesi, vücudun yüklemelere uyum gösterebilmesini sağlayarak performansı geliştireceğinden önemlidir. İki antrenman arasındaki dinlenme zamanının gerekenden fazla olması, antrenmanın beklenilen etkisinin görülmemesine, dolayısıyla da gelişimin gerçekleşmemesine neden olur. Aksine dinlenme süresinin kısa tutulması vücudun anabolizması için gereken sürenin geçmemesine bağlı olarak performans kaybına yol açar. Genel antrenman programlanmasında çoğu kez dinlenme süresi yüksek şiddette yapılan antrenmanlardan sonra göreceli uzun, düşük şiddette yapılan antrenmanlardan sonra ise daha kısa tutulmaktadır[1,3,5,40,44].

2.1.3. Performans Gelişimi İçin Artan Yüklenme İlkesi

Bazı antrenör ve sporcular performans kapasitesini en üst seviyeye taşıyabilmek için antrenmanların şiddet ve kapsamını artırma yönünde bir çaba sarf eder. Bireyin antrenmana uyum yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle, yapılan bu türlü yüklemelerde vücudun antrenmanlara vereceği yanıt beklenilen seviyede olmayabilir. Daha da önemlisi yaptırılan ağır antrenmanlar gelişmeyi durdurarak, performansın düşüşüne de neden olabilir[1,3,5,8,44].

Antrenmanlar sırasında yüklenmelerin sürekli olarak aynı şiddet ve kapsamda tekrarlanması durumunda, vücudun bu strese uyum göstermiş olabileceği düşüncesiyle, belirli bir seviyeden sonra gelişimin durması beklenir. Bu bilgiden hareketle antrenman bilimcileri, sporcuları giderek artan yüklerde çalıştırmaya yönelik çalışma programlarının uygulamasını ve yüklenmelerin basamaklı olarak artırılmasının önermektedirler. Çalışmalarda beklenilen etkinin görülebilmesi için yüklemelerin sporcunun sınırlarına göre yapılıyor olması ayrıca önem taşır[1,4,8,44,48]. Yüklenmelerin sporcunun sınırlarını aşması durumunda, katabolik süreci belirginleşmesi nedeniyle vücut bu süreçten olumsuz etkilenir ve performansında uzun süreli düşüş görülebilir[1,3,5,44].

2.1.4. Sürantrenman (Overtraining)

Vücudun toparlanma ve uyum kapasitesini aşan yüklenmelerin sonucunda sporcuların performansında günler hatta haftalar boyu sürebilecek performans kaybı ortaya çıkar. Bu tablo sporcunun kendini daha kısa sürede toparlayabilme şansı olması nedeniyle antrenman biliminde aşırıya varmak (overreach) olarak tanımlanır[5,7,9,10,11,40,41,50,51]. Nitekim aşırıya varmış bir sporcuda antrenmanlara ara verilmesini izleyen bir-iki haftalık dinlenme süresi, performansı eski düzeyine ulaştırabileceği gibi daha da yükseltebilir. Çoğu antrenör verilen ara sonrası performansın artabileceği noktasından hareketle, antrenman programlarında sporcularının aşırıya varmasını da hedefleyebilmektedir. Ancak aşırıya varmak ile sürantrene arasındaki hassas denge nedeniyle bu türlü uygulamaları yapan antrenörlerin sporcularının istenmeyen sürantrene tablosuyla karşı karşıya kalabileceklerini de göz önüne almaları gerekmektedir. Nitekim herhangi bir sporcuda ortaya çıkabilecek sürantrene tablosunda, bozulan performansın toparlanması için aylarla ve hatta yeterli önlemlerin alınmadığı durumlarda yıllarla ifade edilen süreye gerek olabilir[8,15,50,51].

Sürantrene kavramı ile genellikle uzun süren bir antrenman programının sonlarına doğru yavaş yavaş gelişen kronik bir yorgunluk tablosu anlatılır. Bu özelliği nedeniyle çoğu kez antrenman sürecinin başında görülmeyen sürantrene tablosunun değerlendirilmesinde sporcuların yapmış oldukları antrenmanın toplam süresinin sorgulanması gerekir[2]. Sürantrene tablosunun oluşmasından sorumlu etkenler değerlendirildiğinde, antrenman süresince yapılan tüketici antrenmanların vücutta yarattığı stresin en önemli unsur olduğu belirtilmektedir. Ayrıca vücut için fazladan stres yaratabilen etkenler arasında sayılabilecek yolculuk, günün düzensiz planlaması, yetersiz uyku, duygusal bozukluk, yetersiz beslenmeye bağlı negatif enerji dengesi yanında su ve elektrolit dengesizliği gibi unsurlar sürantrene tablosunun ortaya çıkmasını tetikleyebilir. Glikojen eksikliği, nöroendokrin sistemde dengesizlik, amino asit açığı, katabolik-anabolik dengenin bozulması, otonomik sinir sistemindeki düzensizlikler sporcunun performans gelişimiyle ilgili süreci olumsuz yönde etkileyebilmektedir[3,6,7,11,41,52]. Nitekin antrenman ve karşılaşmanın insan vücudunda

yaratabileceği olası etkilerin bütünü sonrasında sporcularda meydana gelebilecek değişiklikler ‘‘huzursuzluk, uyku bozukluğu, bitkinlik, müsabakaya isteksizlik, davranış bozukluğu, eforda çabuk yorulma, baş ağrısı, kas tonusunda artma, efor anında hava açlığı, taşikardi, efor sonrası nabzın istirahat değerine geç dönmesi, enfeksiyona eğilim, düşük kas glikojeni, kas ağrıları, koordinasyon bozukluğu, iştahsızlık ile kilo, esneklik ve performans kaybı’’ gibi semptomların ortaya çıkmasına sebep olur. Bulgular sportif performans açısından olası etkisini iskelet kaslarının kontraktil özelliklerinde bazı değişiklere yol açarak gösterebilir. Sportif performansın değerlendirilmesi, iskelet kas yapısında meydana gelebilecek değişiklikler hakkında bilgi vermesi nedeniyle özel bir önem taşır[3,5,6,7,11,41,52].

2.2. İskelet Kası ve Egzersiz

Fiziksel aktivite sırasında kasların iş yapabilme kapasitesi güç göstergesi olduğundan, güç bileşenlerinin tümü sporcuların performans kapasitelerinin de belirleyicisi olacaktır. Herhangi bir sporcunun sportif performans beklentisini karşılayabilmesi için öncelikli olarak sağlıklı bir iskelet kas sistemine sahip olması zorunluluktur[53].

2.2.1. İskelet Kasının Yapısı

İnsan vücudunda ekstremitelerin hareketlerini sağlayan ve kontrol eden temel organ sistemlerinden bir tanesi olan iskelet kası, tendonlar aracılığıyla kemik dokusuna bağlanmıştır. Bu anatomik organizasyon kas liflerinin kasılması durumunda ortaya çıkan mekanik enerjinin kemiklere aktarılmasını, dolayısıyla da kemiğin bağlı bulunduğu eklemde hareketin başlamasına neden olur [16,53,54,55].

İskelet kası yapısal olarak incelendiğinde, binlerce silindirik hücrenin bir araya gelerek oluşturduğu kas liflerinden meydana geldiği görülür. Yüzlerce miyoblastın füzyonu ile oluşan çok çekirdekli kas hücreleri birbirine paralel olarak yerleşerek kas lifleri oluşturur. Komşu kas lifleri arasında yerleşen endomisyom tabakası ile birbirlerinden ayrılır. Kas lifi demetleri tarafından oluşturulan yapılar perimisyum denilen bir bağ dokusuyla çevrilerek fasikülleri oluşturur. Fasiküllerin bir araya

gelmesiyle de oluşun iskelet kası epimisyum denilen bağ dokusu kılıfı ile sarılarak kemiğe bağlanır[53,54,55,56].

Kas liflerinin yapısı değerlendirildiğinde sayıları birkaç yüz ile birkaç bin arasında değişen miyofibrilden meydan geldiği görülür. Bu yapı sarkolemma adı verilen bir membran ile çevrelenir. Sarkolemma ile dış kısımda yer alan bazal membran arasında, yeni kas hücrelerinin oluşumunu sağlayan satelit (uydu) hücreler yer almaktadır. Miyofibrillerin yapısında ise kas kasılmasından sorumlu miyozin ve aktin filamentleri bulunmaktadır[16,57,58].

İskelet kasının yapısal proteinlerinden olan desmin proteinine aktinin nebulin ismi verilen molekülünün dikey olarak bağlandığı bölgeye Z çizgisi olarak isimlendirilir. İki Z bandı arasında kalan bölüme ise kasılabilir en küçük bileşeni oluşturan sarkomer adı verilir. Nebulin üzerine bağlanan aktin filamentleri ise kontraksiyona aktif olarak katılan diğer bir önemli bir protein olan ve titin molekül çatısı üzerine yerleşmiş miyozin molekülünün bağlantı noktalarını oluşturur. Sarkomerin merkezinde bulunan M çizgisi, miyozin flamentlerinin bir hizada dizilişini sağlayan M protein, myomesin, skelemin proteinleri içerir[17,53,54,55,56].

Miyozine oranla daha ince olması nedeniyle ince flaman olarak da adlandırılan aktin molekülü üstünde iskelet kasının kasılmasında aktif rol oynayan tropomiyozin ve troponin isimli iki protein daha bulunmaktadır. Tropomiyozin dimerleri tüm aktin filamenti boyunca uzanarak aktin molekülü üzerinde miyozin bağlanma bölgesini kaplar. Tropomiyozin dimeri üzerinde ise troponin-T, troponin-I ve troponin-C olmak üzere üç alt üniteden oluşan troponin kompleksi bulunur. Miyozin filamenı ise bir çift büyük ağır zincir ve iki hafif zincirli proteinlerinden oluşur. İki ağır zincir bir çift sarmal oluşturarak miyozin başı denilen globüler polipeptid yapıyı meydana getirir. Bu yapı temelde aktin molekülüne bağlanan miyozin bileşkesi olması açısından önemlidir. İskelet kasının kontraksiyonlar sırasında gerim yaratması yanında sarkomer boyunun kısalmasından miyozin başı ile aktin arasında meydana gelen bu yapıya klasik fizyolojide çapraz köprü adı verilmektedir[17,53,54,55,56].

2.2.2. İskelet Kasının Uyarılma ve Kasılma Eşleşmesi

Kontraktil işlergesi merkezi sinir sistemi tarafından kontrol edilen iskelet kası, hücre gövdeleri medulla spinalisin ventral boynuzunda yer alan α-motor nöronları tarafından uyarılır. Ventral kökten çıkan motor nöronlar bir çok kez dallanarak, sayıları yaklaşık 3 ila 200 arasında değişen kas liflerine ulaşır. Kasa ulaşarak dallarına ayrılan motor sinirlerin her bir kolu tek bir kas lifini uyarır. Bir motor nöron ve bu nöronla uyarılan tüm kas liflerinin bütününe motor birim adı verilir. Motor nöronun uyarılmasına bağlı olarak bir motor birimin innerve ettiği tüm kas liflerinde kontraksiyon eş zamanlı olarak meydana gelir[16,17,53,54,56].

Bir motor nöron ile bir kas lifinin komşuluk yaptığı bölgeye sinir-kas kavşağını adı verilir. Motor nöronun uyarılmasını izleyen aşamada, sinir son ucundan sinaps aralığına asetil kolin salgılanır. Bu mediatörün post-sinaotik almacına bağlanması iskelet kas hücresinde de bir aksiyon potansiyeli oluşumuna neden olur. Oluşan aksiyon potansiyeli de sarkolemma boyunca T-tübülleri aracılığı ile yayılır ve dihidropridin (DHP-RYN) riyanodin almaç grubunu etkileyerek SR'dan Ca^{+2} salınmasına yol açar. Dinlenim durumunda tropomyozin molekülleri, aktin filamentlerinin miyozin başının bağlanabileceği aktif bölgeleri kapattığından, aktin ile miyozin arasında kasılmaya neden olacak çekim engellenmektedir. Buna karşın SR'dan salgılanan Ca^{++}'un troponin-C'ye bağlanması, troponin kompleksinde şekil değişikliğine yol açarak tropomiyozin molekülünün aktin proteini üzerindeki konumunu değiştirir, aktin ve miyozin arasındaki çapraz köprülerin kuralmasına imkan sağlar. Bu iki protein arasındaki bağlantı aynı zamanda miyozin başında yer alan miyozin ATPaz enzimini aktive ederek ATP'yi parçalar ve enerji açığa çıkar. Serbestleşen enerji sayesinde de miyozin çapraz köprü başları, miyozin molekülünün geri kalan kısmı üzerinde bükülür ve kasılma gerçekleşir. Aktin ve miyozin flamanlarının birbirlerinden ayrılabilmeleri için ise yeni bir ATP molekülüne gereksinimleri vardır. Kontraksiyonun sonlanabilmesi için ise hücre içi Ca^{++} konsantrasyonun azalması gerekir. Bu işlevin gerçekleşebilemesi için sarkoplazma

içinde artmış olan Ca^{++}'un SR üzerinde bulunan Ca^{++}-ATPaz pompası aracılığıyla aktif olarak SR'a depolanması ise iskelet kasını gevşetir[8,16,17,53,54,56].

2.2.3. Kas Kasılmasının Refleks Kontrolü

İskelet kas yapısıyla (kas iğciği) kasın tendonlarında (Golgi tendon organı) bulunan duysal affarent nöronlar kasın anlık gerim ve boy değişiklikleri hakkında medulla spinalise sürekli bilgi taşırlar. Kas işlevlerinin düzenli olabilmesi ve kontraksiyonların amaçlanılan süre ve şiddette gerçekleştirilebilmesi için bu geri besleme devresinin sağlıklı olması zorunluluktur [5,8,16,17,53,54,56]. İntrafuzal kas liflerinden oluşan kas iğcikleri 3-10 milimetre uzunluğunda olup, yapılarında kasın boy değişimine duyarlı grup I ve II duysal nöronları barındırırlar. Kas boyunun uzamasına bağlı olarak etkinlikleri artan bu duysal nöronların medulla spinalise taşıdığı bilgiye yanıt ise ilgili iskelet kas segmentinde kontraksiyonu tetikler[8,16,17,53,54,56]. Kas boyunun dereceli olarak artırıldığı egzersiz türlerinde germe egzersizlerinde belirli bir seviyede yapılan esnemelerin sportif performansı artırabilmesi refleks arkının işlevsel önemini işaret eder[5,16,59].

Golgi tendon organı ise anatomik olarak tendonların yapısında bulunmaktadır. Kas boyundaki kısalmanın işlevsel karşılığı tendon üzerindeki gerimin dolayısıyla da Golgi tendon organının uyarılmasında görülen artıştır. Golgi tendon organından kaynaklanan affarent impulslar medulla spinalise Ib sinir lifleriyle taşınır. Golgi tendon organının uyarı frekansında meydana gelen artışın yaratacağı etki, tendon üzerindeki gerimi azaltıcı yönde olacağından, yanıt kas kasılmasının sonlanması olarak gözlenir[8,16,17,53,54,56]. Bu refleks arkının sağlıklı olması sadece kas kontraksiyonlarının düzenlenmesi anlamında değil, aynı zamanda da kasın aşırı kontraksiyon yapmasına bağlı olarak istenmeyen sakatlıkların önlenebilmesi anlamında da önemlidir[5,53,54].

2.2.4. İskelet Kasının Performansı

2.2.4.1. Kasılma Kuvveti ve Gücü

İnsan vücut ağırlığının yaklaşık % 40'nı oluşturan iskelet kasının en önemli işlevi iskelet sisteminin uzaysal konumunu istenilen pozisyon ve hızda belirleyebilmesidir[53].

İskelet kasının kontraksiyonu aktin ve miyozin flamanlarının birbirileri üzerindeki etkileşiminin bütünü sonucunda ortaya çıkan gerimi ifade eder. Kasılma kuvveti aktin ve miyozin çapraz köprü sayısı ile doğru orantılıdır. Buna karşın iskelet kasının enine kesit alanı birbirlerine paralel olarak yerleşmiş iskelet kas liflerinin sayısı hakkında bilgi verir. Nitekim kesit alanının fazla olması kontraksiyona katılacak aktin ve miyozin flamanlarının sayısını da doğrudan belirleyeceğinden, kas kuvveti hakkında da dolaylı bilgi verebilmektedir. Yapılan çalışmalarda iskelet kasının maksimum kasılma kuvvetinin 3-4 kg/cm^2 olduğu belirlenmiştir[5,53,54,60].

İskelet kasının oluşturabileceği kuvveti belirleyen bir diğer değişken kontraksiyon şeklidir. Kontraksiyon sırasında sarkomer boyunun değişmesi referans alındığında kasılmaları dinamik ve statik olarak iki başlıkta değerlendirmek mümkün olabilmektedir. Kasılma sırasında dışarıdan uygulanan direncin kasın ürettiği kuvvetten fazla olması durumunda, kas boyu sabit kalır ve eklem açısında herhangi bir değişiklik olmaksızın gerimi artar. İskelet kasının bu şekildeki statik kasılmasına, **izometrik** kasılma adı verilir. Buna karşın kasılma sırasında kasın ürettiği kuvvetin dış direnci aşması durumunda sarkomer boyunda bir kısalma meydan gelir. Kasın bağlı olduğu eklem açısının küçüldüğü bu türlü kasılmalara dinamik kasılmaların özel bir türü olan **konsantrik kasılma** adı verilir. Öte yandan dış direncin kasın yaratabileceği kuvveti aştığı yüklemelerde, sarkomer boyu direnci yenemediğinden uzamaya başlar. Bu türlü kontraksiyonlara ise dinamik kontraksiyonların bir diğer bileşeni olan **egzentrik kontraksiyon** adı verilir [5,8,15,17,53,54,60]. İskelet kas kuvvetinin en üst seviyeye ulaştığı kasılma tipi egzentrik kontraksiyonlar iken, en zayıf olduğu kasılma tipi konsantrik kontraksiyonlardır[61].

Normal koşullar altında herhangi bir hareketin gerçekleştirilmesi sırasında harekete katılan iskelet kaslarının bu üç türlü kontraksiyon tipinden herhangi bir tanesini gerçekleştirdikleri gözlenilir. Buna karşın hareketin salt egzentrik, konsantrik ya da izometrik kasılmalar ile gerçekleştirilmesi nadir görülen bir durumdur. Yapılan çalışmalarda koşma, yürüme ve sıçrama gibi günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan ve sportif aktiviteler sırasında performansı belirleyen hareketler sırasında iskelet kaslarının

bu türlü kasılmaları belirli bir düzen içinde gerçekleştirdikleri gösterilmiştir. **Uzama kısalma döngüsü** olarak da isimlendirilen bu etkinlik örüntüsünde egzentrik kontraksiyonları genellikle konsantrik kontraksiyonların takip ettiği belirlenmiştir[33,34,35]. Yapılan herhangi bir işin gerçekleştirilmesinde uygulanan kuvveti tek başına değerlendirmenin aslında anlamlı olmadığı, güç kapasitesinin ise esas performans belirleyicisi olduğu bilinmektedir. Bu durumda sportif performansı belirlemede sürdürülebilir kuvvet gibi bir kavramın tartışılması önem taşıyabilir. Nitekim kaslar tarafından üretilen gücün uzun süreli dayanıklılık aktivitelerinde, kısa süreli ağır egzersizlere oranla % 25 seviyesinde kaldığı tespit edilmiştir[53].

2.2.4.2. Kasılma Hızı

Dinamik kasılmalar sırasında üretilen kuvvetin yanından kontraksiyon etkinliğini belirleyen bir diğer değişkenin kasılma hızı olduğu belirtilmektedir. Bir futbolcunun topa maksimum hızı verebilmesi için, topa vuruş tekniği yanında hem kas kuvvetinin fazla hem de kasın kontraksiyon hızının yüksek olması gerekir. Kasın kısalma hızını belirleyen unsurlardan bir tanesi de dirence karşı oluşturması gereken kuvvet miktarıdır. Kasa uygulanan dış yük kasılma gücüne zıt yönde etki yapar. Bu nedenle kasın kontraksiyon hızı herhangi bir direncin uygulanmadığı koşullarda en üst seviyesine çıkarken, direncin artışı beraberinde kontraksiyon hızında azalmaya neden olur[53,54]. Sportif etkinlikler sırasında iskelet kas sisteminin karşılaştığı direnci belirleyen en önemli unsur bireyin yer çekimi kuvveti sonrasında ortaya çıkan kütlesel etkisidir. Ayrıca hareket bütünü içinde karşılaşılan egzentrik kontraksiyonlar sırasında, iskelet kasının elastik özellikleri egzentrik kasılmalar sırasında fazladan güç harcanmasını gerektirir. Sportif etkinlikler sırasında kontraksiyon döngüsünde meydana gelen artma beraberinde iskelet kaslarının egzentrik, izometrik ve konsantrik kasılmaların sayısında bir atışa neden olurken, kontraksiyon hızının arttığı maksimal hızlarda iskelet kas yapısındaki elastik elemanların da kasılmada güç oluşumuna katkı sağlayabileceği belirtilmektedir[62,63,65]. Yapılan çalışmalarda üst düzey sprinterler ile yüksek atlamacıların bacak kaslarının elastik kuvvetlerinin diğer sporculara oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir[62,63,64,66,67].

2.2.4.3. İskelet Kasının Elastik Kuvveti

Özellikle yüksek hızlarda yapılan hareketler sırasında iskelet kaslarının oluşturabildikleri kuvveti belirleyen unsurlardan bir tanesi de kasın elastik özellikleri tarafından yaratılan kuvvettir. Yer çekimine karşı yapılan hareketlerde, yere temas eden ektremitenin yapısında bulunan kas liflerinin boyunun uzama durumunda kalması, vücut ağırlığı tarafından oluşturulan kuvvetin soğurulması aşamasında belirli oranda egzentrik kasılmayı zorunlu kılar. Bu esnada özellikle kas boyundaki değişime duyarlı kas iğciklerinden kalkan duysal nöronların etkinliğinde meydana gelen artış beraberinde kas kasılması için gereken motor uyarıların, hareket örüntüsünü oluşturan motor lifler ile senkron olarak deşarj yapma olasılığını doğurur[68,69]. Buna ek olarak iskelet kas yapısında bulunan başta titin proteini olmak üzere, miyozin başında meydana gelen konformasyonal değişimler kasın anatomik konumuna geri dönebilme yönünde bir değişimi işaret eder. Söz konusu etkilerin bütünü bir arada değerlendirildiğinde, oluşturulabilen kas kuvveti dinamik kontraksiyonlar sırasında daha üst seviyelere taşınmış olur [63,65,68,70,71]. Bu türlü fiziksel etkinlikler sırasında egzentrik kasılmayı izleyen konsantrik kontraksiyonlarda, iskelet kas yapısındaki elastik ögelerden kaynaklanan potansiyel enerjinin önemli bir kısmı gerçekleştirilecek iş sırasında kullanılabilir ve sonucunda da güç üretimi artar[15,65,68,69,71]. Özellikle hareket hızının en üst seviyelerine ulaştığı fiziksel aktiviteler sırasında hızlanan ekstremitenin zemine çarpması, yapıyı oluşturan kasların dış yükle karşılaşmasına ve sonrasında da gerilmesine neden olacaktır. Hareket hızının artması ekstremiteye binen yükü de artırır. Kasın elastik özelliklerinden kaynaklanan güç kazanımı yer çekimine karşı koyacak türde hareket hızının arttığı fiziksel etkinlikler sırasında ön plana çıkabilir[65,68,69,70].

2.2.4.4. İskelet Kasının Dayanıklılığı

Pek çok sportif etkinlik sırasında başarı iskelet kas sisteminin hareketleri maksimal ya da maksimale yakın düzeyde tekrar edebilme yeteneğine bağlıdır. Dinamik ya da statik kas hareketlerinin geniş bir zaman diliminde yapılabilmesi, kasın dayanıklılığı sayesinde gerçekleşir. Kas dayanıklılığı, genellikle kas gruplarının bir yüke karşı tekrarlanan kasılmaları sürdürebilme veya belirli bir düzeyde kasılma kuvvetini

devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Kasın uzun süre ardışık kontraksiyonlarına devam edebilmesi için, gereken enerjiyi serbestleştirebilmesi gerekir. Dayanıklılık büyük ölçüde, kas yapısı içinde depo edilen enerji kaynakları yanında dolaşım sistemi tarafından sağlanan besin öğelerinin miktarı ile ilişkilidir[5,17,53,54].

2.2.5. Egzersizde İskelet Kasının Kullandığı Metabolik Yolaklar

İskelet kası içinde depo edilmiş olan ATP miktarı maksimal kontraksiyonlar sırasında gereksinim duyulan enerjiyi ancak 1-2 saniye için sağlayabilir. Buna karşın kas içi ATP havuzunun kontraksiyon sırasında sürekli yenilenmesi sayesinde kontraksiyonların uzun süre devam etmesi mümkün olabilmektedir. ATP'nin yıkılması sonucunda yeniden sentezlenmesi için kullanılan ilk enerji kaynağı yüksek enerjili fosfat bağı taşıyan fosfokreatindir (PCr). Kreatin kinaz enziminin (CK) katalize ettiği reaksiyon sayesinde ATP yıkımı sonrasında ortaya çıkan ADP molekülünün yeniden ATP'ye dönüştürülmesi mümkün olabilmektedir. Öte yandan kasta depolanmış total PCr miktarı maksimal egzersiz için gereken enerjiyi ancak 8-15 saniye için sağlayabilir[5,8,17,53,54,72].

İskelet kası içindeki ATP ve PCr depolarının sınırlı olması, buna karşın iskelet kas kasılmasının bu depo kapasitesini aşan sürelerde devam etmesi, kontraksiyonların daha uzun sürelerle devam ettiği durumlarda enerji açısından zengin besin öğelerinin metabolizmaya katılmasını zorunlu kılar. Bu anlamda anaerobik glikoliz ve sonrasında da oksidatif fosforilasyon enerji desteğini sağlayan temel tepkimler olarak tartışılmaktadır. Hücre sitoplazmasında gerçekleşen anaerobik glikolizle ilgili tepkimelerde depolanmış olan glikojeninin, pirüvik asit ve laktik aside (LA) hızlı yıkımı sonucunda açığa çıkan enerji ile ATP'nin yeniden sentezlenmesi sağlanır. Glikolitik reaksiyonların gerçekleşebilmesi için oksijene gereksinim olmamasından dolayı, bu metabolik yolağa anaerobik metabolizma adı verilir. Buna karşın özellikle biriken son ürün LA hem molekül olarak hem de hücre içi pH'sını asit tarafa kaydırarak, homeostatik denge koşullarının bozulmasına neden olur. Bu nedenle anaerobik yolla kazanılan enerji ile uzun süre belirli bir tempoda iş yapabilmesi mümkün olamamaktadır. Öte yandan iskelet kas hücresinin daha uzun süre ve denge koşulları bozulmaksızın iş yapabilmesine olanak sağlayan bir diğer enerji yolağı, artan enerji gereksinimini uzun

süre sağlayabilme anlamında önem kazanır. Mitokondiriler içinde oksijenin varlığı sayesinde gerçekleştirilen bu tepkimeler bütünü, oksijenin mutlaka kullanılıyor olması nedeniyle aerobik metabolizma adını alır. Aerobik metabolizmayı anaerobik metabolizmadan ayıran bir diğer önemli farklılık, aerobik metabolizmaya katılan enerjiden zengin besin öğelerinin karbonhidrat yanında yağlar ve aminoasitleri de içeriyor olmasıdır[5,8,16,17,53,54,72].

Yapılan aktivitenin şiddet ve süresi yukarıda tanımı yapılmış enerji yolaklarından hangilerinin ATP desteğini sağlamada belirleyici olacağını da gösterir. Nitekim 15 saniyeye kadar maksimal şiddette yapılan aktivitelerde enerji gereksinimi, ATP-PCr fosfojen sistemi ile karşılanır. Aerobik metabolizmaya oranla yaklaşık iki buçuk kat daha hızlı ATP oluşturan anaerobik reaksiyonlar ise ancak onlu saniyelerle ifade edilen zaman aralıkları için gereksinim duyulan enerjiyi sağlayabilmektedir. Buna karşın egzersiz süresinin 2 dakikayı aştığı durumlarda gereksinim duyulan enerji, tepkimelere aerobik metabolizmanın etkin olarak katılması sayesinde mümkün olur[1,3,5,8,17,53,54,72,73].

2.2.6. Enerji Sistemleri ve Dinlenme Yöntemleri

Performansın gelişimi amacıyla yapılan antrenmanlarda, yapılan fiziksel etkinliğin kazanım sağlayabilmesi için, fiziksel aktiviteye katılan enerji yolakları ile beraber dinlenme sırasında bu enerji yolaklarında meydana gelen değişikliklerin de eş zamanlı olarak irdelenmesi zorunludur. Yapılan fiziksel aktivitenin şiddeti ne olursa olsun, hücrelerde her koşulda belirli oranlarda katabolizmaya yol açar ve beraberinde de toparlanma sürecinde fazladan enerjiye gereksinim yaratır[1,3,5,8,17,72].

Yüklenmeler arasında verilen dinlenme sürelerinin belirlenmesinde egzersiz sırasında harcanan enerji depolarının yenilenmesi yanında vücutta biriken son ürünlerin uzaklaştırılması (özellikle laktik asit) için gereken süre göz önünde bulundurulmalıdır. Dinlenme süresi aynı zamanda kişinin kondisyonuna, uygulanan antrenmanın şiddetine, süresine, egzersiz türüne ve çalıştırılan kas grubuna bağlı olarak değişir. Genel olarak sporcuların kondisyon seviyesindeki artışa bağlı olarak iki antrenman arasındaki dinlenme süresi yanında, antrenmanlarda setler arasında verilen dinlenme süresi kısaltılır[1,3,5,72,74].

Bir sporcunun egzersiz sırasındaki enerji gereksinimini karşılama yeteneği, sportif performans ve süresini belirleyen temel unsurdur[75]. Bu nedenle yüklenmelerin tekrarlanarak yapıldığı (interval) antrenman uygulamalarında sporcunun antrenman performansı, yüklenmelerin tekrar sayısı ve yüklenmeler arası dinlenme süreleri ile doğrudan ilişkilidir. İnterval tarzındaki antrenmanlarda kullanılan enerji yolakları ilk yüklenmeye izleyen süreç içinde, tekrar sayısına ve dinlenme süresine bağlı olarak değişir[76,77]. Depo ATP ve PCr'ın ağırlıklı olarak kullanıldığı kısa süreli maksimal egzersizlerde, sporcunun maksimal performans kapasitesinin tekrar eden her yüklenmede koruyabilmesi ve antrenman verimini arttırılabilmesi için, yüklenmeler arasında tam dinlenme verilmesi gerekir. Bir sonraki yüklenmede performansı belirleyen ana unsur dinlenme süresi içinde fosfojen depolarının yenilenme oranıdır[1,72,74,78]. Dinlenme aralığının fosfojen depolarının yenilenmesi için yeterli olmadığı durumlarda, bir sonraki yüklenmede gereksinim duyulan enerjinin bir kısmı, tam olmasa da, yenilenen kas fosfojen sisteminden, diğer kısmı ise anaerobik gilikolizden sağlanacaktır. Bu tarzdaki interval antrenmanlarında, performans fosfogen deposunun yetersizliği yanında kaslarda laktik asit birikimi nedeniyle azalacaktır[5,72,73,77,76]. Yapılan çalışmalarda kısa süreli maksimal şiddette yapılan egzersizler sırasında tüketilen kas fosfojenlerinin dinlenmenin ilk 30 sn'de %50-70'i, ilk 3 dakikada ise %95'inin yenilendiği gösterilmiştir. Maksimal hızda yapılan 6-10 saniyelik yüklenmeler arasında 30 saniyelik dinlenme süresinin kas fosfojen depolarının tamamen yenilenmesi için yetersiz kaldığı ve bu nedenle tekrar eden yüklenmelerde ilk yüklemedeki performansın sergilenemediği ve giderek düştüğü belirtilmektedir. Öte yandan yüklenmeler arasında 60-120 saniyelik dinlenmelerin performans kaybını ortadan kaldırdığı ve yüklenmelerin daha kolay tolere edilebildiği belirtilmektedir[74,77,76,79]. Sporcuların sürat, çabuk kuvvet, patlayıcı güç gibi yeteneklerin geliştirilmesinin hedeflendiği durumlarda, yorgunluğun olumsuz etkisi göz önüne alındığında, kısa dinlenme aralıklı interval antrenman programlarının istenilen gelişim sağlayamayacağını ifade etmek mümkün olabilir. Ancak anaerobik dayanıklılığın geliştirilmesinin amaçlandığı durumlarda interval yüklenmelerinin kısa

dinlenme aralıklarıyla yüksek şiddette yapılması uygun olacaktır[1,72,80]. Futbol, basketbol, hentbol gibi takım sporlarında, karşılaşmaların tipik özellikleri göz önüne alındığında, yüksek şiddetli aktivitelerin kısa aralıklarla tekrarlanabilmesi için anaerobik dayanıklılığın geliştirilmesine yönelik çalışmaların yapılması gerekir[3].

Anaerobik enerji yolunun bir ürünü olan laktik asitin kanda ve kasta yüksek konsantrasyonlarda birikmesinin yorgunluğa neden olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir[3,5,,8,17,75]. Egzersiz sonrası ulaşılan laktik asit konsantrasyonu fiziksel aktivitenin şiddet ve süresine bağlı olarak değişmekle beraber en yüksek değerine yüksek şiddette yapılan egzersizlerde 4-6 dakika sonra ulaşır[5,81,82]. Ancak performans sporcularında yüksek şiddette yapılan egzersizler sonrasında ulaşılan 7-10 mmol/L gibi laktik asit konsantrasyon değerlerine karşın performans kaybının gözlenmeyebileceği de belirtilmektedir[8,76,77]. Laktik asitin konsantrasyonun egzersiz öncesi değerlerine ulaşması ise 30-120 dakika arasında değişen sürelerde gerçekleşmektedir[5,72,73]. Antrenmanlarda yüklenmeler arasında pasif dinlenme yerine düşük şiddette egzersizlerle aktif dinlenme yapılması, kandan ve kaslardan LA uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır. Aktif dinlenme sırasında laktik asitin daha kolay uzaklaştırılmasının nedeni, laktik asitin piruvik asite dönerek oksidatif sürece bir substrat olarak girmesi yanında kaslardan uzaklaştırılmasının hızlanmasına bağlı olarak glukoneogenetik sürece daha fazla katılmasıdır[5,72,82,83,84].

Egzersiz sırasında hem anaerobik hem de aerobik metabolizmada için gereken temel enerji kaynağı kas içinde depo edilmiş olan glikojendir. Fiziksel aktivite sırasında artan yük veya şiddet ile birlikte glikojen tüketim hızı da artar. Maksimal oksijen tüketim kapasitesinin % 65 ile 95 arasındaki egzersizlerde performansı sınırlayan faktörlerden bir tanesi de glikojen depolarının azalmasıdır. Bu seviyelerin üstünde ya da altında yapılan fiziksel aktiviteler sırasında depo glikojenin kullanılma oranlarının daha düşük olduğu, yüksek şiddetteki egzersizler sırasında depo fosfogenlerin, altındaki egzersizlerde ise karbonhidratlara ek olarak diğer enerji substratlarının kullanıldığı gösterilmiştir[85,86,87]. Buna karşın yapılan çalışmalarda azalmış glikojen depolarının önemli bir bölümünün 30-120 dakikalık bir süre içinde

yenilendiği gösterilmiştir[72,81,85]. Ancak 1 dakikadan daha kısa süreli intreval antrenmanlarında, depo glikojen miktarında bir azalma olabileceği ve bu azalmanın performans kaybına yol açabileceği belirtilmektedir. Bu türlü yüklemeler sonrasında azalmış kas glikojeninin dinlenmenin ilk 2 saatinde %40, 12. saatte %65 oranında yenilendiği, depoların başlangıç seviyesini ulaşmasının ise 24 saatlik bir süreyi gerektirdiği bulunmuştur. Uzun süreli ağır egzersizlerden sonra ise depo glikoejen miktarının egzersiz öncesi seviyesine ulaşması 48 saatlik bir süreci gerektirebilmektedir[72,86,87,88].

2.2.7. Enerji Sistemleri ve Yüklenme Yöntemleri

Hedeflenen sportif performans gelişimi için, spor branşına özgü aktivitelerde baskın olan enerji sisteminin belirlenmesinden sonra, sporcular bu enerji sistemini geliştirmeye yönelik yüklenme prensipleriyle antrene edilmelidir. Sporcunun yüklemeleri belirlenen hedeflere göre değişkenlik gösterir. Maksimal kuvveti ya da hızı geliştirmeyi hedefleyen antrenmanlarda yüklenmelerin yüksek şiddette, çabuk kuvvet, anaerobik dayanıklılık, maksimal aerobik kapasiteyi (VO_{2max}) geliştirebilmek için submaksimal veya orta şiddette, aerobik dayanıklılık için ise de daha düşük şiddette çalıştırılması gereklidir. Bir çok spor branşında enerji gereksinimi farklı enerji yolaklarından değişken oranlarda karşılandığından, antrenman programında farklı yüklenme yöntemleriyle söz konusu yolakların tümünün değişen oranlarlarda da olsa antrene edilmesi önem taşır. Özellikle hazırlık döneminin sonu ile müsabaka dönemlerinde bu hedefe yönelik antrenmanların yapılması önemlidir[1,3,5,72].

Kısa süreli patlayıcı kas güç gerektiren spor branşlarında antrenmanların sportif performans beklentisi ve enerji yolakları göz önüne alındığında fosfojen enerji sisteminin öncelikli olarak zorlanması gerekir. Bu enerji sisteminin geliştirilebilmesi için egzersizin maksimal şiddetteki en fazla 15 saniyelik 10-30 tekrarlı yüklenmelerin gerçekleştirildiği interval antrenmanlarından oluşması gerekir[73,78,89,90]. Yüklenmeler arası dinlenme süreleri kas fosfojen depolarının büyük çoğunluğunun yenilenmesine imkan sağlayacak şekilde 1-3 dakika tutulmalıdır. Kas fosfojenlerinin sentezi tamamlanmadan yeniden yükleme

yapılacak olması, ardışık yüklemelerde anaerobik metabolizmayı temel enerji kaynağı olarak ön plana çıkaracaktır[1,3,5,72].

Laktik asit artışının hedeflendiği antrenmanlar sporcularda anaerobik performans gelişimini sağlamanın yanında, bireyin zorlayıcı koşullara uyumunu sağlayarak yüksek şiddette yapılan egzersizleri daha kolay tolere edebilmesine olanak verir [1,72,80]. Laktik asitin kaslardan uzaklaştırılma hızının artması, asidozun anaerobik metabolizma üzerindeki inhibitör etkisini geciktireceğinden, enerji sağlayıcı sürecin görece daha etkin kalması sağlanır. Dolayısıyla kaslardan laktik asititin uzaklaştırılma hızını artıran antrenmanlar, performans gelişiminde de olumlu rol oynar[1,5,73,91]. Bu amaca yönelik antrenmanlarda yüksek şiddetteki yüklenmelerin süresi 30 saniye ile 3 dakika arasında değişir. Süresi 1 dakikadan az olan yüklenmelerde tekrar sayısı 4 - 8 arasında tutulurken, dinlenme aralıkları yüklenme süresinin iki katı (1:2 oranında) olarak ayarlanmalı ve aktiviteye bir kaç set devam edilmelidir. Bir dakikadan daha uzun süreli yüklenmelerde ise egzersizin şiddeti laktik asit birikimine neden olacak seviyeye ulaşmalıdır. Yüklenmeler arası dinlenme süresi yüklenme süresinin üç katı (1:3 oranında) olmalıdır[1,5,72].

Maksimal O_2 tüketimi dayanıklılık gerektiren egzersizlerde performansa etki eden en önemli kriterdir. Maksimum oksijen tüketimi bireyin maksimal egzersiz sırasında erişebildiği en yüksek oksijen tüketim değeri olup aerobik kapasitenin nesnel ifadesidir. [1,5,72,85]. [5,8,17,72]. Bu nedenle pek çok spor branşında sporcuların VO_{2max} değerinin geliştirilmesine yönelik antrenmanlar yaptırılmaktadır. Maksimal şiddetin ya da yükün %80-90'da yapılan interval antrenmanları ile şiddetin ve/veya yükün kademeli artırılmasına bağlı olarak sporcuların tükenmesiyle sonlandırılan antrenmanların VO_{2max}'ı geliştirdiği belirtilmektedir. Buna karşın sabit şiddet ya da yükte uzun süreli aralıksız yapılan antrenmanların, yüksek O_2 ihtiyacı ve dolayısıyla da O_2 borçlanması gerektirmemesi nedeniyle VO_{2max} gelişimine önemli bir katkı sağlamadığı belirtilmektedir[92,93,94]. Maksimal oksijen alımının geliştirilmesine yönelik çok sayıda antrenman programı kullanılabilmektedir. Bu uygulamalardan bir gurubunda %80-90 şiddetindeki yüklemelerin 3-8 dakikalık sürelerle yapılması önerilmektedir[1,5,81]. Bu

amaca yönelik bir diğer antrenman modelinde ise 2 dakika süre ile 3-4 tekrardan oluşan yüklemeler yapılması, yüklenmeler arası dinlenme sürelerinin 1 dakika tutulması ve birden fazla setin uygulaması durumunda ise setler arası dinlenme süresinin 3 dakika olacak şekilde ayarlanmasının istenilen etkiyi yaratacağı belirtilmektedir[1,92]. Konuyla ilgili bir başka antrenman modelinde ise VO_{2max}'ın 30-60 saniye süreli 4-12 tekrarlı interval tarzı yüklemelerle de geliştirilebileceği gösterilmiştir[89,95]. Ancak yükleme süresinin kısa tutulduğu bu tür modellerde yüklenmelerin şiddeti artırılmalı ve beraberinde de dinlenme aralıkları yüklenme süresinin yarısı (2:1 oranında) olacak şekilde ayarlanmalıdır[1,5,8].

Egzersiz şiddetinin kademeli olarak arttırıldığı aktivitelerde vücudun artan enerji gereksiniminin aerobik metabolizma tarafından tam olarak karşılanamamasına karşın bireyin iş yapmaya devam etmesi, egzersizin belirli bir seviyesinde daha hızlı enerji sağlayan anaerobik enerji yolağının etkin katılımını gerektirir. Klasik fizyolojide anaerobik enerji yolağının etkinlik göstermeye başladığı egzersiz şiddetine anaerobik eşik (AE) adı verilir. Bu seviyenin üstünde yapılan fiziksel aktivitelerin temel özelliklerinden bir tanesi de kandaki laktik asit konsantrasyonun artış göstermesidir[5,8,17]. Anaerobik eşiğe karşılık gelen iş yükünde sabit olarak yapılan egzersiz sırasında laktat asit üretimi ile ortamdan uzaklaştırılması arasında bir denge olduğu, bunun sonucunda da kandaki laktik asit konsantrasyonunun artmadan sabit kalabileceği ifade edilir[96]. Sporcular arasında farklı egzersiz şiddetlerinde ortaya çıkan bu eşik değerinin nesnel ifadesinde, maksimal egzersiz kapasitenin yüzde değerleri esas alınarak kıyaslama yapılır. Sporcuların homeostatik koşulları bozulmadan daha uzun süre ve yüksek şiddette fizik aktiviteye devam edebilmeleri için, kandaki laktik asit artışının görece daha geç ortaya çıkması önemlidir. Bu nedenle sporcuların anaerobik eşik noktasına daha geç ulaşmalarını sağlayacak performans kazanımlarının hedeflendiği antrenman programları, spor bilimleri ile uğraşan araştırmacıların temel çalışma konularından bir tanesini oluşturur[5,8,17,72]. Yapılan çalışmalarda anaerobik eşikte veya biraz üzerinde yapılan antrenmanların anaerobik eşik değerini yukarı taşıdığı gösterilmiştir[5,72,92,94,97]. Bu uygulamaların bir bölümünde anaerobik eşiğe denk gelen

sabit şiddette ya da yükte aralıksız yapılan antrenmanların etkin olduğu belinlemiştir[1,5]. Öte yandan interval antrenman yöntemleriyle de istenilen sonuçların alınabileceği bildirilmektedir[1,92]. Anaerobik eşik değeri referans alınarak yapılan 90sn. ile 7 dakikalık 3-5 tekrardan oluşan yüklenmelerin istenilen etkiyi yaratabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmalarda dinlenme ve egzersiz süreleri arasındaki oranın eşit zaman aralıklarında gerçekleştirilmesinin yeterli olacağı ifade edilmektedir[1].

Antrenman modellerinin bir bölümünde de sporcuların aerobik dayanıklılığını geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu antrenmanlarda sporcunun yüklemelere kardiyovasküler adaptasyonun sağlanması yanında toparlanma süresinin de kısaltılması amaçlanır. Bu amaca yönelik antrenmanların süresi 30 dakikanın üzerinde ve maksimal aerobik kapasitenin % 50'sine karşılık gelen yükte veya hızda olmalıdır[1,3,5,72,81]. Antrenmanlar antrenör ve sporcunun seçimine göre sürekli ya da interval tarzında yapılan yüklemelerden oluşabilir. Yarışma sezonu içinde sporculara aerobik kapasitenin korunması için haftada 1-2 kez dayanıklılık antrenmanı yaptırılmalıdır[1,3,5,72].

2.3. Egzersiz ve Yorgunluk

Pek çok sporcu yorgunluğu "kasları bitkin, yavaş, zayıf ve bazen de ağrılı hissetme" olarak tanımlamaktadır. İzometrik kasılmalarda yorgunluk, kasın kuvvet üretiminin baskılanması olarak ifade edilir. Dinamik kasılmalarda ise yorgunluk, kasın kuvvet üretiminin ve kasılma hızının azalması olarak tanımlanır[5,8,15,16,17].

Yorgunlukla ilgili çalışmalarda ortaya çıkan performans kaybının, santral sinir sisteminin bir unsuru olarak değerlendirilen nöral yolağın herhangi bir aşamasında ve/veya sinir kas kavşağında meydana gelen değişikliklerden oluşabileceği gibi, iskelet kas hücresinin kontraktil sürecini etkileyen bir olumsuz değişiklikten kaynaklanabileceği gösterilmiştir. Bu bilgilerin ışığı altında tanımlamanın daha iyi anlaşılabilesi amacıyla nöral yolaktaki değişiklikler ile oluşturulan yorgunluğa **santral**, kas hücresinde meydana gelen değişiklikler sonrası oluşan performans kaybına ise **periferik** yorgunluk adı verilmiştir[5,8,15,16,17].

2.3.1. Santral Yorgunluk

Santral yorgunlukta motor kortekste aktivasyon azalması, α-motor nöron aktivitesinin baskılanması, sinaptik işlergelerdeki nörotransmitter salınımındaki düşüş veya motor sinir boyunca aksiyon potansiyeli (AP) deşarj frekansındaki azalma etken olarak tartışılmaktadır. Kaslardan ve eklemlerden kaynaklanan ağrılı afferent impulslar sporcuların kazanma ve yarışa devam etme isteğini olumsuz etkilemektedir. Nöral işlergede meydana gelen olası fizyolojik değişikliklere ek olarak, sporcunun yarışma arzusunu olumsuz etkileyebilecek psikolojik direnç azalması performansta azalmaya neden olabilir[5,8,15,16,17,26,98].

2.3.2. Periferik Yorgunluk

Periferik yorgunluk kasılma özelliğini etkileyen ve doğrudan kasın kendisinden kaynaklanan etkenler tarafından oluşturulmaktadır. Periferik yorgunluk konusunda yapılan çalışmalarda fiziksel aktivite sırasında kasta biriken metabolitler ile enerji yolağında kullanılan substratlar arasındaki dinamik dengenin değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çerçevede kas içinde biriken LA, hidrojen iyonları (H^+), inorganik fosfat (P_i), adenozin difosfat (ADP) ve K^+ ağırlıklı olarak çalışılmışken; substrat düzeyinde ise öncelikli olarak depo ATP, PCr, glikoz ve glikojen miktarları irdelenmiştir[5,8,15,16,17,26,75,99].

Yorgunluğun ortaya çıkması ile beraberinde sarkolemma üzerindeki Na^+ - K^+ ATPaz enzim aktivitesi azalır. Bu pompa aktivitesinin olumsuz etkilenmesi membrandan katyon hareketlerinin bozulmasına yol açarak iskelet kasının yorulmasına neden olabilir. Yoğun kas aktivitesinin etkilediği bir diğer yapı hücre içi Ca^{++} dengesinin korunmasında anahtar rolü oynayan organel olan sarkoplazmik retikulumdur. Yapılan çalışmalarda yorgunluğun SR membranı üzerindeki Ca^{++} ATPaz pompasının etkinliğini azalttığı gösterilmiştir. Bunun sonucunda dilatasyon sırasında SR'a girmesi gereken Ca^{++}'un sarkoplazma içinde birikmeye başlaması, ardışık kontraksiyonlar sırasında ulaşılabilecek gerim seviyenin belirlenmesini olumsuz yönde etkiler. Öte yandan sarkoplazma içindeki Pi iyon konsantrasyonundaki artışın SR'dan Ca^{++} salınımını baskıladığı belirlenmiştir[5,8,15,16,17,26,54,99].

Anaerobik enerji yolunun son ürünlerinde olan LA sarkoplasma içinde laktat ve H^+ artışına neden olur. pH'ın düşmesi özellikle fosforilaz, adenilat siklaz ve fosfofurüktokinaz gibi enzimlerin aktivitesini baskılar. Asidite ayrıca riyanodin reseptörü ile Ca^{++}ATPaz aktivitesini azaltır[16,26,54,99].

Kasın kontraksiyonalrı sırasında gereksinimi olan enerjiyi karşılayamaması egzersiz kapasitesini olumsuz yönde etkiler. Yapılan çalışmalarda birkaç dakika süren ve tükenmeye kadar devam eden maksimal şiddetli kasılmalar kas PCr depolarının çoğunun tükenmesine yol açar. PCr'ın ATP'nin yeniden sentezlenme üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, depo miktarındaki azalmanın yorgunluk yapıcı etkisini açıklamak mümkün olabilmektedir. Ancak pek çok egzersizde depo PCr miktarında ciddi bir azalma olmaması nedeniyle yorgunluğu tek başına PCr konsantrasyonun tükenmesi ile açıklamak mümkün olamamaktadır. Bu çerçevede substrat düzeyinde meydana gelen değişikliklerin de sorumlu olabileceği belirtilmektedir. Özellikle kas glikojen depolarındaki azalma değerlendirilen değişkenlerin başında gelmektedir. Egzersiz şiddeti ne olursa olsun, miyoplazmik ATP seviyesinin azalmadan sabit kaldığının belirlenmiş olması, iskelet kas hücresinin enerji döngüsünde rol alan denge sistemlerinin, ATP'nin konsantrasyonunun hücre yaşamını tehdit edebilecek oranda azalmasını engelleyici yönde evrimleşmiş olabileceğini düşündürmektedir[16,26,54,100].

2.4. Kas Hasarının Yorgunluk Etkisi

İskelet kas hücrelerinde meydana gelen yorgunluk ile ilgili çalışmalar yapan bazı araştırmacılar ise yorgunluğu **metabolik** ve **metabolik olmayan** olarak iki sınıfa ayırmışlardır. Yüksek yoğunluktaki güç gerektiren egzersizlerde oluşan enerji açığı metabolik yorgunluğun etkeni olarak tartışılırken, fiziksel aktivite sonrası kas hücrelerinde meydana gelen harabiyetin yol açtığı işlev kaybı metabolik olmayan yorgunluğu tanımlamaktadır[14,99,101]. Yapılan çalışmalara egzersiz sonrası ortaya çıkan **akut yorgunlukta**, metabolik ve metabolik olmayan unsurların rol oynadığı, buna karşın en az 24 saat süre ile devam eden **uzun süreli yorgunluk**ta ise kas hasarının etkin olabileceği düşünülmektedir[14,101].

Metabolik olmayan yorgunluğun nedenlerinin araştırıldığı çalışmalarda, yoğun fiziksel etkinliklerin hücre içi kontraktil proteinler yanında hücre dışı matriksi bozabileceği gösterilmiştir[14]. Yapıda meydana gelen değişiklikler iskelet kasının kontraktil elemanlarında işlev kaybına yol açabileceğinden, uyarılma-kasılma eşleşmesinde bozulmaya neden olabilir[26]. Öte yandan kas hücresinin kontraktil olmayan protein yapısında meydana gelen değişikliklerin de kasılma dinamiğini olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir. Bu anlamda T-tübül sistemi ve mitokondriler ağırlıklı olarak deformasyona uğrayan yapılar arasında sayılmaktadır. Hücre içi Ca^{++} konsantrasyonunun artışı, hücre için zararlı etkilere sahip olabilen enzimleri (fosfolipaz, proteaz, endonükleazlar) aktif hale geçirerek sarkolemma bütünlüğünün kaybolmasına yol açar. Hücre zarında meydana gelen bozukluklar iyon taşıyıcı kanallarla birlikte aktif taşınımda rol alan önemli yapısal öğelerin de işlevlerini olumsuz etkiler. Hücre içi Na^{+} artışıyla birlikte osmotik basınç yükselir[19,20,23,26,32,99]. Bunun yanı sıra Ca^{+2}'un mitekondrilerde aşırı birikimiyle, kas fonksiyonunu etkileyen ATP sentezinde bozukluklar ortaya yıkar. Ayrıca egzersiz sonrası ortaya çıkan kas harabiyetinin GLUT-4 proteinlerinde azalmaya yol açması, glukoz taşınmasını bozmanın yanında geçici olarak insülin direci ortaya çıkmasına neden olur. Glukoz taşınımındaki bozukluk ile beraber seyreden yorgunluk durumlarında iskelet kas hücrelerinin glikojen sentezleyebilme yeteneğini 24-48 saat süre ile bozulabildiği gösterilmiştir[20,27,28,29,30,31].

2.4.1. Egzersiz Sonucu Oluşan Kas Hasarının Mekanizması

İskelet kas dokusunda mikro travma ve mikro yaralanma terimleriyle tanımlanan kas hasarı, olayın şiddetine göre izometrik kas kuvvetinde, süratte ve esneklikte azalmaya yol açabilir. Kas hasarının özellikle form durumu düşük olan sedanter bireylerle, sezon başında yoğun yüklemelerin yapıldığı sporcularda, farklı antrenman programlarının uygulanmaya başladığı durumlarda, ağırlık çalışmalarıyla çok tekrarlı egzentrik egzersizlerin uygulandığı antrenmanlarda ortaya çıktığı gösterilmiştir. Hasarın derecesi ve adaptasyon süreci, yüklenmenin zorluğuna göre değişir[14,18,19,20,21,22,32,101,102]. Bu koşullar içinde özellikle egzentrik kontraksiyonların

ayrı bir yeri vardır. Yapılan çalışmalarda egzentrik ve konsantrik egzersizi izleyen 24-48 saatlik süre zarfında, izometrik kas kuvvetlerinde düşüşle birlikte kas ağrıları ve esneme yeteneğinde azalmanın, egzentrik egzersiz yapanlarda daha belirgin olduğu ve toparlanmanın birkaç gün sürdüğü gösterilmiştir[20,22,31,32,101].

Egzentrik egzersizler sırasında ortaya çıkan kas hasarı iki farklı hipotez ile açıklanmaktadır. Birinci hipotezde egzentrik kontraksiyonlar sırasında aktive olan motor lif sayısının azlığı nedeniyle görece daha az sayıdaki lifin daha büyük bir güçle kasılma zorunda kalması sorumlu tutulmaktadır[30,103,104]. İkinci hipotezde ise egzentrik kasılmalar sırasında sarkomer boyundaki uzamanın kas hasarı oluşturduğu ileri sürülmektedir. Dinlenim sırasında birbirine komşu olan sarkomerlerlerin boylarının birbirine eşit olamayacağı düşünüldüğünde kasın maksimal izometrik gücünü aşan bir dirençle karşılaşması durumunda sarkomerlerin bazıları diğerlerine oranla daha fazla uzamak durumunda kalabilir. Bu durumda boyları uzun olan sarkomerlerin karşılaşacakları stres, sarkomer boyu daha kısa olan liflere oranla daha fazla olacaktır (Şekil 5). Bu gibi durumlarda bazı kas liflerinin tekrarlayan kontraksiyonlar sırasında mekanik olarak hasara uğrama olasılığı da artacaktır[19,20,21,23,30,32].

Yapılan çalışmalarda egzentrik kontraksiyonlar sonrası ortaya çıkan kas hasarının bütün kas liflerini eşit olarak etkilemediği, tip II fibrillerinin tip I fibrillerden daha fazla hasara uğradığını belirlenmiştir. Tip I liflerin M bantlarının tip II liflere oranla daha dayanıklı olduğu gösterilmiş olup, bu farklılığın lif tiplerinin dayanıklılığını etkileyebileceği ve buna bağlı olarak da hasarlanmaları arasında farklılıklara neden olabileceği ifade edilmektedir[30,105].

2.4.2. Kas Hasarının Kas Gerimine Etkisi

Sarkomer boyunun kas kasılması sırasında yaratılan gerimi doğrudan etkileyebildiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Özellikle aktin ve miyozin lifleri arasıdaki çapraz köprü sayısının kas kontraksiyon kuvvetini belirliyor olması, sarkomer boyunun kuvvet üzerindeki etkinliğini de belirlemektedir[25,53].

Warren ve arkadaşları egzentrik egzersiz sonrasında eksitasyon kontraksiyon eşleşmesinin bozulmasıyla, kasın aktif geriminin % 75 ya da daha fazla düştüğünü ve

birkaç gün süre ile düşük kaldığını bildirmişlerdir[106]. Yapılan çalışmalarda kasın aktif gerimindeki düşüşün yanı sıra kasın kasılma hızı ve izometrik kuvvetinin de benzer zaman aralığında düşük kaldığı gösterilmiştir[20,23,25,107,108]. Ayrıca egzentrik egzersizlerin ardından oluşan hasara bağlı olarak kontraktil proteinlerin etkinliğindeki azalmanın kas kompliasnsını etkileyerek kasın aktif gerimini olumsuz yönde etkileyebileceği belirtilmektedir[25,107]. Bu mekanizmaya göre tekrarlayan egzentrik kontraksiyonlar sonucunda aşırı uzayan bazı sarkomerlerin yapısının bozulması, kasın kompliyansını arttırarak kas fibrilleri ile tendon ve kemikler arasındaki güç transferini olumsuz etkilemektedir. Kas kompliyasnındaki değişim beraberinde istirahat sarkomer boyunun değişmesine yol açabilir ve kontraksiyon sırasındaki kısalma hızının yavaşlamasına neden olur. Bu sürecin sonucunda da kasın kontraksiyonu sırasında yaratabileceği aktif gerim düşer[23,25,107,109] Egzentrik egzersizler sonrası ortaya çıkan bu değişiklikle ilgili sürecin zamana bağlı olarak değerlendirilmesinde ise egzersiz sonrası azalan aktif gerimin, 2-4 saat sonra yavaş artış gösterdiği tespit edilmiştir. Erken dönemde görülen bu toparlanmadan egzersiz sonrası ortaya çıkan metabolik dengesizliğin kısa sürede toparlanması sorumlu tutulmaktadır. Ancak sürecin uzun süreli takibinde aktif gerimin 24 saat sonra ikinci kez düştüğü, bunun ise kas içi ödem artışından ve bazı fibrillerin ölümünden kaynaklandığı ileri sürülmektedir[23,106]. Bu türlü egzersizler sonrası kuvvette görülen azalmanın kas hacmi ile ilişkili bulunması, kuvvet azalmasının hücre içi ödem nedeniyle olabileceğini düşündürmektedir[109].

İskelet kasının boyunun uzaması yapısında bulunan bağ dokusu öğeleri ile proteinlerin yanında, kan damarlarının boyunda yarattığı değişiklik kas geriminde bir artışın ortaya çıkmasına neden olur. Öte yandan kas iğciklerinden kalkan uyarılar kas geriminde dinamik bazı değişikliklerin ortaya çıkmasına yol açabilir. Bütün bu unsurlar bir arada değerlendirildiğinde, iskelet kasının kontraktil özellikleri, eklem hareket açıklığı ve kasın esnekliğini doğrudan etkilemektedir[101,107,108,110,]. Yapılan çalışmalarda iskelet kasının dinlenim geriminin kas kontraksiyonlarını etkileyen değişkenlerden bir tanesi olduğu gösterilmiştir[23,25,101,107,108,111,112]. Özellikle tekrarlayan egzentrik kontraksiyonlar sonrası

24-48 saatlik süre zarfında kasın istirahat geriminin giderek arttığı ve kasın egzersiz öncesi özelliklerini kazanması için 4 gün gibi bir süreye gerek olduğu tespit edilmiştir[25,101,107,108,111,112]. Egzentrik kas kasılmalarının diğer kasılma tiplerine oranla daha fazla kas hasarına yol düşünüldüğünde, oluşan hasarlı yapının kontraktür oluşturabileceği, sonrasında da meydana gelebilecek hücre içi ödem ile beraber dinlenim geriminde bir artışa neden olabileceğini söylemek mümkündür[23,25,101,107,108,111,112]. Kontraktür oluşumundan sorumlu olabilecek bir diğer değişiklik, kas hasarına bağlı olarak meydana gelen sarkoplazmik retikulum lezyonlarının miyoplazma Ca^{++} konsantrasyonunda artışa yol açabilmesidir. Hücre içi Ca^{++} artışı çapraz köprülerin aktivasyonuna yol açarak sarkomer boyunun kısalmasına neden olabilir[25,107,110]. Dinlenim durumundaki kas hücresinin boyunda meydana gelen değişimlerin kas gerimi üzerindeki etkisinin oranı olarak tanımlanan komplians, kas dokusunda oluşan hasarlanma yanında, hücre içi Ca^{++} konsantrasyonunda meydana gelen değişimden de doğrudan etkilenecektir. Kas hasarının sonucu olarak meydana gelen kontraktür, bir yandan dinlenim geriminde artmaya neden olurken, bir yandan da iskelet kasının kompliyansınının azalmasına neden olur[23,101,107,108,110].

Tekrarlayan egzentrik kontraksiyonların etkisiyle geçirgenliği bozulan hasarlı hücreden ekstraselüler aralığa 24-48 saatlik süre içerisinde hücre içi protein ve enzimlerin (başta CK) sızdığı gösterilmiştir[23,109,113]. İnterstisyel aralıkta plazma proteinlerinin konsantrasyonun artması yanında proteoglikan yapıda meydana gelen değişiklikler, hücre içi ile dışındaki kolloid ozmotik basıncın etkileyerek mikroyapının su dengesini bozulmasına, sonucunda da ödem oluşmasına neden olur. Kas dokusunda ortaya çıkan ödemin bağ doku üzerinde yaratacağı etki sonucunda kasın dinlenim gerimi artarken, kasın esneme yeteneği de olumsuz etkilenir[109,113]. Bazı araştırmacılar tarafından kas dokusunda meydana gelen gecikmiş iflamatuvar cevabın ödeme yol açtığını belirtmiş olmakla beraber, literatürde inflamatuvar sürecin etkinliğiyle ilgili kesin verilere ulaşılamamıştır [23,25,107,108,109,113,114,115].

2.4.3. Kas Hasarının Elastik Kuvvetine Etkisi

Egzentrik ve konsantrik kas kasılmaların ardışık olarak tekrarlandığı fiziksel aktivitelerin kaslarda hasar ve fonksiyon kaybına neden olduğu bilinmektedir[116]. Öte yandan bu tür hareketlerin önemli bir diğer özelliği, kasın elastik özelliklerinden kaynaklanan potansiyel enerjinin konsantrik kasılmalarda oluşturulacak kuvvetin belirlenmesinde katkısı olduğudur. Koşu esnasında bacağın yerle temasıyla başlayan iskelet kaslarının uzama fazında, koşu hızı aratması bacağın yere teması için geçen sürenin kısalmasına ve dolayısıyla da elastik güçlerle refleks arkından kaynaklanabilecek kuvvet kazanımının artmasına neden olmaktadır[33,34,35,63,65,68,69,70,71]. Ancak hızlanan bacağın zeminle ardışık teması sırasında oluşan egzentrik kasılma, devreye giren kas guruplarının hasarına, adım frekansının azalmasına, sonucunda da zemin ile temas süresinin uzamasına yol açar[33,116,117,118,119]. İskelet kaslarında meydana gelebilen yapısal harabiyet, kas performansını olumsuz etkileme yanında kasın elastik kuvvetinin de azalmasına yol açabilir[33,109]. Ardışık döngüsel hareketlerde ortaya çıkan performans kaybının günlerle ifade edilen süre içinde devam etmesinden kas hasarına bağlı olarak gerim refleksi duyarlılığının azalması ve kasın elastik enerjisini kullanamamasının etken olduğu belirtilmektedir. Kas hasarının sarkomerin pasif gerimini sağlayan nebulin, desmin ve titin gibi yapısal elemanları etkilenmesine bağlı olarak hem ekstrafüzal hem de intrafüzal kas liflerinin kompliyansı bozulur. İskelet kasında meydana gelen hasarlanmaya bağlı olarak, kasın elastik elamanlarının gerilme yeteneği bozulur ve sonucunda da hareketin egzentrik fazında elastik gerilme enerjinin depolanmasında bir potansiyel kaybı ortaya çıkabilir. Ayrıca kas kompliyansının bozulması, gerim refleksinden sorumlu olan kas iğciklerini duyarsızlaştırırken, tip Ia afferent sinyallerin frekansında da bir azalmaya yol açabilir. Kasın metabolik yorgunluğu yanında hasarlanması ilgili reseptör gurubundan kaynaklanan tip III ve VI afferent sinyalleri artırırken, α-motor havuzunda ortaya çıkan presinaptik inhibisyon, hareketlerin yüksek hızda ve kuvvette yapılmasını engeller[33,117,188,119,120,121].

2.4.4. Kas Hasarının Değerlendirilmesi

Kas hasarının tespiti ve değerlendirilmesini doğrudan ve dolaylı yöntemlerle yapmak mümkündür. İskelet kasından alınan biyopsilerin analizi ve/veya manyetik rezonans görüntüleme tekniği (MRI) ile yapılan incelemeler doğrudan değerlendirme başlığı altında tartışılır. Buna karşın kasa ait özel enzim ve proteinlerin kandaki düzeylerinin belirlenmesi yanında istemli maksimum kasılma kuvveti, esneklik, sürat gibi performans ölçümleri dolaylı olarak yapılan değerlendirmelerin temel başlıklarını oluşturur[18,19,20,101,122,123].

2.4.4.1. İskelet Kas Biyopsisi ve Manyetik Rezonans Görüntüleme Tekniği (MRI)

İskelet kası biyopsisi ile analizi yapılan kas dokusuna ait bilgiler kullanılarak kasın tamamı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Biyopsi parçasına ait verilerin kasın bütünü hakkında sınırlı bilgi verme potansiyelinin bulunması nedeniyle, bu yöntemle yapılan değerlendirmelerde önemli bir eksikliğin olabileceği kabul edilmektedir. Biyopsi tekniklerin yanında dokunan alınan kesitlerin tipleri sonuçları etkileyebilmektedir. Öte yandan görüntüleme tekniğiyle de iskelet kasının tamamındaki hasarı doğrudan tespit etmek mümkün olabilmektedir (Şekil 8). Ancak bu yöntemin pahalı ve konusunda uzmanlaşmış insan gücüne duyulan gereksinim göstermesi pratik kullanımında uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır[122,123].

2.4.4.2. Kandaki Kas Enzim ve Proteinlerin Değerlendirilmesi

Normalde sarkolemmeyı geçemeyecek kadar büyük olan moleküler, hücre zarındaki hasarlanma sonrası hücre dışına çıkarak plazma konsantrasyonun artmasına neden olur. Bu özelliği nedeniyle söz konusu maddelerin konsantrasyonunda meydana gelen artış, doku hasarıyla orantılıdır. İskelet kası hasarını değerlendirmesi amacıyla **kreatin kinaz** (CK), **laktat dehidrogenaz** (LDH) ve **karbonik anhidraz izoenzim II** gibi enzimlerin yanında **miyoglobin**, **troponin** ve **miyozin ağır zinciri** gibi proteinlerin serum konsantrasyonlarındaki değişikliler irdelenmektedir. Ancak bunlar içinde en belirgin artışın CK'a ait olması nedeniyle, pek çok çalışmada kas hasarını

değerlendirmek amacıyla bu enzimin konsantrasyonundaki değişiklikler referans olarak kullanılmaktadır [122,125,126,127].

Kreatin fosfat molekülünü katalize ederek ATP'nin sentezlanmesini sağlayan CK'ın, bulunduğu dokulara göre **CK-MM** (iskelet kası), **CK-MB** (miyokard), **CK-BB** (beyin) üç farklı izo formu bulunmaktadır. İskelet kasındaki CK aktivitesinin %99'unu CK-MM izoenzimi oluşturur. Egzersiz sonrası ortaya çıkan kas hasarlanmasında kan CK düzeyinin bireyin ırk, cinsiyet, yaş, egzersiz tipi ve form durumuna bağlı olarak arttığı bilinmektedir. Kandan temizlenme hızı kişinin lenf akımına ve hasarın şiddetine göre değişkenlik gösterir. Egzersizi izleyen 24 saatlik sürenin sonunda en yüksek değerine ulaşan CK konsantrasyonu, 48 saatte düşmeye başlar ve 72 saat sonra egzersizden önceki bazal seviyesine geri döner[125,126,127,128,129,130,131]. Kesin olarak gösterilmemiş olmakla beraber kas hücrelerinin enzimlere ait geçirgenliğinin bireyler arası farklılık göstermesi, egzersiz sonrası elde edilen CK seviyeleri arasındaki değişikliklerin açıklayıcısı olarabilir[19,132]. Vücut kitle indeksi, kas lifi tipi ve kas kitlesi gibi unsurların CK seviyesi üzerinde belirleyici olabileceği de çalışma konularından bir tanesini oluşturmaktadır[130,133,134]. Öte yandan tip II kas liflerinde meydana gelen kas hasarının tip I liflerine oranla daha fazla olduğunun gösterilmesi, CK artışının kişinin kas lifi dağılımıyla da ilgili olabileceğini düşündürmektedir[127].

İskelet kası harabiyetini değerlendirmede kullanılan bir diğer enzim de, anaerobik glikolizde pirüvatın laktata dönüşümünü katalize eden LDH'dır. Bulunduğu dokulara göre LDH1, LDH2 (miyokard, böbrek), LDH3 (akciğer, dalak, böbrek), LDH4, LDH5 (iskelet kası, karaciğer) ismini alan beş farklı izo formu bulunmaktadır[122,127,131]. Egzersiz sonrası ortaya çıkan kas hasarlanmasında serum LDH seviyesi en yüksek değerine ilk 6 saatte ulaşır ve egzersizden önceki bazal seviyesine 48-72 saat sonra geri döner[126,135,136].

2.4.4.3. Kas Kuvveti, Esnekliği ve Sürat Kaybı

Kas kuvveti, kas grubunun herhangi bir dirence karşı koyabilme veya dayanabilme yeteneği olarak tanımlanır[5]. Kas hasarına sebep olan egzersizlerden sonra kuvvet kaybının tespit edilmesi, kas hasarının boyutu hakkında da bilgi

verebilir[21,23,122]. Konsantrik kasılmaların birkaç saat süre ile %10 - 30 arasında değişen kuvvet kaybına neden olabildiği gösterilmiştir. Ancak egzentrik kasılmalarda, konsantrik egzersizlerden farklı olarak, kuvvet kaybının %50-65'e kadar ulaşabildiği, toparlanmanın ise günlerle (7-14 gün) ifade edilen süreler içinde gerçekleştiği gösterilmiştir. İskelet kas hasarının daha belirgin olduğu bu türlü kasılmalar sonrasında kuvvette meydana gelen değişimlerin egzersizi izleyen 24 saatlik süre içinde irdelenmesi, kas hasarının önemli bir göstergesi olarak kabul edilebilir[18,19,20,21,22,25,32,99,101,102,106,107].

Esneklikteki artma bir kasın (veya kas grubunun) uzayabilmesi ya da bağlı olduğu eklemin (ya da eklem serisinin) hareket açıklığının artması olarak tanımlanabilir[5]. Kas hasarına sebep olan egzersizlerden sonra görülen enselik kaybının toparlaması, hasarın derecesine göre, bir hafta kadar süre alabilir. Eklem hareket açıklığını etkileyen etkenlerden birtanesi sarkomer boyunun uzunluğudur. Egzentrik egzersizler kasın dinlenim boyunun kısalmasına neden olur. Bu nedenle kasın esnekliği olumsuz yönde etkilerken, eklem hareket açısının da azalmasına yol açar. Yapılan çalışmalarda sarkomer boyunun günler sonra normale döndüğü gösterilmiştir[20,25,101,107,108,111,112,122].

Sportif aktiviteler sırasında bireyin hızı, kişinin kendisini bir yerden bir yere hareket ettirme ya da hareketleri uygulayabilme sürati olarak tanımlananır[1,5]. Bu yüzden kasın kontraksiyon hızını olumsuz yönde etkileyecek unsurlar, sporcunun sürat performansının da azalmasına neden olur. Ayrıca kasın elastik yapısı yanında gevşeyebilme yeteneğindeki olumsuzluklar da fiziksel aktivitenin süratini azaltmaktadır. Kas hasarına sebep olan egzersizler kas kuvveti ve esneklik yanında süratinde de, kas hasarının derecesine bağlı olarak günlerle ifade edilen sürelerde performans kaybının ortaya çıkmasına yol açabilir[18,19,20,21,22]. Kasılma hızı yavaşlatan ana unsurun kas hasarı sonucunda eksitasyon kontraksiyon eşleşmesinin bozulması olduğu düşünülmektedir[19,20,23,24,25,]. Yapısal farklılıklarından dolayı hızlı kasılan kas liflerinin daha fazla hasarlandığı, dolayısıyla da bu kas liflerinde hız kaybının daha belirgin olduğu gösterilmiştir[30,105]. Öte yandan iskelet kasının hasarlanması, hem hızın

ortaya çıkmasında katkısı olduğu düşünülen elastik kuvveti azaltmakta hem de kasın refleks uyarımını olumsuz etkilemektedir[117,118,119,120,121]. Bir eklemin ekseni etrafında gerçekleştirilen hareketin hızını belirleyen bir diğer unsur da harekete katılan agonist ve antagonist kasların çalışmasındaki senkronizasyondur. Mekanik hasar sonucunda kasın dinlenim tonusun artması yanında esnekliğinin azalması, harekete katılan antagonist kasın gevşeme yeteneğinin bozulmasına, dolayısıyla da agonist kasın kasılma hızının azalmasına yol açabilir. Yapılan çalışmalarda sürat ile kas esnekliği arasında yakın bir ilişki olduğunu gösterilmiştir[59].

2.4.5. Gecikmiş Kas Ağrısı

İskelet kaslarının kapasitesini zorlayan hız ve yoğunluktaki yüklemeler, fiziksel etkinliği izleyen 24 saatlik süre içinde kaslarda yaygın ağrı hissinin ortaya çıkmasına neden olur. Geç dönemde başlayan bu ağrı türü, **gecikmiş kas ağrısı** olarak adlandırılır. Ağrılı bir kas gurubunda fiziksel aktiviteye devam edebilmesi, kas ağrısındaki artış yanında, dokunmaya karşı hassasiyet ve sertliğe neden olur. Bu semptomların süresi bir haftaya kadar uzayabilir. Gecikmiş kas ağrısının; kaslardaki ağrı reseptörlerinin kas spazmı, kas ve bağ doku hasarı ve/veya inflamasyonun sonrası uyarılmasına bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir[101,105,114,137].

2.5. Egzersiz ve Stres

Vücudun ağır egzersiz sırasında karşılaştığı stres, homeostatik koşulları tehdit eden stres unsurları arasında belki de en belirgin olandır. Çok yüksek ateşte baş etmeye çalışan bir kişinin vücut metabolizma hızı dinlenim koşullarına göre yaklaşık 2 misli artmışken, maraton yarışında metabolizma hızındaki artışın 20 kat artmış olabileceği bilinmektedir. Metabolizmada meydana gelen değişikliklerin yarattığı stresin ve beraberinde vücudun bu stresin üstesinden gelebilmek için vereceği adaptif yanıtın değerlendirilmesi, spor bilimleri ile uğraşan araştırmacıların yanıt aradıkları en temel sorulardan bir tanesidir[53]. Ağır egzersizler sırasında vücut, olası iskelet kas hasarını onarmanın yanında artan enerji ve oksijen gereksinimini karşılamak, enerji depolarının kullanımını artırmak gibi streslerin bütünü ile baş etme uğraşısı verir[3,5,6].

1952'de Kanadalı fizyolog Selye; uyaranlara karşı organizmanın verdiği yanıtı "stres" olarak tarif etmiştir[138]. Bazı araştırmacılar, Selye'nin üç başlık altında topladığı "stres teorisini" antrenmana uyarlayarak, vücudun egzersize uyum evrelerini kuramsallaştırmaya çalışmışlardır[5,6,12].

1. Alarm reaksiyon evresi; stres sonucu homeostaziste meydana gelen bozulma ve koşulların yeniden dengeye getirilme sürecini kapsar. Egzersizin süresine ve şiddetine bağlı olarak solunum, dolaşım, metabolizma hızında fizyolojik olarak kabul edilebilecek bir artış meydana gelir. Ezersizin vücutta yarattığı strese bağlı olarak, hipotalamus-hipofiz aksının etkinleşmesi sağlanırken ve sempatik sinir sistemi de uyarılır.

2. Direnç evresi; vücudun strese uygun bir yanıt verebilmesini sağlayacak uyum sürecinin bütününü kapsar. Bu evrede egzersizin ardından yapılacak yeterli dinlenme ile vücudun homeostatik denge koşullarının yeniden oluşturulması yanında, egzersize uyum gösterilebilmesini de sağlanır. Egzersizi izleyen akut dönemde ortaya çıkan yanıt çoğu kez anabolizma hızının artmasıdır. Bu evrede birey fiziksel etkinliğe devam etmesine karşın vücudu buna uyum gösterebilme yeteneğini gösterebilmektedir. Egzersizin zorluğu yanında vücudun uyum gösterebilme yeteneği ve enerji kapasitesi, sporcunun bu evrede yaratılan stresle baş edebilmesinin temel belirleyicisidir.

3. Tükenme evre ise kronik strese bağlı olarak vücudun uyum gösterememesi ve sonucunda da genel bir bitkinlik halinin oluşması olarak tanımlanmaktadır. Egzersizin yarattığı stresin artarak devam etmesi ve dinlenme için yeterli sürenin verilmemesi durumunda vücutta uyum için gereken tepkimelerin bütünü ortaya çıkamaz. Görülen en temel değişikliklerden bir tanesi bazal adrenokortikotrofik hormonun (ACTH) salınımının yaklaşık 20 kat artmasıdır. Fiziksel aktivite sırasında yaratılan stres ile toparlanma arasındaki dengesizlik, sporcularda uzun süreli performans kaybı ile karakterize aşırıya varma (overreach) veya sürantrene tablolarının ortaya çıkmasına neden olur. Vücudun yapılan yüklemelere uyum sağlayamaması ve stresin süreklilik göstermesi, kronik dönemde kompansatuvar mekanizmalarında yetersiz kalmasına yol açarak kronik performans kaybı olarak da bilinen sürantrenman sendromunu oluşturur.

Bu sporcularda immün sistemin baskılanması yanında sistemik bazı sorunlar ortaya çıkabilir[5,6,138].

Herhangi bir stresin tetiklediği uyum sürecinde hipotalamus (CRH) - hipofiz (ACTH) ve adrenal korteks (kortizol) aksı ile sempatik sinir sisteminin etkilendiği belirtilmektedir. Stresin santral sinir sistemi tarafından algılanması hipotalamustan kortikotropin salgılatıcı hormon (CRH) salgılayan nöronların yanında adrenerjik nöronları aktive eder. CRH ön hipofizden adrenokortikotrofik hormonun (ACTH) salınımını uyarır ve bunu izleyen dakikalar içerisinde adrenal korteksten kortizol sekresyonu artarak plazma kortizol seviyesi yükselir. Sempatik sinir sisteminin etkinliğindeki artış, adrenal medulladan epinefrin ve norepinefrin salınımı artırır. Plazma kortizol ve katekolamin miktarındaki artış, lipoliz ve glukoneogenez gibi farklı metabolik yolakları etkineleştirerek, glukoz konsantrasyonun yükselmesine neden olur. Katekolaminlerin bir diğer önemli etkisi kan basıncı ve kalp debisini yükseltmesidir[53,54].

Stres hormonlarının konsantrayonlarında meydana gelen akut değişiklikler farklı organ sistemlerini etkileyerek vücudun anlık ihtiyacı ile uyumlu değişikliklerin ortaya çıkmasına neden olur. Ancak uzun süreli stres durumlarında, stres hormonlarının fizyolojik yanıtında değişiklikler meydana gelir ve aşırı kortizol salınımı kronik dönemde immun sistemin baskılanmasına neden olur[53,54].

2.5.1. Kortizol

Sürrenal korteksinden salınan kortizolün salgılanma hızı, konsantrasyonu hipotalamus-hipofiz aksı tarafından kontrol edilen ACTH tarafından düzenlenir. Plazmada kortizolün %90-95'i proteinlere (transkortin, albumin) bağlı olarak, geriye kalan % 5-10'u ise serbest olarak taşınır. Plazma yarı ömrü 70 dakika olan kortizolün metabolik atılım hızı 200 mlt/gündür. Plazmada serbest dolaşan kortizol böbreklerden filtre edilerek atılır ve bu yolla günlük salgısının sadece % 0,3'ü uzaklaştırılır. Surrenal korteksi ACTH salgısına, 15-30 dakika içersinde yanıt verir. Günlük hayatta salınması sirkadien bir ritim takip eden kortizol en yüksek plazma seviyesine uyanmadan yaklaşık bir saat önce (20 mg/dl) ulaşır. Öte yandan gün içi konsantrasyonu giderek azalır ve en düşük seviyesine ise yavaş uykuya girdikten hemen sonra (5mg/dl) gelir. Bu nedenle

plazma kortizol düzeyleriyle ilgili değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalarda örnek alma saatinin kesinlikle göz önünde bulundurulması gerekir[53,54].

Kortizolün karbonhidrat metabolizmasını da düzenleyen en önemli etkisi, karaciğerde glukoneogenezi uyarıyor olmasıdır. Bu anlamda başta kas dokusu olmak üzere karaciğer dışı dokulardan amino asitlerin mobilizasyonunu uyarıcı etki yapar. Epinefrin ve glukagon gibi glikolitik hormonlar üzerindeki etkisi sayesinde glikozun mobilizasyonuna da olanak tanır. Kortizol aynı zamanda, özellikle iskelet kas dokusunda glikoz kullanım hızını orta derecede azaltır. Glikoneojenez hızının artması ve hücrelerde glikoz kullanım hızında ılımlı azalma, sonucunda kan glikoz konsantrasyonunda artışa neden olur. Kortizol bir diğer etksi de yağ dokusundan yağ asitlerinin mobilizasyonunu hızlandırarak plazma serbest yağ asitlerinin konsantrasyonunu artırmasıdır. Dolayısıyla yağ asitlerinin enerji elde edilmesini sağlayacak metabolik tepkimelere katılabilmesi için gereken ön koşululardan bir tanesi de sağlanmış olur. Kortizol metabolizma açısından önemli bir diğer etkisi karaciğer dışı organlara amino asit taşınmasını baskılamasıdır. Hücresel düzeyde amino asit alınmasıyla ilgili bu etkinin sonucu olarak hücre içi amino asit konsantrasyonu ile beraber protein sentezi de azalır. Karaciğer dokusundaki glukoneogenetik tepkimelerin devamı için gerekli olan amino asit ise özellikle kas dokusunda proteinlerin katabolizması ile sağlanır ve amino asitlerin hücre dışına difüze olması plazma amino asit konsantrasyonunu artırır[53,54,56].

Kortizolün doğrudan etkilediği bir diğer sistem ise immun yanıtla ilişkili hücre gurupları üzerinedir. Kortizol prostaglinler, lökotrienler, tromoksanlar, nitrik oksit gibi inflamasyondan sorumlu mediatörlerinin hasarlı dokulardan salınımını inhibe ederek antienflamatuar etki gösterir. Bu sayede lökositlerin inflamasyon alanına göçünü ve harap olmuş hücrelerin fagositozunu azaltır. Lizozomal membranları stabilize ederek proteolitik enzimlerin salgılanmasını önlerken, kapiller permeabiliteyi de olumsuz etkiler. Kortizol timus kaynaklı lenfositlerin çoğalmasını ve lenfokinlerin üretimini azaltarak immün sistemi baskılar[53,54,56].

2.5.2 Egzersizin Kortizol Salınımına Etkisi

Egzersizde kortizol salınım hızı fizyolojik stresin bir göstergesi olarak kabul edilmekle beraber, yapılan çalışmalarda verilen yanıtın bireysel farklılıklar gösterdiği ortaya konmuştur. Cinsiyet, yaş, duygulanım, antrenman durumu gibi değişkenler kortizol salınımını etkileyen unsurlardan bazılarıdır[139]. Plazma kortizol düzeyi ile egzersiz arasındaki ilişkinin irdelendiği çalışmalarda, en önemli belirleyicinin egzersiz süresi olduğu gösterilmiştir. Nitekim plazma kortizol düzeyinin uzun süreli egzersizlerde arttığı, buna karşın kısa süreli egzersizlerde plazma düzeyinin değişmediği ya da çok az değiştiği belirlenmiştir[140]. Egzersiz şiddetinin önemine yönelik araştırmaların yapıldığı çalışmalarda ise plazma kortizol konsantrasyonun, VO2max' nın %60'ı ve üzerinde yapılan egzersizlerden sonra anlamlı bir artış gösterdiği belirtilmiştir[141,142].

Ağır egzersiz sonrası fizyolojik bir yanıt olarak kabul edilen plazma kortizol konsantrasyonundaki artış, dinlenme döneminde bazal seviyesine geri döner. Ancak vücudun toparlanmasına izin verilmeden yapılan uzun süreli antrenmanlar, bazal kortizol seviyesinde yükselmelere ve uzun süreli yüksek kortizol konsantrasyonunun yol açabildiği olumsuz etkilerinin ortaya çıkmasına yol açabilir. Kortizolün immün sistemi baskılayıcı etkisi enfeksiyonlara eğilimi artırırken, iskelet kas dokusunda ki katabolik etkileri sportif performansı azaltma yanında sakatlıkların da daha kolay ortaya çıkmasına neden olabilir[143]. Yapılan çalışmalarda kortizolün rejenerasyon sürecinde etkin olan uydu hücrelerin aktivasyonunu sağlayan IGF-1'i baskılandığı gösterilmiştir[144]. Nitekim yüksek şiddetteki ağır egzersizlerden sonra görülen plazma kortizol seviyesi artışı kas rejenerasyonunu da olumsuz yönde etkileyebilir[143,145]. Buna ek olarak sporcunun motivasyonunu da olumsuz etkileyebilecek duygulanım değişiklikleri, organ sistemleri üzerindeki etki ile birleştiğinde, sürantrene tablosunun ortaya çıkması için gereken koşulların yaratılmasına olanak sağlar. Konuyla ilgili çalışmaların bütününün bir arada değerlendirilmesinden sonra, sporcuların psikolojik durumları ile plazma kortizol seviyelerinin eş zamanlı olarak tespit edilmesinin antrenmana uyum yanında sürantrene tablosunun da belirleyicileri olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Antrenmana uyum göstermiş sporcularda yapılan çalışmalarda, bazal plazma kortizol seviyesinin düştüğü,

egzersizi izleyen dönemde plazma kortizol seviyesinde görülen artışın bazal seviyeye dönüşünün daha çabuk olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle antrenmana uyum sağlamış sporcularda plazma kortizol seviyesinin, metabolik ve immun yanıtın engelleyecek seviyelere kadar çıkmayacağı bildirilmektedir[6,143,144,145].

2.6. Egzersiz ve İnflamasyon

Egzersiz sonrası kas dokusunda meydana gelen mikrotravmaların orta derecede inflamasyonu tetikleyebileceği bilinmektedir. Bu süreç sonrasında başlayacak özgün olmayan immun yanıt hasarlı ve/veya sağlıklı dokuyu herhangi bir ayrım gözetmeksizin ortadan kaldırarak kas hücrelerinin kendini onarması için ortam hazırlar[146]. Ancak dokunun kendisini toparlaması için gereken sürenin göz ardı edildiği ardışık yüklemeler bir yandan inflamatuvar sürecin uzamasına neden olurken, bir yandan de kronik yorgunluğa zemin hazırlayabilir[5,6].

2.6.1. İnflamatuvar Sitokinler

Sitokinler başta aktive olmuş lenfositler ve monositler olmak üzere bir çok hücreden salgılanan ve diğer hücrelerin fonksiyonlarının düzenlenmesinde rol oynayan polipeptid yapıda maddelerdir. Otokrin, parakrin ya da endokrin yolla etki ederek farklı hücre gruplarında bölünme ve farklılaşmayla ilgili sürecin düzenlenmesi, yara iyileşmesi, kemik formasyonu ve metabolizmanın düzenlenmesi gibi ana başlıklarda tartışılabilecek yanıtların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bütün bunlara ek olarak, sitokinlerin en temel etkilerinden bir tanesi de inflamasyonun düzenlemesidir[5,147,148,149].

Enflamasyonla ilgili araştırmalarda interlökin-1α/β (IL-1α/β), tümör nekrozis faktör-α/β (TNF-α/β), interlökin-6 (IL-6), interferon- α/β (IFN- α/β), interlökin-8 (IL-8) ve makrofaj inhibitör proteinin inflamatuar süreçte rol alan en önemli sitokin gurubunu oluşturduğu belirlenmiştir. Doku hasarlanması sonrasında sitokinlerin plazma konsantrasyonlarındaki artışın eş zamanlı olmadığı, özgün olmayan immun yanıtın başlangıcında ilk artış gösteren sitokinlerin TNF-α, IL-1 ve IL-6 olduğu tespit edilmiştir. Proinflamatuvar olarak da tanımlanan bu sitokinlerin sistemik akut faz

yanıtların ortaya çıkmasını ve akut faz proteinlerin sentezlenmesini sağladığı bilinmektedir[5,147,148,149].

2.6.2. Akut Faz Yanıtı

Enflamatuar sürecin başlangıcında organizmanın verdiği özgün olmayan ilk yanıta "**akut faz yanıtı**" adı verilir. Oluşan bu yanıtla organizma bir yandan enflamasyonu tetikleyen unsurlara karşı kendisini korumaya çalışırken, bir yandan da istenmeyen proteinlerin ortamdan uzaklaştırılması ile doku onarımını kolaylaştıran reaksiyonları hızlandıracak ortamın hazırlanmasını sağlamaya çalışır[150,151,152]. Bu evrede akut faz proteinleri (APP) olarak da isimlendirilen C-Reaktif proteini (CRP), serum amiloid A proteini (SAA) ve α1-asit glikoproteininin (AGP) plazma konsantrasyonu, bazal koşullara göre 2 ile 5 kat yükselir. Temelde antiinflamatuvar ve immünmodülatör özelliği olan bu moleküller nötrofil aktivasyonunu baskılar ve IL-1 antagonisti sekresyonunu arttırır[153,154].

Akut faz proteinlerinden olan CRP'nin en önemli etkisi fagozitozu aktive etmesidir. Bu özelliği sayesinde nekrotik dokunun temizlenmesinde etkin rol oynar. Organizmanın savunma sistemini etkinleştirme yanında akut faz sırasında ortaya çıkarabilecek doku yıkımının kontrol altına alınmasından da sorumludur. CRP doku hasarı ve inflamasyonu izleyen 4-6 saat içinde IL-1, IL-6 ve TNF-α etkisiyle karaciğerden salınmaya başlar ve maksimal plazma konsantrasyonuna yaklaşık 36 saat içinde ulaşır. Yarı ömrü 4-8 saat arasındadır. Plazma konsantrasyonu 3-8 mg/l olan CRP seviyesi, akut faz yanıtı sırasında 1000 kat kadar yükselebilir[153,154,155,156,157].

2.6.3. Egzersiz ve Sitokinler

Özellikle kas gruplarının izolasyonu sonrasında yaptırılan özel egzersiz modelitelerinde iskelet kaslarının da, sitokin salgılanmasından sorumlu pek çok hücreden tamamen bağımsız olarak, kontraksiyon süresine bağlı olarak bu maddeleri salgılayabilme özelliği olduğu gösterilmiştir. Salgılanan sitokinlerin immun düzenleyici etkileri yanında metabolizma ve davranış gibi farklı olası etkilerinin ortaya konması,

iskelet kaslarının hormon salgılayan bir doku olarak tanımlanmasına neden olmuş ve salgıladıkları maddeler ise miyokinler alt başlığında tartışılmaya başlamıştır[158,159,160].

Egzersiz sırasında meydana gelen sitokin artışını, enflamatuar süreçte ortaya çıkan sitokin artışından ayıran en önemli belirleyici, eflamatuar yanıtta TNF-α düzeyinin artış göstermesidir. Egzersize verilen yanıtta, egzersizin şekline ve yüklenme büyüklüğüne göre miktarı değişmekle birlikte, artış gösteren ilk sitokin IL-6 dır[158,160]. Maraton gibi uzun süreli zorlu egzersizlerden sonrasına plazma IL-6 seviyesinin yaklaşık 100 katlık bir artış gösterdiği, buna karşın TNF-α ve IL-1 seviyesinde önemli bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir[160,161,162]. Egzersiz sırasında IL-6 artışına neden olan etkenlerin değerlendirildiği çalışmalarda, en önemli belirleyicilerin egzersizin süresi ile egzersize katılan kas kütlesi olduğu gösterilmiştir[158,159,160,161,162,163,164,165,166].

Egzersizin neden olduğu kas hasarının, IL-6 cevabı için bir uyarı olduğu düşünülmektedir[161,163,164,167,168,169]. Öte yandan yapılan son araştırmalarda, egzentrik egzersiz yanında konsantrik egzersizlerde de iskelet kası IL-6 mRNA seviyesinde artış olduğu belirlenmesi, IL-6'nın kas hasarından bağımsız olarak kas enerji yolaklarında meydana gelen değişim sonucunda da salgılanabileceğini düşündürmüştür[167,170] Egzersiz sırasında kas tarafından yapılan IL-6'nın dolaşıma salınmasının glikoz ve lipid homeostazisini düzenleyici etkileri olduğu belirtilmektedir. Egzersiz süresince plazma glikoz seviyesinde değişiklik olmasala, düşük kas glikojeni içeriği ile ilişkili olarak kas IL-6 mRNA miktarı ile dolaşım IL-6 seviyesinde artış görülmüştür. IL-6'nın karaciğer dokusunda glukoneogenezi artırması, beraberinde de adipoz dokuda lipolizi hızlandırması, egzersiz sırasında kasın enerji gereksinimini sağlayan bir uyum yanıtının ortaya çıkması olarak da yorumlanabilir[163,164,167,171,172].

Konsantrik kas kasılmalarının baskın olduğu egzersiz uygulamalarında, dolaşım IL-6 konsantrasyonunun fiziksel aktivitenin başlaması ile beraber eksponansiyel olarak artmaya başladığı, en yüksek değerine egzersizin sonunda ulaştığı ve fiziksel aktivite sonrasında azalma eğilimine girdiği belirlenmiştir[164,170,171] Öte yandan egzentrik egzersizlerde ise dolaşım IL-6 seviyesindeki artışın görece daha geç dönemde ortaya

çıktığı ve egzersizi izleyen birkaç günlük süre zarfında yüksek kaldığı bildirilmiştir[164,165,167,171,173]. Araştırmalarda erken döneminde üretilen IL-6 kas kontraksiyonu ile ilişkilendirilirken, geç dönemde üretilen IL-6'nın ise kas hasarından kaynaklandığı belirtilmektedir. Nitekim IL-6'nın kas hasarı oluşturan egzersizler sonucu lezyonlu bölgeye göç eden monositler tarafından üretildiği bulunmuştur[165,167,173]. Egzersizin kas hasarı yaratmaması yanında artan stres hormonlarının (kortizol, epinefrin, norepinefrin) monositler tarafından sitokin üretimini baskılaması, erken dönemde monosit kaynaklı sitokinlerin fazla salgılanmamasının nedeni olarak kabul edilmektedir[168,174] Yapılan çalışmalarda dolaşım TNF-α ve IL-6 seviyesinin, kortizol ile paralellik gösterecek şekilde sirkadien bir ritmi olduğu tespit edilmiştir[175]. Öte yandan dolaşım kortizol seviyesindeki artışın TNF-α ve IL-6 seviyesini baskılayıcı etkisi olabileceği de bilinmektedir[168,174,175].

2.6.4. Sürantrenman Sendromu ve Sitokin İlişkisi

Bazı araştırmacılar fiziksel aktivite sonrası oluşan kas hasarı ve buna ikincil gelişen sistemik enflamasyonun sürantrenman sendromunun (OTS) ortaya çıkmasından sorumlu olduğunu ileri sürmektedir[5,6,7,12]. OTS'munun bütün bulguları ile plazma sitokin konsantrasyonlarında meydana gelen değişiklikler ile bir arada sitokin hipotezi başlığı altında tartışılmaktadır[5,6]. Bu hipoteze göre yüksek şiddet ve kapsamlı antrenmanlar arasında dinleme süresinin yetersizliği kaslarda ve eklemlerde doku hasarlanmasına neden olurken, başlangıçta lokal olan enflamasyon izleyen dönemde ise sistemik inflamasyonun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Buna karşın enflamasyonun doku düzeyinde sınırlanması ve yüklemeler arası dinlenmenin yeterince yapılması kas gelişimi açısından olumlu değişikliklerin ortaya çıkmasını sağlar. Sistemik enflamasyonun sonrasında plazmada konsantrasyonu artan sitokinlerin hedef dokularından bir tanesi de santral sinir sistemidir. OTS yaşayan sporcularda görülen psikolojik ve fizyolojik değişimlerin bu etkileşimin bir sonucu olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir. Sitokin konsantrasyonunu artıracak her türlü uyaranının merkezi sinir sistemini de etkileyebilecek olması, bu hipotezin esas dayanak noktasını oluşturmaktadır[5,6,176].

Yapılan çalışmalarda OTS yaşayan sporcuların plazma TNF-α, IL-1 ve IL-6 seviyelerinin normal sporculara oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir[6,176]. IL-1 ve IL-6'nın hipotalamusta bulunan reseptörlere bağlanması, hipotalamus-hipofiz aksını etkileyerek sempatik sinir sistemini aktive eder ve epinefrin, norepinefrin, kortizol gibi stres hormonlarının salgılanmasını arttırır[6,177]. Artan stres hormonlarının, OTS yaşayan sporcularda görülen depresyon, anksiyete, halsizlik, cinsel isteksizlik gibi psikolojik değişimlerin nedeni olduğu düşünülmektedir[6,177,178]. İştah kaybı ve beraberinde halsizlik ile uykusuzluk, düzensiz vücut sıcaklığı, susuzluk hissi kaybı gibi davranışsal değişikliklerin, IL-1 ve IL-6'nın hipotalamik çekirdekleri üzerindeki etkisinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir[6,140,177,178,179].

Beynin öğrenme, kavrama ve kısa süreli hafızada önemli bir merkezi olan hipokampal alanında, başta IL-1 reseptörleri olmak üzere bol miktarda farklı türde sitokin reseptörlerinin varlığı gösterilmiştir[6,140,177,178]. Sistemik inflamasyon sonucunda dikkat eksikliği, unutkanlık, koordinasyon kaybı, olayları kavrama ve öğrenme güçlüğü gibi bulguların görülmesi, sitokin artışı ile beraber seyreden OTS semdromunda, artan sitokinlerin SSS üzerindeki etkisinden kaynaklandığını düşündürmektedir[6,177]. OTS'da hipotalamus hipofiz gonadal aks üzerindeki etkisi sonucunda üreme fonksiyonlarının baskılandığı ve testesteronda azalma olduğu bildirilmektedir[6,180].

OTS yaşayan sporcularda görülen uykusuzluk, depresyon ve anksiyete semptomlarının SSS serotonin konsantrayonu ile doğrudan ilişkili olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar dolaşımdaki tiptofan konsantrayonunun azalmasının serotonin yapılımını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Egzersiz sonrası akut dönemde yapılan değerlendirmelerde tiptofanın dolaşımdaki seviyesinin arttığı, buna karşın OTS olan sporcularda sistemik enflamasyonun bir sonucu olarak azalma eğilimi gösterdiği bildirilmiştir[6,181].

OTS yaşayan sporcularda sistemik inflamasyon ve proinflamatuvar sitokinlerin doğrudan ya da dolaylı yolla iştahı baskılaması ve hatta anoreksiyaya yol açması, sporcunun kalori alımının azalmasına ve buna bağlı olarak da kas glikojen içeriğinde azalmaya neden olabileceği bildirilmektedir[6,27,177,180]. Ayrıca ardışık yüklemeler

sonrasında ortaya çıkan kas hasarının GLUT-4 proteinin hücre membranına ekspozisyonunu olumsuz etkileyebilmesi sonucunda, glikoz taşınımını düşürücü etki gösterebileceği ve sonucunda da hücre içi glikojen içeriğinin azalmasına yol açabileceği düşünülmektedir[6,27,28,29].

OTS olan sporcularda sistemik inflamasyonun katabolik etkileri sonucunda kan glutamin seviyesinin azaldığı tespit edilmiştir. Amino asitin seviyesinde görülen azalmanın, kalori alımındaki azalma nedeniyle glukoneogenetik sürece etkin katılması sonucunda olduğu düşünülmektedir[6,182]. Glutamin sistemik inflamasyonda artan akut faz proteinlerin en önemli prekürsörü olması açısından da ayrı bir öneme sahiptir. Yapılan çalışmalarda TNF-α ve IL-6'ının karaciğere glutamin ve alanin taşınımını uyardığı gösterilmiştir[6,183]. Öte yandan OTS olan sporcularda katabolik sürecin tetiklenmesine bağlı olarak kaslardan amino asit mobilizasyonunun artığı, protein sentezinin azaldığı ve sonucunda da yağsız vücut kitlesi kaybına neden olduğu bilinmektedir[6,182].

2.7. Kas Hasarı Sonrası Egzersize Uyum

Düzenli antrenmanların egzersizin sebep olduğu kas hasarıyla ortaya çıkan gecikmiş kas ağrı ya da hassasiyeti ile kuvvet ve eklem hareket açıklığı kaybı gibi bulguları azalttığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda yüksek dozdaki yüklemelerin uygun aralıklarla tekrarlanmasının, izleyen dönemde görece daha az hasar oluşturduğu bilinmektedir[12,21,22,23,103,184]. Genellikle hasarlı olan doku kendisini 48-72 saat içinde toparlar[16,57,65,185]. Antrenman biliminin esasını oluşturan bu temel bilgi göz önüne alındığında, uygun aralıklarla yapılan yüklemelerin **nöral**, **mekanik** ve **hücresel** başlıklarıyla tartışılan üç ayrı uyum mekanizmasını harekete geçireceği belirtilmektedir[18,66,103,110].

2.7.1. Nöral Uyum

Egzentrik egzersizlerde, konsantrik egzersizlere oranla daha az motor nöronun etkinleşmesi, fibril başına düşen yükün artmasına neden olur[30,103,104]. Ayrıca egzentrik egzersizlerde öncelikli olarak hızlı motor ünitelerin aktivitesinde artış olması, hızlı kasılan kas fibrillerin daha fazla hasar görmesine yol açar[103,186]. Yapılan çalışmalarda,

düzenli egzersizin bir sonucu olarak meydana gelen nöral adaptasyonun, etkinleşen motor lif sayısını arttırdığı göstermiştir. Uyum yanıtının bir sonucu olarak da fibril başına düşen yükün azaldığı ileri sürülmektedir. Nöral uyumun bir diğer bileşeni ise, kas aktivitesi sırasında uyarılan sinir liflerinin yavaş kasılan kas liflerinin senkron kontraksiyonlarını gerçekleştirecek yönde etkinlik kazanmasıdır[30,103,104,187]. Antrenmanlarla ortaya çıkan nöral uyumda santral sinir sistemi yerine periferik sinir sisteminde meydana gelen değişikliklerin daha belirgin etkisi olduğu belirtilmektedir[103].

2.7.2. Mekanik Uyum

Kasın iskelet yapısını oluşturan proteinlerin tekrarlayan egzersizler sırasında yaratılan strese uyum göstermesi sonucunda meydana gelen önemli değişikliklerden bir tanesi de, yüksek hızlardaki egzentrik kontraksiyonlara hasarlanma olmaksızın direnç göstrebilmesidir[62,63,64,65,66,67,188]. Yapılan çalışmalar kontraktil proteinlerin kasılması sırasında oluşturabilecekleri maksimum kuvvete ulaşma hızını belirleyen en temel değişkenin kas yapısında bulunan elastik kuvvetlerden kaynaklandığını düşündürmektedir[62,63,65]. Bu nedenle yüksek hızlarda yapılan hareketlerde, elastik özellikleri gelişmiş olan bir kas gurubu diğer kaslara göre daha avantajlı olarak kabul edilebilir[62,63,64,66,67,103,188]. İskelet kasının egzentrik kuvvetini artırmak amacıyla yapılan antrenmanlarda, kasın kitle ve kuvvetinde herhangi bir değişiklik oluşmaksızın, kasın elastik kuvvetiyle ilgili bileşenlerinin gelişmesiyle karakterize yapısal düzenlenmenin kasılma hızını etkileyebileceği gösterilmiştir[21,23,65,188]. Miyofibrillerin omurgasını oluşturan ve kasın elastik özelliğinden sorumlu olan desmin ve titin proteinlerinde meydana gelen değişikliklerin bu etkiden sorumlu olduğu düşünülmektedir[21,23,27,63,65,103,188,189]. Egzentrik kontraksiyonların neden olduğu miyofibril hasarında, öncelikle olarak etkilenen proteinin desmin olduğu belirtilmektedir. Nitekim bu türlü egzersizlerin sonrasında ortaya çıkan kas hasarının 3-7 gününde desmin proteininin artışına neden olduğu gösterilmiştir[103]. Kasın elastik özelliklerinden sorumlu olduğu düşünülen bu proteinlerin (desmin ve titin) aynı zamanda kas kontraksiyonunda dinamik rol oynadığı ve kasın güç üretme kapasitesine

de katkı sağladığı düşünülmektedir[24,63,65,70,103,188,189]. Antrenmanlar elastik protein içeriği artırılan kas guruplarında daha fazla elastik enerjinin depolanmasına neden olur. Belirtilen mekanik uyum süreci dış yükü daha fazla soğurarak iskelet kaslarının yaralanmalara karşı dirençli hale gelmesini sağlar[65,103,188].

2.7.3. Hücresel Uyum

Tekrarlayan egzentrik kotraksiyonlar kas fibrilinde, sarkolemmada, bazal laminada, bağ dokusunda ve kontraktil proteinlerde hasara neden olur[19,20,23,26,32,57,99]. Hasarlanmış olan bu dokunun ortamdan uzaklaştırılması rejenerasyon sürecinin sağlıklı işleyebilmesi için önemlidir. Hasarlanmış dokunun makrofajlar tarafından ortamdan uzaklaştırılmasıyla başlayan rejenerasyon süreci, sonrasında büyüme faktörlerinin ortamdaki konsantrasyonunun artması ve beraberinde uydu hücrelerin aktivasyonu ile devam eder[16,57,185,189,190]. Embrogenez sırasında etkinleşmeyen ve yetişkin hayatta miyofibrillerin bazal laminası ve sarkolemması arasında yerleşen sesiz uydu hücreler, normal koşullar altında inaktifdir. Miyojenik potansiyele sahip uydu hücreler, postnatal yaşamda kas gelişimi için gerekli olan sessiz hücre havuzu oluşturur. Kas büyümesine etki eden bazı hormon ve sitokinler, bu hücre havuzunu uyararak yeni kas yapısının sentezlenmesiyle ilgili rejeneratif sürecin başlatır. Bu anlamda uydu hücrelerin işlevini sadece hasarlı dokunun tamir mekanizmasıyla sınırlandırmanın doğru olmadığı, kas miyofibril sayısını arttırarak kas hipertrofisine de sebep olduğunu söylemek mümkündür. Öte yandan kas dokusunda meydana gelen gelişim, sadece kas yapısını oluşturan kontraktil proteinlerle de sınırlı değildir. Kas liflerini çevreleyen bazal membran ve ekstraselüler matriksinde bu gelişim sürecinde doğrudan etkilendiği gösterilmiştir[57,185,189,190].

2.7.3.1. Hücresel Uyumdan Sorumlu Hormon ve Sitokinler

Uyum sürecinde, egzersizin meydana getirdiği doku hasarının yanında mekanik değişiklikler sonrasında ortaya çıkan sinyallerin bütünü, farklı büyüme faktörlerinin salgılanmasını uyararak kasın yapı ve fonksiyonunu değiştirecek tepkimelerin başlamasına neden olur. Leukemia inhibitör faktör (LIF), hepatosit büyüme faktörü (HGF), IL-6, IL-15, fibroblast büyüme faktörü (FGF) ve insülin benzeri büyüme faktörü

(IGF-1) gibi sitokinlerin hasarlı miyofibrillerden ve çevreleyen dokudan salgılandığı ve kasın rejenerasyonun da görev aldığı gösterilmiştir[57,189,190].

2.7.3.2. İnsülin Benzeri Büyüme Faktörleri (IGF)

GH'nun metabolik etkilerine aracılık eden IGF'ler başta karaciğer olmak üzere, otokrin ve parakrin olarak etkiledikleri kas dokusu tarafından sentezlenirler. IGF'lerinin IGF-1 ve IGF-2 olmak üzere iki tipi olmakla beraber, en önemlisi **somatomedin C** adı da verilen IGF-1dir. IGF-1'in plazmada miktarı (300-600 ng/ml), GH konsantrasyonunda meydana gelen değişimlere karşı duyarlı olup, dinlenim durumunda önemli değişiklikler göstermeksizin stabil kalır. Plazma IGF-1 konsantrasyonunun özellikle puberte sürecinde artarak 16 yaşında en yüksek seviyesine ulaştığı, buna karşın yaşlı bireylerde %80 oranında azaldığı gösterilmiştir. Kanda proteinlerle taşınan IGF-1'in serbest tipinin yarılanma süresi 15-20 dakikadır[15,17,53,54,56,191].

IGF-1 iskelet ve kas dokusunda proteolizi inhibe ederek, protein sentezini artırıcı anabolizan etkiler gösterdiği belirtilmektedir. IGF-1'in miyoblast, osteoblast, oligodentrosit ve adipositler gibi hücrelerin farklılaşmasını sağlayan kuvvetli bir uyaran olduğu tespit edilmiştir. Hücrelere aminoasit ve glikoz taşınımını kolaytırma yanında glikojen ve trigliserit sentezini arttırıcı etkileri bulunmaktadır. IGF-1 aynı zamanda azot tutulumunu arttırmasına bağlı olarak pozitif azot dengesinin korunmasında önemli bir rolü vardır[8,15,54,56,192,193].

IGF-1 ile egzersiz arasındaki ilişki uzun yıllardan beri devam eden ve temelde kas gelişimin irdelendiği araştırmaların ana çalışma konularından bir tanesi olmuştur. Yapılan değerlendirmelerde özellikle kas hasarının belirgin olduğu tekrarlayan egzentrik kontraksiyonların IGF-1 sentezini arttırdığı belirlenmiştir[185,192]. IGF-1'in protein sentezini doğrudan arttırdığı, büyüme hormonundan bağımsız olarak uydu hücrelerin proliferasyonunu, farklılaşmasını ve miyotüplerin büyümesini stimüle ettiği gösterilmiştir[8,15,16,54,185,193,194,195]. IGF-1'in hücresel etkisi IGF-1 reseptörleri (IGF-IR) tarafından düzenlenir. IGF-IR kas üzerinde etkisi iki farklı mekanizma ile açıklanmaktadır. Bunlar mitojen aktiviteli protein kinaz (MAPK) ve fosfotidilinozitol 3-kinaz (PI3K) aktivasyonun gerçekleştiği tepkimeler bütününü kapsar. MAPK

aktivasyonu özellikle mitogenez için çok önemlidir. PI3K aktivasyonu ise, iskelet kasında miyoblastların fuzyonu, apoptozise direnç etkisi, protein ve glikoz alımına anabolik etkisi gibi olaylara aracılık eder[16,54,192].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

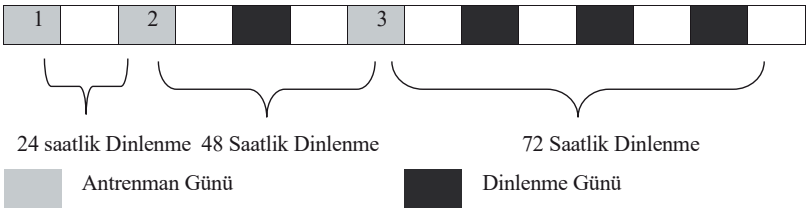
Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulunda okuyan, 20-31 yaş arası 15 gönüllü erkek sporcu ile çalışmaya, proje Çukurova Üniversitesi Etik Kurul'u tarafından onaylandıktan sonra başlanmıştır. Araştırmanın başlangıcında deneklere antrenman ve test düzeneklerini anlatan bilgi ve onam formu doldurtulmuş ve imzalı onayları alınmıştır.

Sporculardan araştırmanın standardizasyonunu sağlayabilmek amacıyla çalışmadan bir hafta önce dinlenmeleri istenmiş, çalışma süresince de deney kapsamında yaptırılan antrenman ve ölçümlerin dışında hiçbir fiziksel aktiviteye katılmamaları sağlanmıştır. Kendilerinden endikasyonu olmayan herhangi bir ilacı kullanmamaları, kullanmalarının kesin endikasyonunun ortaya çıktığı durumlarda da çalışma gurubunu mutlaka haberdar etmeleri istenmiştir. Özellikle araştırma amaçlı kan örneklerinin alınacağı zaman aralığında, en az iki gün öncesinden antiinflamatuar ilaç kullanımı kesinlikle durdurmaları sağlanmıştır. Çalışma döneminde deneklerde kan değerlerini etkileyebilecek herhangi bir hastalık gözlenmemiştir. Bütün antrenman ve ölçümler günün aynı saatlerinde (± 2 saat) yapılmıştır. Çalışmamızda antrenmanlar Çukurova Üniversitesi Sakıp Sabancı Spor ve Sergi Sarayı'nda, performans değerlendirmeleri ise Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Spor Fizyolojisi Bilim Dalı'ndaki Spor Fizyolojisi Laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deney Protokolü

Çalışmaya katılan sporculara 6 hafta süre ile giderek artan yüklemelerin yapıldığı bir antrenman programı uygulanmıştır. Bu sürecin ilk 5 haftalık döneminde sporculara çalışmanın son dönemi olan 6. haftada yapılacak yüklenme için istenilen form seviyesini kazandıracak uyum antrenmanı yaptırılmıştır. Sporcular yükleme öncesi 5 haftalık süre zarfında haftada 3 gün antrenman yaptırılmıştır. Bu antrenmanlardan bir tanesinden sonra

24, bir tanesinden sonra 48 ve bir tanesinden sonra da 72 saatlik dinlenme aralığı verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Haftalık antrenman günlerinin şematik gösterimi. Uygulanılan antrenman programında deneklere haftanın 1., 2. ve 4. günleri antrenman yaptırılmış ve geri kalan süre içersinde dinlendirilmiştir.

3.2. Ölçülen değişkenler

3.2.1. Maksimum Oksijen Alımı (VO_{2max} ml/dak)

Çalışmaya başlamadan yaklaşık bir hafta önce sporcuların VO_{2max} değerleri solunum havasına ait verilerin egzersiz sırasında değişimini irdeleyen kardiopulmoner egzersiz test bataryası kullanılarak tespit edilmiştir. Testten önce sporculara yapılacak olan ölçümler ayrıntılarıyla anlatılmış ve egzersiz sırasında uygulanacak test protokolü açıklanmıştır. Çalışma öncesi gaz ve hava hacim kalibrasyonu yapılan analizörün soluk hava ve içeriğini değerlendirecek örneklem bileşeni sporcunun yüzüne yerleştirilen özel bir maskeye bağlı tüp aracılığıyla alınmıştır. Test sırasında denekten ağızdan nefes alıp vermesi istenmiştir. Bu esnada göğüs duvarına yerleştirilen kalp atım hızını algılamaya duyarlı özel elektrot aracılığıyla da (Polar) egzersiz testi sırasında kalp atım hızında meydana gelen değişiklikleri kayda almak mümkün olmuştur. Test sırasında solunum havasında meydana gelen değişimler her bir soluk için ayrı ayrı ölçülmüştür. Buna karşın hesaplamalarda sporcuların beş saniyelik ortalama değerleri alınarak oluşturun yeni veri gurubu kullanılmıştır. Deneklerden % 5 eğimde 5 km/saat'lik koşu hızı ile egzersize başlamaları istenmiş ve izleyen düre zarfında koşu hızı dakikada 1 km/saat olacak

şekilde, sporcunun tükeninceye kadar koşturulması sağlanmıştır (Cosmed 150). Sporcuların test sırasında maksimal kalp atım hızına ulaşmaları, ekspire edilen CO_2 ile alınan O_2'nin anlık oranı olarak ifade edilen solunumsal quotient değerinin 1.10 veya daha yüksek değerleri çıkması ve egzersiz yoğunluğu artmasına karşın oksijen alımının $\leq$ 150 ml/dakikalık bir değerde kalması çalışmada sporcuların maksimal kapasitelerinde egzersiz yaptıklarının kriteri olarak kabul edilmiştir[196].

3.2.2. Kas Kuvveti Ölçümü

Sporcuların izometrik kas kuvvet ölçümleri NORM 6000 marka izokinetik dinamometrenin izometrik kas kuvvet ölçüm modülü kullanılarak dominant ekstremitelerde ölçülmüştür. Değerlendirme öncesinde sporculara yaklaşık 10 dakikalık ısınma egzersizi ve sonrasında ağırlıklı olarak alt ekstremite yapısını oluşturan kas guruplarına özel en az 5 dakika süreyle esneme-germe egzersizi yaptırılmıştır. Ölçüm öncesinde sporcular 90º oturur pozisyonda bel ve göğüs kemerleri ile koltuğa sabitlenmiştir. Sporcunun diz eklemi, kas kuvvetinin ölçümünün yapılabilmesi için uygun konuma getirilmiş, dinamometrenin ayarları kişinin bacak uzunluğuna göre düzenlenmiş ve sporcuların uygun postürü almaları sağlanmıştır. İzleyen aşamada bacak, ayak bileği üzerine yerleştirilen bir yastık aracılığıyla dinamometre koluna sabitlenmiştir. Diz ekleminin izometrik kas kuvvet ölçümü 60º'lik eklem açısında yapılmıştır. Sporculardan bu ölçüm sırasında bacak ekstansör kaslarını 5 saniye süreyle maksimal kuvvette kasmaları istenmiş. Ölçümler iki kez tekrarlanmış ve bu ölçümlerde ulaşılan en yüksek değer sporcunun maksimal izometrik kas kuvveti olarak kayda alınmıştır. Ardışık iki ölçüm arasında % 5'den daha fazla farkın olması durumunda ölçüm üçüncü kez tekrarlanmış ve elde edilen en yüksek değer maksimal kas kuvveti olarak kabul edilmiştir.

3.2.3. Esneklik Ölçümü

Sporcuların esneklik ölçümleri, otur-uzan testi için kullanılan standart test sehpası ile değerlendirilmiştir. Bu test başta bacak fileksör kasları olmak üzere gövde ekstensör kas gurubunun esneklik değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Esneklik ölçümü uzunluğu 35 cm, genişliği 45 cm ve yüksekliği 32 cm olan bir sehba

kullanılarak yapılmıştır. Sehbanın üst yüzey kenarlarının uzunluğu 55cm genişliği ise 45cm'dir. Ayrıca üst yüzeyinde, esneklik ölçümü amacıyla kullanılan 0-50cm'lik bir ölçüm cetveli ve cetvele dik bir şekilde yerleştirilmiş ileri geri kolayca hareket edebilen bir çubuk bulunmaktadır.

Ölçüm için sporculardan çıplak ayakla yere oturmaları ve ayak tabanlarını düz bir şekilde test sehbasına dayamaları istenmiştir. Ayak tabanlarının test sehbasına dayandığı kısım sehbanın üstünde yer alan ölçüm cetvelinde "sıfır" noktası olarak kabul edilmiştir. Daha sonra sporculardan dizlerini bükmeden gövdelerini (bel ve kalça) ileri doğru eğmeleri, eller vücudun önünde olacak şekilde, sehba üzerindeki çubuğu mümkün olan en uzak noktaya uzanarak itmeleri istenmiştir. Sporculara uzanabilecekleri en uzak noktada, öne ya da geriye esnemeden 1-2 saniye beklenmesi söylenmiştir. Çubuk itilirken iki kolun eşit uzunlukta olmasına ve dizlerin bükülü olmamasına dikkat edilmiştir. Esneklik sehpası üzerindeki cetvelde uzanılan en uzun mesafe santimetre cinsinden esneklik değeri olarak kaydedilmiştir. Test üç defa tekrarlanmış ve ulaşılabilen en yüksek değer esneklik ölçüm sonucu olarak değerlendirmeye alınmıştır.

3.2.4. 30m Sürat Ölçümü

Sporcuların maksimal sürat performansları, 30 metrelik düz bir parkurun başlangıç ve bitişi noktalarına yerleştirilen fotoselli kronometreler kullanılarak ölçülmüştür. Optik okuyucular arasındaki genişlik 3 metre olarak ayarlanmış olması sporcuların koşu sırasında herhangi bir engelle karşılaşmaksızın arasından rahatlıkla geçebileceği bir alan yaratılmıştır. Öte yandan fotosellerin sporcuların yaklaşık bel hizasına karşılık gelen 120 cm'lik bir hizaya yerleştirilmesi sonucunda sporcunun gövdesinin fotoseller arasından geçtiği anın net olarak tespit edilebilmesi mümkün olabilmiştir. Sporcuların 30 metrelik koşu performansı, saniye ve milisaniye cinsinden kaydedilmiş ve fotosellere bağlı bir elektronik cihaz tarafından anlık veri olarak kayda alınmıştır. Sporcuların koşu başlangıcı sırasında uygunsuz hareketlerinden kaynaklanabilecek olası yanlış ölçümlerin önüne geçebilmek için, başlangıç çizgisi fotosel sisteminden 1 metre daha uzağa çizilmiştir. Bu nedenle koşunun ilk 1

metresinde olabilecek aksaklıkların önüne geçilmesine çalışılmıştır. Bu hız ölçüm düzeneği hem antrenmanlarda hem de performans değerlendirmesinde sürekli olarak kullanılmıştır. Performans ölçümlerinde sporculardan en iyi 30 metre derecelerinin alınabilmesi amacıyla testi 3 defa tekrarlamaları istenmiş ve en iyi değer değerlendirmeye alınmıştır.

3.2.5. Kan Değişkenlerinin Ölçüm

Çalışma sırasında serum örneklerinden çalışılacak değişkenlerin değerlendirilebilmesi amacıyla sporcuların antecubital veninden programlanan zaman aralıklarında yaklaşık 10 ml kan örnekleri alınmıştır. Serum örneklerinden çalışılacak değişkenlerin değerlendirilmesi 5 dakika 3500 devirde santrifüjü yapılan örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Alınan kanın yaklaşık 5 ml'si santrifüje edilerek serumu ayrıldı ve serum IL-6, TNF-α ve IGF-1 ölçümleri için tüm örnekler toplanana kadar -20ºC'de derin dondurucuda saklandı. Serum IL-6, TNF-α ve IGF-1 düzeyleri "enzyme-linked immunosorbent assay" (ELISA) yöntemi ile (Medispec ETR 200) belirlendi. Ölçümler için, Biosource marka IL-6, TNF-α ELISA kit (Biosource Immunoassay kit, Biosource Internatiınal, Inc., California, USA) ve IGF-1 ELISA kit (KAPB2010; Biosource Europe S.A., Nivelles, Belgium) kullanıldı. Çalışmanın bu bölümü Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Pediatrik Hemotoloji Laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

Santrifüjü yapılan kanın geri kalan yaklaşık 5 ml'lik kısmından kortizol, CK, LDH ve CRP ölçümleri Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Merkez Laboratuarın'da gerçekleştirildi. Bu laboratuarda, serum kortizol düzeyi kemilüminesans yöntemi ile, serum (CK ve LDH) enzim aktiviteleri kalorimetrik yöntem ile Roche marka ticari kit kullanılarak, Roche elecsys E-170 cihazında ölçülmüştür. Serum CRP ölçümü ise**,** Dade Behring cihazı ve kiti kullanılarak nefelometrik yöntemle ölçüldü.

3.3. Antrenman Programı

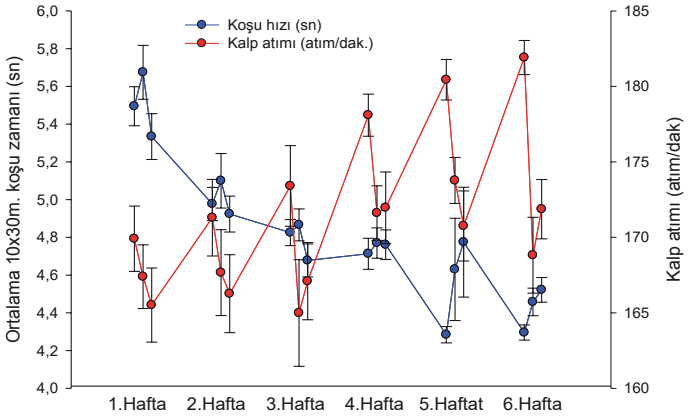
Çalışma süresince sporcularda gelişimi hedefleyen ardışık antrenman protokollerinin tümüne 10 dakikalık ısınma koşusu ile başlanmıştır. Bu esnada

sporcuların kalp atım sayısının 120-150 vuru/dakika aralığında olması amaçlanmıştır. İzleyen dönemde 10-15 dakika esneme ve germe hareketleri ile atletizme özel ısınması egzersizlerini yapmaları sağlanmıştır. Tüm antrenman süresince sporcuların kalp atım hızı Garmin 305 GPS cihazı kullanılarak takip edilmiş ve her sprint koşusunun sonundaki kalp atım hızları kaydedilmiştir.

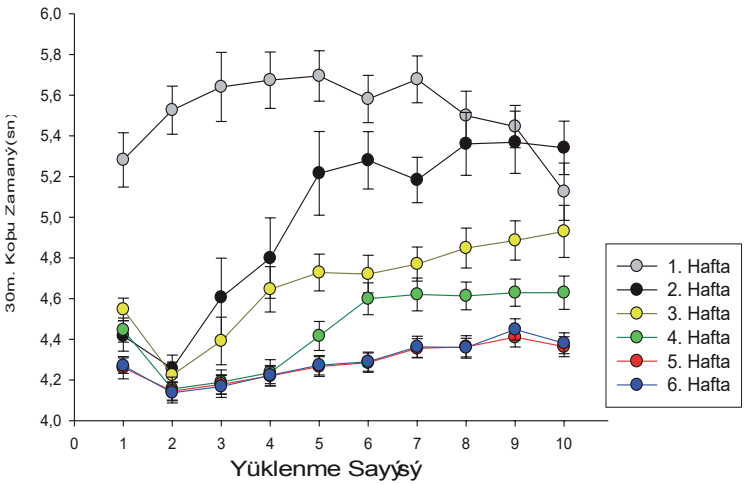
Antrenman koşu performansını artırmak ve ardışık yüklemeleri rahatlıkla değerlendirebilmek için basit bir düzeneğinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla özel beceriye etki yapabilecek unsurlardan bir tanesi olan ve sadece hız bileşeninin değerlendirilmesinin amaçlandığı 30 metrelik düz koşulardan oluşan temel bir egzersiz protokolü kullanılmıştır. Çalışmada setlerin kapsamı on tekrardan oluşan 30 m. sprint koşularından oluşturulmuştur (10x30m). Sporculardan 30 m'lik parkurun başlangıç çizgisinden bitiş çizgisine kadar sprint koşusu yapmaları istenmiş, daha sonra parkurun yanında hunilerle belirlenen bölgeden başlangıç çizgisine hafif tempo koşarak yeniden dönmeleri istenmiştir. Sporcuların sprint sonrası yeniden başlangıç noktasına dönmeleri 20-30 sn arasında değişen bir süreyi kapsamıştır. Başlangıç noktasına dönen sporcudan sprint koşusunu yeniden gerçekleştirmeleri istenmiş ve bu yüklemeler set içinde 10 kez tekrarlanmıştır. İkinci sete başlamadan önce sporculara setler arasında 5 dakikalık aktif dinlenme verilmiştir. Sprint performanslarının sürekli kayıt altına alınması sayesinde sporcuların anlık performansının değerlendirilmesi mümkün olmuş ve her efor sonrasında dereceleri hakkında bilgi verilen sporcuların performanslarını ayarlamaları sağlanmıştır. Bu sayede temposu düşük olan sporcunun hızlı, temposu yüksek olan sporcunun ise yavaşlatılması ile yüklemenin dozajı sürekli kontrol altında tutulmuştur. Sprint antrenmanları bittikten sonra günlük antrenman programı tamamlanmadan önce sporculara 5 dakikalık soğuma koşusu ve ardından da germe egzersizleri yaptırılmıştır. Sporcuların 30 m. koşu hızları ve tekrarlanan set sayısı, antrenman programına göre önceden belirlenmiş olup, ilerleyen haftalarda yüklemenin dozajı koşuların hızı ve set sayısı artırılarak ayarlanmıştır.

Altı haftalık antrenman programı süresince haftalık antrenmanların şiddeti deneklerin maksimal hızlarının yüzdesi, kapsamı ise set sayısı esas alınarak

düzenlemiştir. Antrenman şiddeti, antrenmanın her yüklenmesinde ölçülen sprint hızlarının ortalaması ile değerlendirilmiştir. Şekil 10'da haftalara göre yapılan antrenmanların şiddeti ve ortalama kalp atımı değişimleri görülmektedir. Antrenman programının ilk beş haftasında, yüklemelerin şiddeti bir önceki haftaya göre artırılmış ve bu sayede sporcuların yüklemelere adaptasyon sağlanmasına çalışılmıştır. Uyum dönemi olarak da tanımlanan 5 haftalık süre zarfında, her haftanın başındaki ilk antrenmanı yüklenme antrenmanı olarak kurgulanmış olup, bu çalışmada şiddet yüksek tutulmuş, buna karşın kapsamı düşük tutmak amacıyla tek set uygulama yapılmıştır (şekil 11). Antrenman sürecinde haftanın ikinci antrenmanı haftanın ilk antrenmana göre daha düşük şiddette ve sporcuların yorgunluk düzeyine göre esnek davranılarak tek set yapılmıştır. Haftanın son antrenmanı ise, dayanıklılık antrenmanı olarak kurgulanmış olup şiddet düşük tutulmuş, buna karşın kapsamı yüksek tutmak amacıyla iki set uygulama yapılmıştır. Beş haftalık adaptasyon antrenman döneminin ardından 6. haftada, haftanın ilk antrenmanı sınırsal yüklenme antrenmanı olarak kurgulanmış olup maksimal şiddette yapılmış ve yüklenme sayısı (kapsamı) sporcunun performansına bağlı olarak tükenip devam edemeyinceye kadar tekrarlanmıştır. 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanının ardından, antrenman kapsamı ve şiddeti adaptasyon antrenmanlarının aynısı olacak şekilde iki gün antrenman yapılmıştır.



Şekil 2. Altı hafta haftanın üç günü yapılan antrenmanların ilk setinde (10×30m), koşu zamanları ve kalp atımları ortalamalarıyla antrenman şiddetini gösteren grafik.

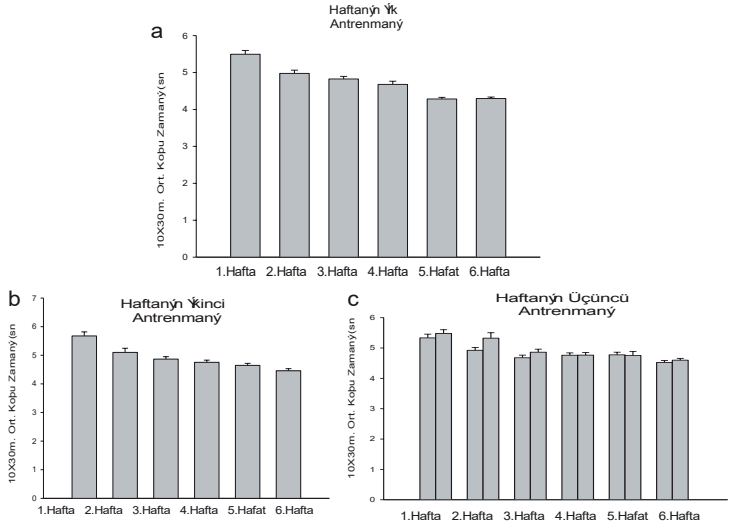


Şekil 3. Beş haftalık antrenman programında haftanın ilk günü yapılan yüklenme antrenmanlarında ve altıncı hafta sınırsal yüklenme antrenmanının ilk setinde, 10 sprint'in tek tek ortalama zamanlarını gösteren grafik.

3.3.1. Antrenmanın Şiddet ve Kapsamının Haftalara Göre Dağılımı

Çalışmanın başlangıcında sporcuların maksimal 30 metre derecelerinin alınmış olması her sporcu için özel % 100 yüklemenin hangi hıza karşılık geldiği tespit edilmiş ve kayda alınmıştır. Bu bilgi çalışmanın başlangıcından itibaren yapılacak yüklemeler için esas teşkil edeceğinden önemlidir. Genel programda haftanın birinci ve ikinci antrenmanında bir set, üçüncü antrenmanında ise iki setlik yüklemenin yapılması hedeflenmiştir (şekil 12).

Birinci hafta; Bu hafta içinde yaptırılan antrenmanların ana amacı sporcuların daha sonra yapacakları yoğun yüklemelere uyum sağlayabilmelerine imkan tanıyacak yüklemeleri gerçekleştirmektir. Bu dönem süresince yaptırılan üç antrenmanda da yüklenmelerin şiddeti, sporcuların maksimal kapasitelerinin %70-80'ninde yapılan sprintlere göre ayarlanmıştır. Haftanın ilk ve ikinci antrenmanı tek setlik, üçüncü antrenmanı ise iki setten olacak şekilde kurgulanmıştır.



Şekil 4: Altı hafta haftada üç gün yapılan antrenmanlarda 10×30m sprint zamanlarının ortalamaları. **a**; 5 haftanın ilk antrenmanında yapılan tek setin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanının ilk setinin, **b**; haftanın ikinci antrenmanında yapılan tek setin, **c**; haftanın üçüncü antrenmanında yapılan iki setin (2×10) sprint zamanları ortalamalarının gösterimi.

İkinci hafta; haftanın ilk antrenmanı olan yüklenme antrenmanında on tekrardan oluşan setin ilk iki sprint'i maksimal hızda, 3. ve 4. sprintleri maksimal hızın %80-90'nında, sonraki sprintler %70-80'ninde yapılmıştır. Sporculardan tek setten oluşan haftanın ikinci antrenmanında maksimal hızın %70-80'ninde, iki setten oluşan üçüncü antrenmanda ise maksimal hızın %80-90'nında koşmaları sağlanmıştır.

Üçüncü hafta, yüklenme antrenmanında ilk dört sprint maksimal hızda, sonraki sprintler maksimal hızın %80-90'nında tek set yapılmıştır. Haftanın ikinci antrenmanı maksimal hızın %70-80'ninde tek set, üçüncü antrenmanı maksimal hızın %80-90'nında iki set yapılmıştır.

Dördüncü hafta, yüklenme antrenmanında ilk beş sprint maksimal hızda, sonraki beş sprint maksimal hızın %90'nında tek set olarak yapılmıştır. Haftanın ikinci antrenmanı ve üçüncü antrenmanında set sayıları sırasıyla bir ve iki olarak belirlenmiş buna karşın yüklenmelerin şiddeti maksimal hızın %80-90'ında olarak kurgulanmıştır.

Beşinci hafta, yüklenme antrenmanında on tekrardan oluşan setin bütün sprintleri maksimal hızda yapılmıştır. Haftanın ikinci antrenmanı maksimal hızın %80-90'nında tek set, üçüncü antrenmanı ise maksimal hızın %80'ninde iki set yapılmıştır.

Altıncı hafta, haftanın ilk antrenmanı olan **sınırsal yüklenme** antrenmanında, sporcular maksimal hızlarında yapabilecekleri kadar çok sayıda sprint koşusu yapmışlardır. Burada set sayısına herhangi bir sınırlama getirilmediğinden sporculardan yüklemelere tamamen tükeninceye kadar devam etmesi istenmiştir. Bu antrenmanda 8 kişi 2 set, 1 kişi 3 set, 4 kişi 4 set ve 2 kişide 5 set yapmıştır (tablo 2). Haftanın ikinci antrenmanı maksimal hızın %80-90'nında tek set, üçüncü antrenmanı ise maksimal hızın %80'ninde iki set olarak yapılmıştır.

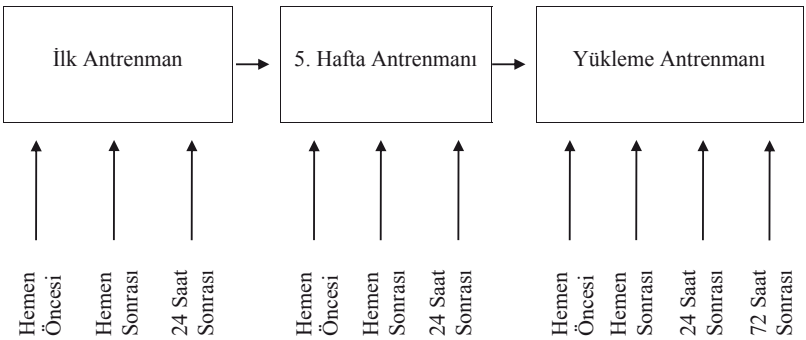
3.4. Sporcuların genel performans değerlendirmeleri

Sporcuların kas kuvveti ve esnekliği ile ilgili ölçümler sırasıyla izokinetik dinamomotre ile yapılan istemli izometrik bacak kuvveti (MVIC) ve otur uzan testiyle tespit edilmiştir. Buna karşın süratleri ise en iyi 30 metre derecesinin bulunmasıyla belirlenmiştir. Kuvvet ve esneklik ölçümleri tüm çalışma süreci boyunca her haftanın ilk antrenmanından hemen sonra yapılmış ve kronik etkiyi görebilmek için ise 24 saat sonra

tekrar edilmiştir. Ölçümler yüklenme antrenmanından 24 saat sonra yapılan haftanın 2. antrenmanından önce alınmıştır. Buna ek olarak 1., 5. ve 6. haftalarda antrenman sonrası ölçümlere ek olarak ilk antrenmandan önce yapılan kuvvet ve esneklik ölçümleri ile hafta başında yapılan yüklemenin akut ve kronik etkilerini değerlendirmek mümkün olabilmiştir. 30 m maksimal sürat ölçümleri ise hafta başında yapılan ilk antrenmandan önce ölçülmüş ve değerlendirme 24 saat sonra tekrarlanmıştır. Ancak kuvvet, esneklik ve süratteki toparlanmayı değerlendirmek için yapılan ölçümler bununla sınırlı kalmamış ve 6. haftada yapılan sınırsal yükleme antrenmanını takip eden 3., 5., 7. ve 9. günlerde çalışmaya katılan sporcuların performanslarındaki değişim irdelenmiştir. 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanından 24 saat ve 72 saat sonra alınan performans ölçümleri, bu günlere denk gelen haftanın 2. ve 3. antrenmanlarından önce alınmıştır.

3.5. Kan örneklerinin alınma zamanı

Antrenmanlara başlamadan önce alınan venöz kan örneklerinden dinlenim kreatin kinaz (CK), laktat dehidrogenaz (LDH), kortizol, IGF-1, tümör nekrotizan faktör-α (TNF-α), interlökin 6 (IL-6) ve C-Reaktif proteini (CRP) seviyesi ölçülmüştür. Antrenman sonrasında ise kan alımı venöz kan düzeyindeki artışların zamanlaması göz önüne alınarak farklılık göstermiştir (Şekil 13).



Şekil 5. Kan örneklerinin haftalık antrenmanlarda alınma zamanları.

CK, LDH ve CRP konsantrasyonlarının ölçümü için kan alımları antrenmanı izleyen 10 dakika ile 24. saatte yapılmıştır. Kortizol, IGF-1, TNF-α ve IL-6 konsantrasyonlarının ölçümü için kan alımları antrenmanı izleyen 10 dakikada yapılmıştır. Buna karşın kreatin kinaz, LDH ve CRP ölçümleri, altıncı hafta sınırsal yüklenme antrenmanından 72 saat sonrasında da tekrarlanmıştır. Kan örnekleri birinci haftanın yanında beşinci ve altıncı haftalarda alınarak antrenmanın etkisi değerlendirilmiştir. Bu örneklerden beşinci hafta içinde alınanından CK, LDH, CRP, kortizol, TNF-α ve IL-6 değerleri ölçülerek adaptasyon antrenmanının süreç içindeki etkisi irdelenmiştir. Antrenmanın şiddet ve kapsamının artırıldığı altıncı hafta antrenmanında, diğer haftalarla benzer şekilde çalışmanın önce ve sonrasında kan örnekleri alınmış ve devamında da örnek alımına 24 ve 72 saat sonrasında da devam edilmiştir.

3.6. İstatistiksel Analiz

Çalışmada sunulan verilerin tümü ortalama ± standart hata (SH) olarak verilmiştir. Antrenman öncesi ve sonrasına ait değerler arasındaki değişiklikler eşleştirilmiş (paired)-t testi ile karşılaştırılmıştır. Tekrarlayan ölçümler bağımlı gruplarda (repeated measures) tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilirken, farkların hangi ölçüm zamanlarından kaynaklandığının tespiti için Bonferroni düzeltmesi (correction) kullanılmıştır. Güven aralığı %95 olarak seçilmiş ve $p<0.05$ ile altındaki değerler istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. İstatistik hesaplamalarının tümü Windows için yazılmış olan SPSS 11.5 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Demografik Özellikler

Çalışmaya 20-31 yaş aralığında, boyları 177.5 ± 1.4 cm, vücut ağırlığı 72.23 ± 2 kg ve maksimum oksijen alımı 58.6 ± 1.3 ml/kg/dakika olan 15 sağlıklı erkek katılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışmaya katılan sporcuların demografik özellikleri

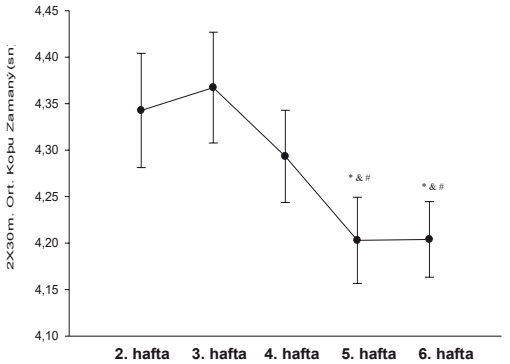
n=15	Ortalama ± SH
Yaş	24 ± 0.9
Boy	177.5 ± 1.4
Vücut Ağırlığı	72.23 ± 2
VO_{2max} (ml/kg/dak)	58.6 ± 1.3

4.2. Yüklenme Antrenmanlarının Şiddeti

4.2.1. Maksimal Sprintlerin Ortalama Zamanlarının Karşılaştırılması

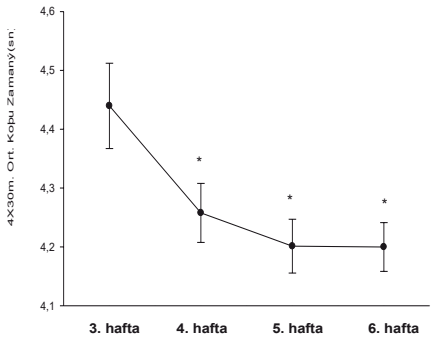
Performans gelişimini değerlendirmek için, antrenman programının kapsamı çerçevesinde her hafta başında yapılan yüklenme antrenmanlarında tekrar sayısı kademeli olarak arttırılan maksimal hızdaki 30 m sprint süreleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İlk haftada 10 tekrardan oluşan setin hiçbir yüklenmesi maksimal hızda yapılmadığı için değerlendirmeye katılmamıştır. Sporcular 2. hafta başında yapılan yüklenme antrenmanında 10 tekrardan oluşan setin sadece ilk iki sprint'ini maksimal hızda yaptığından, 2., 3., 4., 5. ve 6. haftalarda yapılan egzersizlerin tümünde ilk iki sprint'e ait ortalama zamanları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede ikinci haftada yapılan sprintlerin ortalama zamanı 4,34 ± 0,06 sn olarak bulunmuşken, 6. haftada yapılan yüklemelerde % 3,2'lık bir gelişimin olduğu, ortalama zamanın ise 4,2 ± 0,04 sn ye düştüğü tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Haftalar arasındaki performans değişiminin birbirleri ile karşılaştırıldığında 5. (4,2 ± 0,04 sn)ve

6. haftaların ilk iki sprint ortalama zamanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir. ($p > 0.05$). Benzer şekilde 2., 3., ve 4. haftalarda performansta anlamlı bir değişimin olmadığı görülmüştür. Buna karşın 5 ve 6. haftaya ait değerlerin tümü, diğer haftalara ait koşu hızlarından istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$) (Şekil 6).



Şekil 6. 2, 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında tek set yapılan 10 sprintin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setinin 1. ve 2. maksimal sprint zamanlarının ortalamaları. (* 2. haftaya, & 3. haftaya ve # 4. haftaya göre $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

Otuz metre sprint süreleri ardışık 4 maksimal yüklemenin yapıldığı 3. hafta antrenmanına ait değerlerin ardışık haftalarda yapılan ilk dört sprint zamanları ile karşılaştırılmasında, 3. haftaya ait ortama sprint zamanının (4,43 ± 0,07 sn) 4., 5. ve 6. haftalara ait ilk dört sprint ortalama zamanlarına (sırasıyla 4,25 ± 0,05 sn, 4,2 ± 0,04 sn, 4,19 ± 0,04 sn) göre anlamlı olarak daha düşük olduğu bulunmuş (4. hafta $p < 0.05$, 5. ve 6. hafta $p < 0.01$), öte yandan 4, 5 ve 6. haftalarda performans gelişiminin anlamlı değişiklik göstermediği tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (Şekil 7).



Şekil 7. 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında tek set yapılan10 sprintin ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setin, 1,2,3 ve 4. maksimal sprint zamanlarının ortalamaları. (* 3. haftaya göre 4. haftanın $p<0.05$, 5. ve 6.haftaların $p<0.01$ istatistiksel anlamlı farklılığını ifade etmektedir).

Sprint sayısının 5'e çıktığı 4 haftadaki yüklemenin ortalama zamanları (4,29 ± 0,05 sn) 5 ve 6. haftaların ilk 5 sprintine ait ortalama dereceleri ile karşılaştırıldığında (sırasıyla 4,21 ± 0,04 sn ve 4,21 ± 0,04 sn) performans artışının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p <0.05$). Buna karşın diğer sprint zamanlarının ortalamasına ait karşılaştırmaya benzer şekilde 5. ve 6. haftalarda gerçekleştirilmiş ilk 5 sprint ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$).

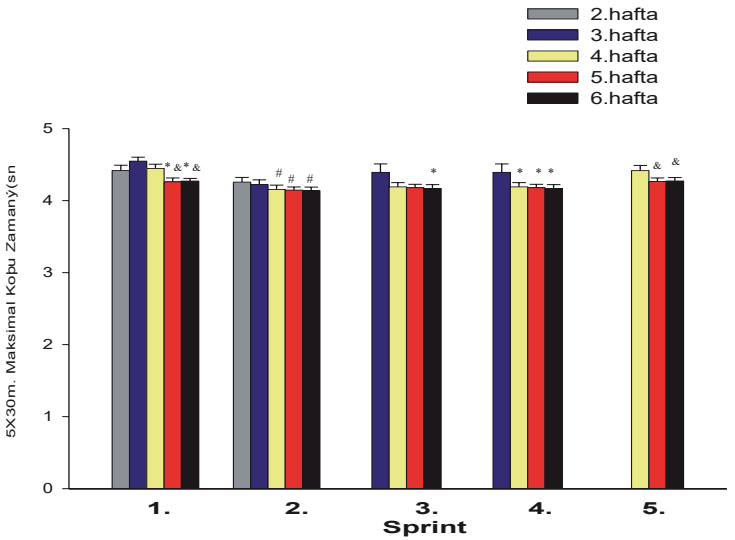
Beşinci haftada yapılan yüklenme antrenmanında yapılan 10 sprintin maksimal hızda yapıldığı set (4,28 ± 0,04 sn) ile 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanın ilk 10 sprintinin zaman ortalamaları (4,29 ± 0,04 sn) karşılaştırıldığında ise aralarında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

4.2.2. Maksimal Sprint Zamanlarının Birbirleri ile Karşılaştırılması

Sprint zamanlarının genel ortalamalarının karşılaştırmasına ek olarak koşu hızlarının set içindeki koşu sıralamasına göre değerlendirilmesinde de haftalar içinde sporcularda gelişme olduğu gözlenmiştir (Şekil 8). Bu çerçevede 1. sprint zaman ortalamaları 2., 3. ve 4. haftalarda (sırasıyla 4,41 ± 0,07 sn, 4,54 ± 0,05 sn, 4,44 ± 0,07 sn) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Buna karşın 3. ve

4. haftalara göre, 5. ve 6. haftalarda (sırasıyla 4,26 ± 0,05 sn, 4,27 ± 0,03 sn) sprint zamanlarının anlamlı düşüşüyle performans gelişimi görülmüştür ($p < 0.05$).

Haftalara göre 2. sprintlerin ortalama zamanları karşılaştırıldığında ise, 2. haftada sprint zamanı 4,25 ± 0,06 sn bulunmuş ve bu değer 4 haftada 4,15 ± 0,05 sn, 5 haftada 4,14 ± 0,07 sn ve 6. haftada 4,13 ± 0,07 sn'ye düşmüştür. Yaklaşık olarak % 2.7'lık bir gelişmeyi ifade eden bu gelişme istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, 4., 5. ve 6. haftalarda elde edilen değerlerin çalışmanın 2. haftasına oranla anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 8: 2, 3, 4, 5. hafta yüklenme antrenmanlarında ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında ilk setinde, maksimal yapılan ilk beş sprintin tek tek ortalama zamanları. (# 2. haftaya göre, 2. sprintte 4,5 ve 6.haftaların $p < 0.05$, * 3. haftaya göre 1. sprintte 5 ve 6. haftaların $p < 0.01$, 3. sprintte 6. haftanın $p<0.05$, 4. sprintte 4,5 ve 6.haftaların $p < 0.001$, **&** 4. haftaya göre, 1. sprintte 5 ve 6.haftaların $p < 0.01$, 5. sprintte 5 ve 6.haftaların $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığını ifade etmektedir).

Üçüncü sprint zaman ortalaması 3. haftada 4,39 ± 0,1 sn bulunmuş ve bu değer sadece 6 haftada 4,16 ± 0,05 sn'ye istatistiksel olarak anlamlı bir düşüşle gelişim sağlanmıştır ($p < 0.05$). Dördüncü sprintlerin ortalama zamanları istatistiksel olarak

değerlendirildiğinde, 3. sprint zamanı 4,39 ± 0,1 sn bulunmuş ve bu değer 4 haftada 4,19 ± 0,05 sn, 5. haftada 4,17 ± 0,04 sn ve 6. haftada 4,16 ± 0,05 sn'ye anlamlı olarak düşmesi, antrenman sürecinin izleyen haftalarda yapılan ardışık sprint performanslarında sporcularda gelişimin devam ettiğine işaret etmektedir ($p < 0.001$). Benzer performans gelişim örüntüsü 5. sprintlerin ortalama zamanları karşılaştırıldığında, 4. haftaya (4,41 ± 0,07 sn) göre 5. ve 6. haftalarda (sırası ile 4,26 ± 0,04 sn 4,27 ± 0,04 sn) istatistiksel olarak anlamlı bir düşüşle görülmüştür ($p < 0.05$).

Bu bulgular, 5 haftalık adaptasyon antrenmanlarıyla ardı ardına tekrarlanan maksimal 30m. sprint performansının haftalara göre geliştiği, bu gelişimin 5. haftaya kadar sürdüğünü göstermektedir. Ayrıca 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı ilk setinin sprint performansları arasında anlamlı farklılık olmayışı, sporcuların istenildiği gibi her iki antrenmanda da maksimal performans sergilediklerini göstermektedir.

4.3. Sınırsal Yüklenme Antrenmanının Kapsamı

Altınca hafta sınırsal yüklenme antrenmanında bütün sprintler maksimal hızda yapılmakla birlikte, set sayısı her sporcunun kendi özgür iradesi ile gerçekleştirebildiği performansı göstermesi istendiğinden, bireyler arasında kapsam anlamında önemli farklılıklar göze batmıştır. Bu çerçevede yapılan son sınırsal yüklenme antrenmanında 8 kişi 2set, 1 kişi 3 set, 4 kişi 4 set ve 2 kişide 5 seti tamamlayabilmiştir (Çizelge 2).

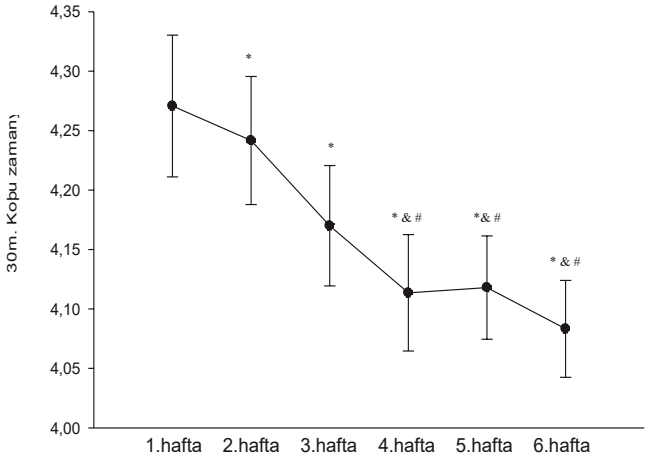
Çizelge 2. Kişilere göre 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında yapılan setlerin (10×30m) koşu zamanları (saniye) ortalamaları.

KİŞİ	5. Hafta	6. Hafta				
	Yüklenme	1. Yüklenme	2. Yüklenme	3. Yüklenme	4. Yüklenme	5. Yüklenme
1	4,31 ± 0,04	4,26 ± 0,03	4,55 ± 0,05			
2	4,18 ± 0,02	4,16 ± 0,03	4,35 ± 0,05	4,27 ± 0,0	4,31 ± 0,05	4,36 ± 0,04
3	3,99 ± 0,03	4,01 ± 0,04	4,12 ± 0,05			
4	4,3 ± 0,05	4,39 ± 0,03	4,52± 0,04			
5	4,63 ± 0,02	4,56 ± 0,04	4,71 ± 0,03	4,71 ± 0,03	4,69 ± 0,03	
6	4,07 ± 0,03	4,22 ± 0,07	4,47 ± 0,07	4,66 ± 0,04	4,64 ± 0,03	
7	4,41 ± 0,03	4,37 ± 0,04	4,48 ± 0,04			
8	4,23 ± 0,04	4,37 ± 0,05	4,59 ± 0,02	4,46 ± 0,03	4,46 ± 0,04	4,34 ± 0,05
9	4,31 ± 0,03	4,45 ± 0,03	4,67 ± 0,04	4,97 ± 0,02		
10	4,38 ± 0,06	4,34 ± 0,03	4,66 ± 0,05	4,52 ± 0,02	4,68 ± 0,02	
11	4,23 ± 0,01	4,24 ± 0,03	4,65 ± 0,01			
12	4,31 ± 0,04	4,3 ± 0,04	4,38 ± 0,07			
13	4,08 ± 0,03	3,99 ± 0,05	4,46 ± 0,09			
14	4,54 ± 0,03	4,49 ± 0,02	4,59 ± 0,05			
15	4,24 ± 0,04	4,15 ± 0,03	4,2 ± 0,03	4,3 ± 0,07	4,44 ± 0,02	
Ortalama Hız (sn)	**4,28 ± 0,04**	**4,29 ± 0,04**	**4,49 ± 0,04**	**4,55 ± 0,09**	**4,54 ± 0,06**	**4,35 ± 0,01**

4.3. Maksimal 30 m Sürat Ölçümleri

Altı haftalık antrenman programına başlamadan önce alınan 30m'lik koşu zamanıyla, 2, 3, 4, 5 ve 6. haftalarda yüklenme antrenmanı öncesi alınan 30m'lik koşu zamanları tek tek karşılaştırıldığında, bütün haftalarda istatistiksel olarak anlamlı bir azalma bulunmuştur (şekil 9; Çizelge 3). Bu bulgular sprint performansının antrenmanların ikinci haftasında gelişmeye başladığını göstermiştir (2., 3. haftada $p < 0.05$, 4., 5. ve 6. haftada $p < 0.001$). 30m. sprint zamanının haftalar içindeki gelişiminin 4. haftaya kadar devam ettiği, öte yandan 4., 5. ve 6. hafta sprint zamanları arasında anlamlı azalmanın olmadığı tespit

edilmiştir.



Şekil 9. 6 haftalık antrenman programında haftalara göre maksimal 30 m. sprint zamanlarının değişimi. (* 1. haftaya göre 2 ve 3.hafta $p < 0.05$, 4, 5 ve 6. hafta $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir, & 2. haftaya göre $p < 0.01$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir, # 3. haftaya göre $p < 0,01$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

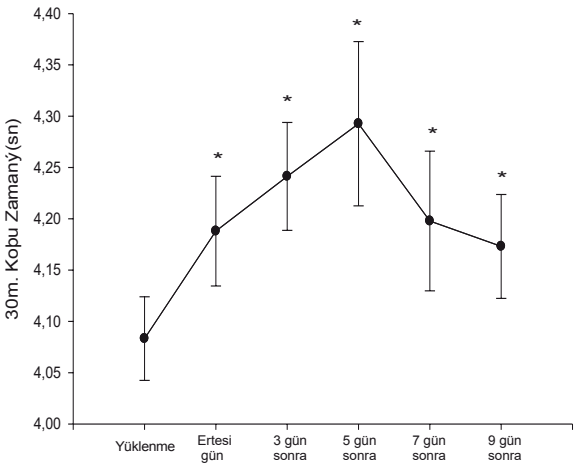
Beş haftalık adaptasyon antrenmanlarının etkinliğini değerlendirmede esas olabilecek bir diğer değişken, yükleme antrenmanın yaratabileceği yorgunluğun izleyen gün içinde performansı hangi oranda değiştirdiğinin sorgulanmasını gerektirmiştir. Bu amaçla her antrenman haftasının başında yapılan yüklenme antrenmanından önce ve ertesi gün alınan 30 m sprint zamanları istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve sadece 2. antrenman haftasında istatistiksel olarak anlamlı bir yavaşlamanın olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$) (Çizelge 3). Buna karşın antrenman sürecinin diğer haftalarında yüklemeyi izleyen gün içindeki performans azalmasının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Daha da ilginç olabilen bir diğer

bulgu, set içindeki bütün sprintlerin maksimal hızda yapıldığı 5. haftada yüklenmeden dolayı oluşan yorgunluğun, sporcuların ertesi günkü 30 m sprint performanslarını etkilememiş olmasıdır. Bu bulgu sporcuların antrenmanlara uyum sağlamış olabileceğini göstermek açısından önemli olabilir.

Çizelge 3. Haftalara göre maksimal 30m sprint zamanları.

		Sprint (sn)
1. Hafta	Önce	4,27 ± 0,05
	Ertesi Gün	4,28 ± 0,05
2. Hafta	Önce	4,24 ± 0,05
	Ertesi Gün	4,35± 0,07$^{\&}$
3. Hafta	Önce	4,17 ± 0,05
	Ertesi Gün	4,2 ± 0,05
4. Hafta	Önce	4,11 ± 0,04
	Ertesi Gün	4,15 ± 0,05
5. Hafta	Önce	4,11 ± 0,04
	Ertesi Gün	4,12 ± 0,05
6. Hafta	Önce	4,08 ± 0,04
	Ertesi Gün	4,18 ± 0,05*
Ölçümler	3 Gün Sonra	4,24 ± 0,05*
	5 Gün Sonra	4,29 ± 0,08*
	7 Gün Sonra	4,19 ± 0,06**
	9 Gün Sonra	4,17 ± 0,05*

Antrenman öncesine göre 6. haftada * $p<0.005$ ve **$p<0.02$, 2. haftada $^{\&}$ $p<0.01$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 10. Sınırsal yüklenme antrenmanı öncesinde, ertesi gün, 3, 5, 7 ve 9 gün sonra maksimal 30m koşu zamanları. (* antrenman öncesine göre, ertesi gün ve 3, 5, 9 gün sonra $p < 0.005$ ve 7 gün sonra $p < 0.02$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir)

6. hafta yapılan sınırsal yüklenme antrenmanının yaratabileceği yorgunluğun 24 saatlik süre sonunda 30m. sprint performansına etkisini değerlendirmek için alınan ölçümlerde, antrenman öncesine göre istatistiksel olarak anlamlı bir kaybın olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.005$) (şekil. 10). Sınırsal yüklenme antrenmanının 30m sprint performansına uzun sürede etkisini değerlendirmek için, sınırsal yüklenme antrenmanından 3, 5, 7 ve 9 gün sonranda alınan ölçümlerde de performans kaybının anlamlı olarak devam ettiği belirlenmiştir ($p < 0.005$, $p < 0.02$). Sınırsal yüklenme antrenmanı ertesi günü ve 3, 5, 7, 9 gün sonrasında alınan bu ölçümler birbirleriyle karşılaştırıldığında ise, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

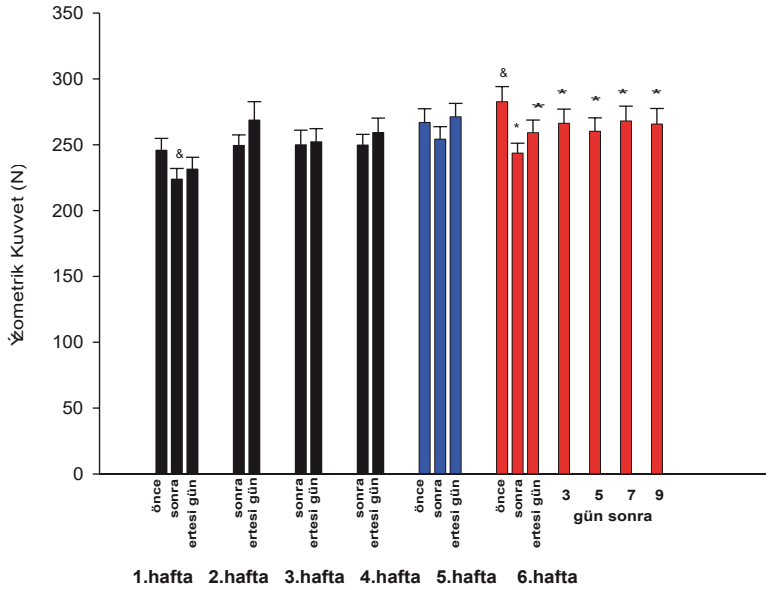
4.3. İzometrik Kas Kuvveti Ölçümleri

Antrenmanın neden olduğu akut yorgunluğun kas kuvveti üzerindeki etkisini değerlendirmek için, hafta başındaki yükleme antrenmanından önce yapılan izometrik kas kuvvet ölçümü antrenman sonrasında tekrar edilmiştir. İlk antrenman ile altıncı haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanının istatistiksel olarak anlamlı kuvvet kaybına neden olduğu gözlenmiştir. Buna göre antrenman döneminin başında 245,8 ± 8,9 N ölçülen izometrik kas kuvveti antrenman sonunda 223,8 ± 8 N'a düşerken ($p < 0.01$), 6. haftada yapılan antrenman öncesi 282,6 ± 11,4 N'luk kas kuvveti, antrenmandan hemen sonra 243,6 ± 7,5 N'a ($p < 0.001$) düşmüştür. Öte yandan 1. ve 6. haftaya ait antrenman öncesi kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, altı haftalık çalışmanın kas kuvvetinde de istatistiksel olarak artışa neden olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$) (şekil 11) (Çizelge 4).

Çizelge 4. 1., 5. ve 6. haftada izometrik kas kuvveti ölçüm değerleri.

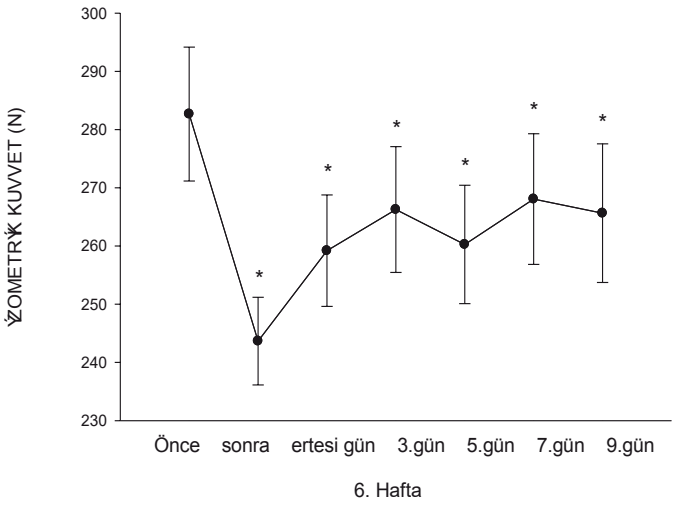
		İzometrik Kuvvet (N)
1. Hafta	Önce	245,8 ± 8,9
	Sonra	223,8 ± 8$^{\&}$
	Ertesi Gün	231,4 ± 8,9
5. Hafta	Önce	265 ± 10
	Sonra	252 ± 10
	Ertesi Gün	271 ± 10
6. Hafta	Önce	282,6 ± 11,4$^{\&}$
	Sonra	243,6 ± 7,5*
	Ertesi Gün	259 ± 9,5**
Ölçümler	3 Gün Sonra	266 ± 10,8***
	5 Gün Sonra	260 ± 10*
	7 Gün Sonra	268 ± 11*
	9 Gün Sonra	265,6 ± 11,8*

İzometrik kuvvet ölçümlerinde; 1. hafta antrenman öncesinden $^{\&}$ $p<0.01$ ve 6. hafta antrenman öncesinden * $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 11. Altı haftalık antrenman programında, haftalara göre izometrik kuvvet değişimi. ($^{\&}$ 1. hafta antrenman öncesine göre, 1. hafta sonrası, 6. hafta öncesi $p < 0.01$ istatistiksel olarak anlamlılığını ifade etmektedir, * 6. hafta antrenman öncesine göre, sonrası, 5, 7 ve 9 gün sonra $p<0.001$, ertesi gün $p<0.01$, 3 gün sonra $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

Antrenmanların neden olduğu uzun süreli yorgunluğu değerlendirebilmek için antrenmandan önce yapılan kuvvet ölçümleri antrenmandan bir gün sonra tekrarlanmıştır. Bu değerlendirmenin sonucunda 6. hafta yapılan antrenmanı izleyen günde yapılan kuvvet ölçümünde (259 ± 9,5 N) yorgunluğun istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde devam ettiği bulunmuşken ($p < 0.01$), birinci ve beşinci haftalarda (sırasıyla 231,4 ± 8,9 N ve 271 ± 10 N) anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Aşırı yüklemenin yapıldığı 6. haftada ortaya çıkan kuvvet kaybının 3, 5, 7 ve 9 gün sonra da istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde düşük kalmaya devam ettiği de tespit edilmiştir (3. gün $p < 0.05$, 5., 7. ve 9. gün $p < 0.001$) (şekil 12).



Şekil 12. Altıncı hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi, sonrası ve 1, 3, 5, 7, 9 gün sonrasında izometrik kuvvet değerleri. (* antrenman öncesine göre, sonrası, 5, 7 ve 9 gün sonra $p < 0.001$, ertesi gün $p < 0.01$, 3 gün sonra $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

Beş haftalık adaptasyon antrenmanlarının yaratabileceği yorgunluğun takibi için 2., 3. ve 4. hafta yüklenme antrenmanlarından hemen sonra ve ertesi gün ölçülen izometrik kas kuvveti değerleri ile 1. hafta yüklenme antrenmanı öncesinde ölçülen kas kuvveti değerleri karışlaştırıldığında, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir (şekil 11).

4.4. Esneklik Ölçümleri

Antrenmanın neden olduğu olası doku hasarının kas esnekliği üzerindeki akut etkisini değerlendirmek için, çalışmanın başındaki ilk antrenmandan, 5. hafta yüklenme antrenmanından ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanından önce alınan esneklik ölçümleri sırasıyla 29,3 ± 1,2 cm, 29,6 ± 1,3 cm, 29 ± 1 cm bulunmuş ve bu değerler antrenman sonrasında sırası ile 28,5 ± 1,2 cm, 29 ± 1,2 cm, 28 ± 1,3 cm'ye

düşmüştür (Çizelge 5) (şekil 13). Antrenman öncesinde ve sonrasında ölçülen esneklik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (1. ve 5. haftalarda $p < 0.01$, 6. haftada $p < 0.05$). Antrenmanın ertesi günü alınan esneklik ölçümlerinde ise her üç antrenmandan sonra antrenman öncesine göre anlamlı azalmanın devam ettiği görülmüştür. Buna karşın 6. haftada antrenman sonrası % 3.3 olan esneklik kaybının ertesi gün anlamlı bir farkla % 9.5 ulaşması, kas esnekliğini olumsuz olarak etkileyen unsurların daha belirginleştiğini düşündürmektedir ($p < 0.05$). 6. haftaya görece daha hafif yüklemelerin yapıldığı 1. ve 5. haftalarda ise, antrenman sonrası sırası ile % 2.8 ve % 2 olan esneklik kaybının ertesi günde % 5.9 ve % 5.2'ye ulaşarak anlamlı bir değişiklik ortaya çıkmıştır.

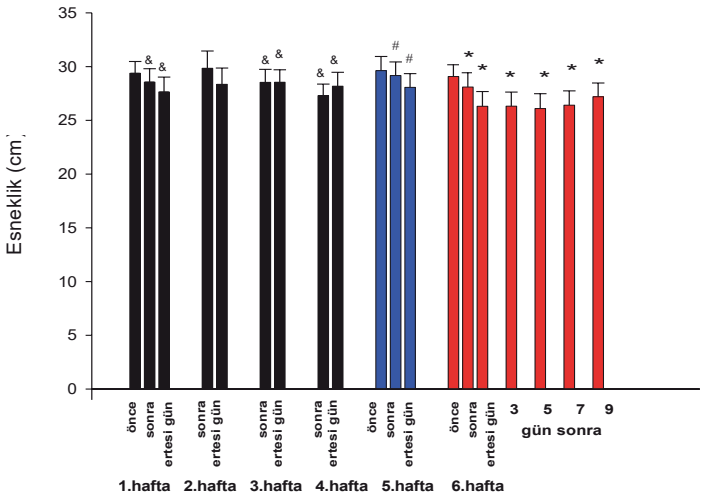
Çizelge 5. 1., 5. ve 6. haftada esneklik ölçüm değerleri.

		Esneklik (cm)
1. Hafta	Önce	29,3 ± 1,2
	Sonra	28,5 ± 1,2$^{\&}$
	Ertesi Gün	27,6 ± 1,3$^{\&,a}$
5. Hafta	Önce	29,6 ± 1,3
	Sonra	29 ± 1,2$^{\#}$
	Ertesi Gün	28 ± 1,2$^{\#}$
6. Hafta	Önce	29 ± 1
	Sonra	28 ± 1,3*
	Ertesi Gün	26,3 ± 1,3*
Ölçümler	3 Gün Sonra	26,3 ± 1,3**
	5 Gün Sonra	26 ± 1,3***
	7 Gün Sonra	26,4 ± 1,3***
	9 Gün Sonra	27,1 ± 1,2*

Esneklik ölçümlerinde; 1. hafta antrenman öncesinden $^{\&}$ $p<0.01$, 5. hafta antrenman öncesinden # $p<0.01$, 6. hafta antrenman öncesinden * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, 6. hafta antrenmanın ertesi gününden ^{a} $p<0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Esneklikle ilgili değerlendirmelerde esneklik kaybının antrenman süreci boyunca antrenmanlardan olumsuz etkilendiği gözlenmiştir. Nitekim 3. ve 4. hafta antrenmanlarından önce ve sonra yapılan esneklik ölçümlerinin (3. hafta öncesi 28,5 ± 1,2 cm, sonrası 28,5 ± 1,1 cm; 4. hafta öncesi 27,2 ± 1 cm, sonrası 28,1 ± 1,2 cm) antrenman programı öncesi dinlenim esneklik değerleri ile karşılaştırıldığında anlamlı

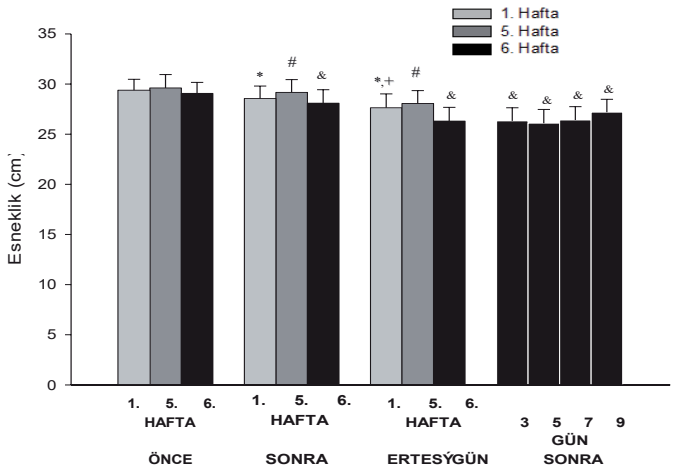
bir düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (4. haftada $p < 0.01$, 3. haftada $p < 0.05$) (şekil 13).



Şekil 13. Altı haftalık antrenman programında esneklik ölçümleri. (**&**, 1. hafta antrenman öncesine göre sonrası, ertesi gün, 4.hafta sonrası ve ertesi gün $p < 0.01$, 3. hafta sonrası ve ertesi gün $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir. **#,** 5. hafta antrenman öncesine göre sonrası ve ertesi gün $p < 0.01$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir. *, 6. hafta antrenman öncesine göre sonrası ve 9 gün sonrası $p < 0.05$, ertesi günü, 3 gün sonrası $p < 0.01$, 5 gün ve 7 gün sonrası $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.)

Çalışmanın başındaki ilk antrenmandan, 5. hafta yüklenme antrenmanından ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanından önce alınan esneklik değerleri birbirleriyle karşılaştırıldığında, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemesi, bize sporcuların antrenmana başlarken kaslarında esnekliği etkileyebilecek herhangi bir olumsuzluğun olmadığını düşündürmüştür. Üç haftanında antrenman sonrası esneklik değerleri karşılaştırıldığında ise arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Yapılan değerlendirmede 6. hafta antrenmanından bir gün sonra esneklik ölçümlerinde 26,3 ± 1,3 cm lik bir değerin elde edildiği, buna karşın

aynı değerlendirmenin birinci haftada 27,6 ± 1,3 cm, 5. haftada 28 ± 1,2 cm olduğu ölçülmüştür. Altıncı haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmandan bir gün sonra alınan esneklik değerlerinin, ilk antrenmandan bir gün sonra alınan esneklik değerlerinden istatistiksel olarak anlamlı düşüklük gösterdiği hesaplanırken, 5. hafta yüklenme antrenmanından bir gün sonra alınan esneklik değerleri arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p < 0.05$) (şekil 14). Konuyla ilgili bir diğer önemli özellik, sınırsal yüklemenin yapıldığı 6. hafta antrenmanında esneklik kaybının antrenmandan 3, 5, 7 ve 9 gün sonra alınan ölçümlerde devam ettiği tespit edilmiştir (sırasıyla antrenman öncesine göre %9.5, %10.2, %9, %6.5) (3. gün $p < 0.01$, 5. ve 7. gün $p < 0.001$, 9. gün $p < 0.05$) Bulguların bir diğer önemli özelliği esneklik kaybının antrenmanı izleyen 1 haftalık süre zarfında başlangıç noktasına dönmemiş olmasıdır.



Şekil 14. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrasında esneklik ölçümleri. (*; 1. hafta antrenman öncesine göre sonrası ve ertesi günü $p < 0.01$, # 5. hafta antrenman öncesine göre sonrası ve ertesi gün $p < 0.01$, **&** 6. hafta antrenman öncesine göre sonrası ve 9 gün sonrası $p < 0.05$, ertesi günü, 3 gün sonrası $p < 0.01$, 5 gün ve 7 gün sonrası $p < 0.001$, + 6. hafta antrenmanın ertesi gününe göre 1. hafta antrenmanın ertesi günü $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.)

4.5. Kan Değerleri

4.5.1. Kas Hasarı ile İlgili Enzimler (CK, LDH)

Yapılan antrenmanın iskelet kası üzerindeki yıkıcı etkisini değerlendirmek için, ilk antrenmandan, 5. hafta yüklenme antrenmanından ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanından önce, sonra ve ertesi günü alınan venöz kan örneklerinden çalışılan CK ve LDH değerleri çizelge 6'da verilmiştir.

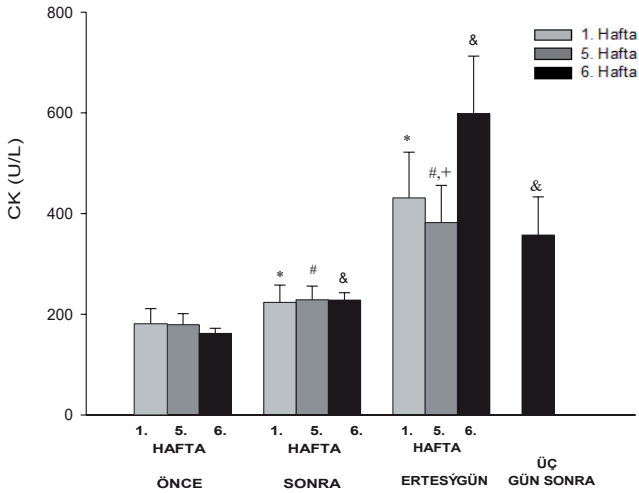
Çizelge 6. 1., 5. ve 6. haftada plazma CK ve LDH ölçüm değerleri.

		CK (U/L)	LDH (U/L)
1. Hafta	Önce	181 ± 30	355,3 ± 14,5
	Sonra	223,7± 34*	413,6 ± 15,2*
	Ertesi gün	431 ± 90*	372,6 ± 16,1
5. Hafta	Önce	179,3 ± 27	371,6 ± 12,2
	Sonra	228,8 ± 99$^{\#}$	435,5 ± 12,3*
	Ertesi gün	382 ± 73$^{\#,+}$	370,4 ± 12,2
6. Hafta	Önce	161,9 ± 10	357,4 ± 12,4
	Sonra	228,2 ± 14$^{\&}$	438,3 ± 12,5*
	Ertesi gün	598,7 ± 113$^{\&}$	374 ± 14
	3. gün	357,2 ± 75$^{\&}$	359,6 ± 10,2

Antrenman öncesine göre, serum CK konsantrasyonu 1. haftada * $p<0.01$, 5. haftada $^{\#}$ $p < 0.01$, 6. haftada $^{\&}$ $p < 0.01$, $^{+}$ 6. hafta antrenman sonrasına göre, 5. hafta antrenman sonrası $p < 0.05$, serum LDH konsantrasyonu 1., 5. ve 6. haftalarda * $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Ölçüm alınan 1, 5 ve 6. haftalarda antrenman sonrası CK değerlerinin antrenman öncesine oranla anlamlı bir artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0.001$) (şekil 15). Ancak bu enzimin serum seviyesinin antrenmandan 24 saat sonra alınan kan örneklerinde artmaya devam ettiği ve özellikle sınırsal yükleme antrenmanını izleyen 24 saat içinde antrenman başlangıcına oranla yaklaşık 2.7 misli artış olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$). Bu enzimin 6. haftada yapılan sınırsal yükleme antrenmanından üç gün sonra ölçülen serum seviyesinin antrenman başlangıcına oranla hala anlamlı yükseklik gösterdiği ($p < 0.01$) ve dinlenim seviyesine inmediği gözlemlenmiştir.

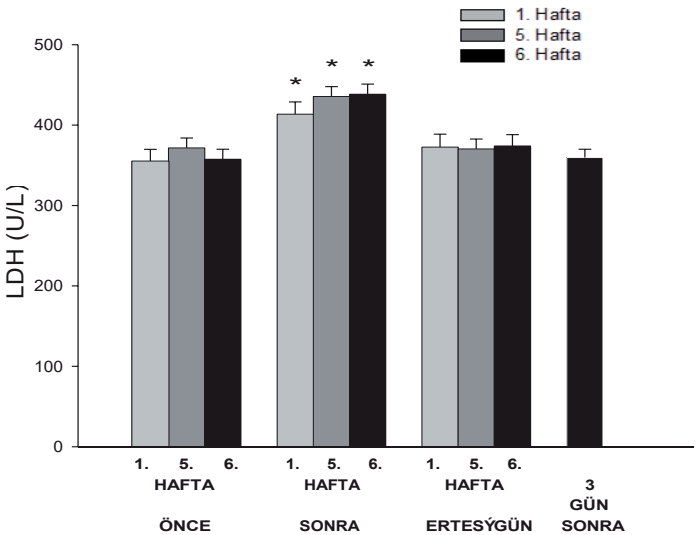
Birinci, beşinci ve altıncı haftalarda antrenman öncesine ait bazal CK değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Buna karşın antrenmanın ertesi günü alınan CK değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında birinci ve beşinci haftalar arasında anlamlı bir farklılık gözlenmezken, altıncı haftada yapılan antrenman sonrasında CK değerlerinin görece daha az yüklemenin yapıldığı beşinci haftaya oranla daha yüksek olduğu ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Şekil 15). Birinci ve altıncı haftada yapılan antrenmanın ertesi günü alınan CK değerleri arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir.



Şekil 15. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve antrenman sonrası, ertesi gün, üç gün sonra (6. hafta) serum CK değerleri. (* 1. hafta antrenman öncesine göre sonrası, ertesi günü $p < 0.01$, $^{\#}$ 5. hafta antrenman öncesine göre sonrası, ertesi gün $p < 0.01$, $^{\&}$ 6. hafta antrenman öncesine göre sonrası, ertesi günü ve 3 gün sonrası $p < 0.01$, $^{+}$ 6. hafta ertesi güne göre 5. hafta ertesi gün $p < 0.05$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

Kas hasarlanmasıyla doğrudan ilişkili olabilecek bir diğer enzim olan LDH'ın serum konsantrasyonun antrenmandan doğrudan etkilendiği belirlenmiştir. Ölçüm yapılan tüm haftalarda bu enzimin konsantrasyonunun antrenman sonrasında, öncesine oranla anlamlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiş ($p < 0.001$), ancak yüklemeyi

izleyen 24 saat içinde başlangıç seviyesine döndüğü bulunmuştur (Çizelge 6) (Şekil 16). Nitekim serum seviyesindeki artış örüntüsü CK'dan daha farklı seyreden LDH serum konsantrasyonu sınırda yükleme antrenmanından 24 saat sonra da bazal seviyeden anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Birinci, beşinci ve altıncı haftaların antrenman öncesi alınan bazal LDH değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Benzer şekilde üç haftanın antrenman sonrası serum LDH konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.



Şekil 16. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve antrenman sonrası, ertesi gün, üç gün sonra (6. hafta) serum LDH değerleri. (* 1, 5 ve 6. haftalarda antrenman öncesine göre, antrenman sonrası $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

4.5.2. Kortizol ve IGF-1 Hormonu Sonuçları

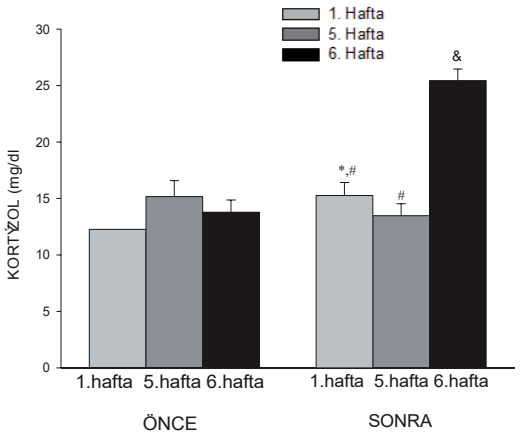
Antrenmanın vücutta yarattığı stresin büyüklüğünü değerlendirebilmek için kullanılan değişkenlerden bir tanesi olan serum kortizol seviyesinin irdelenmesinde, karşılaşılan önemli bulgu antrenman öncesinde ve sonrasında kortizol değerlerinin,

çalışmanın ilk antrenmanında ve 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanında artmış olduğudur (Çizelge 7). Özellikle 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanında yaklaşık % 89'luk bir artış gösterdiği ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0.001$) (Şekil 17). Şiddet olarak daha hafif bir yüklemenin yapıldığı 1. hafta antrenmanından sonra kortizol seviyesinin anlamlı olarak artması ($p < 0.05$), buna karşın 5. haftada maksimal şiddette yapılan bir antrenman sonrasında kortizol değerlerindeki artışın istatistiksel olarak anlamlı olmaması, antrenman şiddetindeki artışa karşın sporcuların görece daha az zorlandığının göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu aynı zamanda sporcuların egzersiz sırasında vücutlarında ortaya çıkmış olası uyumun da işaretcisi olarak kabul edilebilir. Buna karşın sınırsal yüklemenin yapıldığı 6. hafta antrenmanı sonrası alınan kortizol değerlerinin, 1. ve 5. hafta antrenman sonrası değerlerinden anlamlı derecede yüksek bulunması ($p < 0.001$), yapılan son yüklemenin sporcularda diğerlerine oranla daha büyük stres yarattığını düşündürmüştür. Öte yandan sporculardan günün aynı saatlerinde (± 2 saat) örnek alınmış olması, kortizol seviyesinin günlük sirkadien ritminden kaynaklanan etkileşimini ortadan kaldırdığını, dinlenim durumunda sporcuların serum kortizol seviyelerinin birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemesi ile açıklanabilir.

Çizelge 7. 1., 5. ve 6. haftada serum kortizol ve IGF-1 ölçüm değerleri.

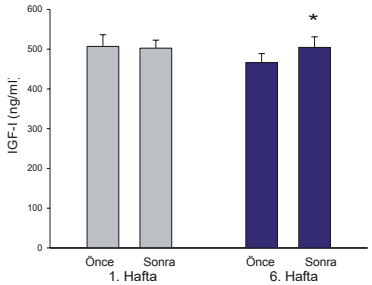
		Kortizol (mg/dl)	**IGF-1 (ng/ml)**
1. Hafta	Önce	12,2 ± 1	506,8 ± 29,5
	Sonra	15 ± 1,4*,#	502,4 ± 20,1
5. Hafta	Önce	13,7 ± 1	
	Sonra	15,2 ± 1#	
6. Hafta	Önce	13,4 ± 1	466,3 ± 22,5
	Sonra	25,4 ± 1&	504,4 ± 26,5*

Antrenman öncesine göre, serum kortizol konsantrasyonu 1. haftada * $p < 0.05$, 6. haftada & $p < 0.001$, # 6. hafta antrenman sonrasına göre 1. ve 5. hafta antrenman sonrası $p < 0.001$, serum IGF-1 konsantrasyonu 6. haftada * $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 17. İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrası serum kortizol değerleri. (***** 1. hafta antrenman öncesine göre sonrası $p < 0.05$, **&** 6. hafta antrenman öncesine göre sonrası $p < 0.001$, **#** 6. hafta antrenman sonrasına göre 1. ve 5. hafta antrenman sonrası $p<0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

Antrenmanın vücutta oluşturduğu anabolik etkiye aracılık eden IGF-1 seviyesinin serumda irdelenmesi sonucunda birinci haftada istatistiksel olarak anlamlı bir artışın ortaya çıkmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (şekil 18). Birinci ve 6. haftalarda antrenman öncesi dinlenim durumunda alınan bazal IGF-1 değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, aralarında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Buna karşın 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanı sonrası IGF-1 konsantrasyonu, antrenman öncesine göre yaklaşık % 8 oranında artmış ve dinlenim halinde 466,3 ± 22,5 pg/ml olan konsantrasyonu egzersizin sonunda 504,4 ± 26,5 g/ml'ye çıkmıştır ($p < 0.001$). Bu bulgu sporcuların sınırlarını zorlayan kapsamdaki antrenmanın anabolik yolağı tetikleyebilecek etkileri olabileceğini göstermiştir.



Şekil 18. İlk antrenman ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı öncesi ve sonrası serum IGF-1 değerleri. (* 6. hafta antrenman öncesine göre sonrası $p < 0.001$ istatistiksel anlamlı farklılığı ifade etmektedir).

4.5.3. İnflamasyon ile İlgili Bulgular (CRP)

Egzersizin sebep olduğu doku hasarı sonucu oluşan inflamasyonu değerlendirmek için, ilk antrenmandan, 5. hafta yüklenme antrenmanından ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanından önce, sonra ve ertesi günü venöz kandan alınan CRP değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir (Çizelge 8). Bu bulgular enflamasyonu düşündüren bir sürecin antrenman sonrası tetiklenmediğini akla getirmektedir.

Çizelge 8. 1., 5. ve 6. haftada plazma CRP ölçüm değerleri.

		CRP (mg/L)
1. Hafta	Önce	3,3 ± 0,07
	Sonra	3,3 ± 0,08
	Ertesi gün	3,5 ± 0,1
5. Hafta	Önce	3,3 ± 0
	Sonra	3,3 ± 0
	Ertesi gün	3,3 ± 0
6. Hafta	Önce	3,7 ± 0,4
	Sonra	3,7 ± 0,4
	Ertesi gün	3,6 ± 0,3
	3. gün	5,1 ± 1,7

4.5.4. TNF-α ve IL-6 Sitokin Sonuçları

Yapılan antrenmanın sitokinler üzerine etkisini değerlendirmek için, ilk antrenmandan, 5. hafta yüklenme antrenmanından ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanından önce ve sonra venöz kandan alınan TNF-α ve IL-6 değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir (Çizelge 9).

Çizelge 9. 1., 5. ve 6. haftada plazma IL-6 ve TNF-α ölçüm değerleri.

		IL-6 (pg/ml)	**TNF-α (pg/ml)**
1. Hafta	Önce	0	0,08 ± 0,08
	Sonra	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5
5. Hafta	Önce	0,04 ± 0,04	0
	Sonra	0,4 ± 0,4	2,2 ± 1
6. Hafta	Önce	0	0,2 ± 0,1
	Sonra	0,01 ± 0,01	1,4 ± 0,8

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada sporcuların 5 haftalık temel ve basit bir sprint antrenman protokolüne uyum sağlayabildiği, öte yandan antrenman şeklini değiştirmeden kapsamının arttırıldığı sınırsal yüklenmelerin kas hasarına neden olabildiği ve sonucunda da bu türlü yüklemelerin kas kuvveti, sürat ve esneklik gibi değişkenlerde uzun süreli olumsuzluklara neden olarak yorgunluk oluşturabildiği görülmüştür.

İlk antrenman, 5. hafta yüklenme antrenmanı ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanında serum CK ve LDH düzeylerinin antrenmandan hemen sonra artmış olması, yapılan üç antrenmanda da belirli bir seviyede kas hasarının ortaya çıkmış olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşın 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanından 24 saat sonra serum CK konsantrasyonunun 5. haftada yapılan yüklenme antrenmanına oranla daha yüksek bulunması, bu egzersizin kas hücrelerinde yarattığı etkinin boyutundaki farklılığa da işaret edebilir. Nitekim sınırsal yüklenme antrenmanının ertesi günü ölçülen kas kuvveti, sürat ve esneklik değerlerinin düşmüş

olması ve bu değişkenlerle irdelenen performans kaybının 9 gün gibi uzun bir süre devam etmiş olması, yapılan yüklemenin **uzun süreli yorgunluğa** yol açmış olabileceğini işaret etmektedir. Buna karşın şiddeti daha düşük olan ilk antrenmanın ertesi günü kas kuvveti ve sürat performansında herhangi bir azalma görülmemesi nedeniyle, bu antrenmanda ortaya çıkan yorgunluğu **kısa süreli yorgunluk** çerçevesinde tartışmak mümkün olabilir. Öte yandan yüklenmelerin maksimal şiddette yapıldığı 5. hafta yüklenme antrenmanı sonrası ve ertesi günü kas kuvveti ve sürat performansında azalma görülmemesi, sporcuların antrenmanlara uyum sağladığını işaret etmesi açısından önem taşımaktadır. Esneklik ile ilgili değerlendirmede ise, üç haftada da antrenman sonrası 24 saat süreyle düşüş olduğu ancak bu olumsuzluğun sınırsal yüklemenin yapıldığı 6. haftada daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular bize olası kas hasarının performanstaki toparlanmayı doğrudan etkilediğini ve buna bağlı olarak da yorgunluk süresini uzattığını düşündürmüştür.

Altıncı haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanı sonucunda sporcularda kas hasarına ait bulguların daha belirgin olarak ortaya çıkması, hasarın büyüklüğü ile kapsam arasında doğrusal bir ilişki olabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanı sonrası serum kortizol değerlerindeki istatistiksel artışın ilk antrenmana oranla daha yüksek olması, sporcuların sınırsal yüklenme antrenman sürecinde daha fazla strese maruz kaldıklarını göstermektedir. Öte yandan sporcuların antrenmanlara uyum sağlamasının bir sonucu olarak 5. haftada yapılan antrenman, kortizol değerlerinde anlamlı olarak değişime neden olabilecek bir strese yol açmamış olabilir. 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanının yıkıcı etkilerinin yanı sıra serum IGF-1 artışına yol açması, eş zamanlı olarak anabolik süreci de tetiklediğini göstermektedir. Antrenman kapsamının görece daha hafif olduğu haftalarda yapılan sprint antrenmanlarının sporcularda kas hasarına sebep olma olasılığı bulunmakla beraber, bu olası tablo CRP, TNF-α ve IL-6 maddelerinin serum konsantrasyonunda anlamlı değişikliklere yol açmamıştır. Bu durum kas hasarının boyutunun, serumda inflamasyon bulgularını etkileyecek kadar büyük olmayışından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

5.1. Uzun süreli performans kaybında antrenmanların etkisi

Antrenmanların genel amacı, sporcuların yarışma döneminde en yüksek form düzeyine ulaşmalarını sağlamaktır. Sportif performansın artırılabilmesi için yüklenme ve dinlenme arasındaki dengenin iyi kurgulanması ve beraberinde de vücudun sürekli artan fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerinin sağlıklı olarak karşılanması gerekir[1,2,3]. Çok sayıda sporcu fiziksel kapasitelerinin sınırlarına ulaşmak için çalışırken, bilinçsiz yüklenmeler sonucunda, aşırı yorgunluktan başka bir şey olmayan, sür-antrene tablosuyla yüzleşmek durumunda kalırlar[5,6,7,9,10,11,40,41]. Öte yandan sportif formunu en üst seviyeye taşıyan sporcu ise, ne yazık ki bu form seviyesini uzun süre koruyamamaktadır[1,4,40]. Yüksek efor gerektiren karşılaşmalar, sporcunun vücudunda yorgunluğa sonucunda da performans düşüşüne yol açar. Bu gibi durumlarda fiziksel aktivite sırasında harcanan efor ile toparlanma süresi arasındaki ters ilişkiyi göz önünde bulundurmak gerekir[1,3,4,5].

Ardışık olarak devam eden ağır antrenman yada karşılaşmaların sportif performansta bir kaç haftalık düşüşe yol açması, antrenman biliminde overreach olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde sporcuların bir-iki hafta süre ile dinlendirilmesi, performanslarının toparlanmasına ve hatta artmasına neden olabilir[5,7,9,10,11,40,41,50,51]. Ancak aşırıya varmak (overreach) durumu gözardı edilerek antrenmanlara aynı tempoda devam edilmesi, daha sonra dinlenme ile de toparlanmanın mümkün olmayacağı sür-antrene tablosunun ortaya çıkmasına neden olacaktır. Yeterli önlemlerin alınmadığı durumlarda, performans kaybının yıllar içinde bile eski seviyesine dönemeyeceği ve sür-antrene sendromuna yol açabileceği belirtilmektedir[3,5,6,7,8,11,15,41,50,51,52].

Antrenmanlarda yapılan yüklenmelerden sporcuda fizyolojik stres yolaklarını etkinleştirmesi beklenirken, uyum mekanizmalarının kapasitesini de aşmaması sağlanmalıdır. Bu gerçeğin göz ardı edildiği durumlarda antrenmanlarda yeterli stresin yaratılmamasına bağlı olarak performans gelişiminin olmayabileceği gibi, aşırı yüklenme nedeniyle istenmeyen performans kayıplarının da ortaya çıkma olasılığı bulunduğu unutulmamalıdır. Klasik antrenman programlamasında, vücudun yüklemelere uyum gösterdiği bilgisinden hareketle, ardışık yüklemelerde oluşturulan stres yanıtının sabit

kalabilmesi için antrenmanların kapsam ve şiddeti aşamalı olarak artırılır. Ancak ardışık yüklemeler arası dinlenme süresi, bu türlü antrenmanlardan beklenilen kazanımın sağlanabilmesi açısından önemlidir. Yüklenmeler arası sürenin uzun olması ise antrenman sonrası performans kazanımlarının kaybedilmesine yol açmaktadır[1,3,5,6,7,15,40,44,48].

Bu bilgilerin ışığı altında çalışma süresince yaptırılan 5 haftalık antrenman programı çerçevesinde, haftalık yüklenme şiddeti artan yük prensibine göre basamaklı olarak artırmıştır. Sporcularda aşırı yüklenmeden kaynaklanabilecek uzun süreli performans kaybından kaçınmak amacıyla, yüklenmelerin şiddeti haftalık performans ölçümlerine ile takip edilmiştir. Bu esaslara göre gerçekleştirilen antrenmanlar sayesinde, sporcuların 30 m maksimal sprint zamanları herhangi bir performans azalması olmaksızın sürekli gelişim göstermiştir. Öte yandan sporcuların gelişimi 30 m sprint süresi ile kısıtlı kalmamış beraberinde sporcuların söz konusu egzersizi maksimal şiddette tekrarlayabilme kapasiteleri de artmıştır. Nitekim sporcular çalışmanın son antrenmanında ardışık 10 sprinti maksimal şiddette yapabilecek uyumu sağlama başarısını göstermişlerdir.

Çalışmanın önemli bir diğer bulgusu da kuvvet antrenmanı yapılmamasına rağmen, sporcuların izometrik kuvvetlerinin artmış olmasıdır. Beşinci haftada yapılan yüklenme antrenmanında, bütün yüklenmelerin maksimal şiddette yapılmasına karşın, antrenman sonrasında sporcuların izometrik kuvvetlerini azaltacak kadar yorgunluğun oluşmaması, yapılan antrenmanlara sporcuların uyum sağladığının göstergesi olabilir. Ayrıca 5. haftada yapılan antrenmanın ertesi günü sporcuların 30m maksimal sprint sürelerinde değişiklik görülmemesi, istenilen uyumun sağlandığını ve 24 saatte yeterli toparlanmanın gerçekleştiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Sporcuların 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanının maksimal şiddette yapıldığı ilk setindeki performansları 5. haftayla benzer bulunmuştur. Yapılan birinci setteki sprint zamanlarının ortalaması ile setteki 10 sprintin tek zamanlarının karşılaştırılmasında sonuçların bir birinden farksız bulunması, sporcuların her iki antrenmanda da, istenildiği gibi maksimal şiddette çalıştıklarını göstermektedir. Buna

karşın beşinci haftadan farklı olarak, 6. haftada sporcular maksimal şiddette yaptıkları yüklenmelerin set sayısını arttırılmıştır. Set sayısındaki artış, sporcuların tekrarlayabildikleri maksimal sprint kapasitesinin göstergesi olup, kendilerinden tükeninceye kadar egzersize devam etmeleri istenmiştir. Bu sayede 6. haftada antrenmanın hem kapsamı hemde şiddeti arttırılmıştır. Temelde sporcuları çalışma programı süresince aşırı zorlamamayı hedeflediğimiz düşünülecek olursa, bu son antrenmanda, antrenman programımıza uygun olmayan bir yüklemenin yapıldığını söylememiz mümkün olabilir. Bu uygulama, sporcuların 30 m maksimal sprint zamanı ile izometrik kuvvet performanslarının uzun süreli düşüşüne ve performans kaybının yüklemeyi izleyen 9 gün süresince toparlanamamasına neden olmuştur. Antrenmanın kapsamı ve şiddeti arasında ters ilişki göz önüne alındığında, antrenmanın kapsamı ve şiddetinin aynı anda yükseltilmesi, sporcuların tükenmesine neden olan süreci tetiklemiş olabilir. Nitekim yapılan çalışmalarda bu tür antrenmanların toparlanma tam olmadan tekrarlanmasının performansı uzun süreli bozabildiği bildirilmektedir[1,3,4,5,6,13,197,198,199].

Halson ve arkadaşları, dokuz erkek dayanıklılık bisikletçisini 2 hafta normal, 2 hafta yoğun (geniş kapsam ve şiddetli) ve ardından 2 hafta toparlanma antrenmanı olmak üzere toplam 6 haftalık antrenman programı uyguladıkları çalışmalarında, yoğun antrenmanlardan 7 gün sonra sporcuların maksimal güç performanslarında azalma ile karakterize overreach durumu oluştuğunu gözlemlemişlerdir[13]. Fry ve arkadaşları ise benzer şekilde 5 elit askere 10 gün süre ile koşu bandında koşu şiddetini sürekli arttırarak yaptırdıkları antrenmanlar sonrasında, performansın önemli oranda düştüğünü ve bu performans kaybının ancak 16 gün sonra toparlanabildiği bildirmişlerdir[197]. Benzer bir çalışmada da, 7 erkek bisiklet yarışçısına normal antrenmanlarından farklı olarak yaptırılan iki hafta yoğun antrenman sonrasında, bisikletçilerin performanslarında düşüşle birlikte overreach oluştuğu belirtilmiştir[198]. Letmann ve arkadaşları 8 orta mesafe koşucusuna yaptıkları çalışmalarında, antrenmanların kapsamını her hafta kademe kademe arttırmalarına rağmen, 4. haftanın sonunda sporcuların koşu performanslarında düşüş tespit etmişlerdir[199]. Bizim çalışmamızda da, ardışık yüklemeler ile form durumları artırılmış olan sporcularda

yüklenmelerin tekrar sayısının artırılması literatür ile uyumlu olarak performans azalmasına neden olmuştur. Bir sonraki yükleme öncesi verilen dinlenme süresi rejenerasyon için yetersiz kalmış ve sonucunda da performans bozulmuştur. Toparlanma tam anlamıyla sağlanmamışken, sınırsal yüklenme antrenmanı sonrasında 2 gün rutinde yapılan antrenmanlara devam edilmesi bozulan performansın toparlama süresinin uzamasına neden olmuş ve akut yorgunluk süresi uzamış sonucunda da uzun süreli yorgunluk ortaya çıkmıştır.

5.2. Uzun süreli yorgunluğun nedeni

Yorgunluk iskelet kasının kuvvet veya güç üretebilme kapasitesinin azalmasıdır[5,8,15,16,17]. Egzersizle ortaya çıkan akut yorgunluğun izleyen 24 saat boyunca devam etmesi uzun süreli yorgunluk olarak tanımlanır[14,101]. Akut yorgunluğun oluşmasında kasta laktik asit, H^+, P_i, ADP, K^+ gibi maddelerin birikmesi ve enerji kaynaklarının (hazır ATP, CP, glikoz ve glikojen) tükenmesi rol oynarken, uzun süreli yorgunluğun oluşmasından çoğunlukla egzentrik kasılmaları içeren egzersizlerden sonra oluşan iskelet kası hasarı sorumlu tutulmaktadır[5,8,13,14,15,16,17,26,75,99,101]. Öte yandan her iki tipteki yorgunlukta da, santral sinir sisteminin etkin olabileceği bildirilmektedir[5,8,15,16,17,33,98,117,188,119,120,121].

Tekrarlayan egzentrik kontraksiyonlar, kas iskeletini oluşturan Z ve M bandı ile desmin ve titin gibi yapısal moleküllerin deformasyonuna ve eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesinin bozulmasına neden olur[19,20,23,26,32,99]. Sarkomerlerin organizasyonunun bozulması, kas fibrilleri ile tendon ve kemikler arasındaki güç aktarımını olumsuz etkiler. Kasın kontraksiyon sırasında kısalma hızı yavaşlarken, maksimum kuvvet için gereken sarkomer boyu da değişir[23,25,107,109]. Bu farklılıkların bir sonucu olarak da kasın kontraksiyon kuvveti düşer ve yorgunluk oluşur[20,22,23,25,31,101,107,108,109]. Kas kasılmaları sırasında meydana gelen kuvvet kaybını, kas hasarlanması sonucu oluşan yapısal değişikliklerin yanında, biyokimyasal değişikliklerle de açıklamak mümkündür. Bu anlamda T-tübül sisteminde meydana gelen deformasyonun sonucunda sarkoplazmik retikulumdan Ca^{+2} salınımının bozulmasının önemli bir rolü vardır. Hücre içi Ca^{+2} konsantrasyonunun artışı, hücre için zararlı etkilere sahip

olabilen enzimleri (fosfolipaz, proteaz, endonükleazlar) aktif hale geçirerek sarkolemma bütünlüğünün kaybolmasına yol açabilir. Bu süreç iyon taşıyıcı kanalların yanında aktif taşınımda rol alan önemli yapısal öğelerin de işlevlerinin bozulmasına sebep olur. Öte yandan Ca^{+2}'un mitokondrilerde aşırı birikmesi, bu organelin işlevlerini bozarak ATP sentezini de olumsuz etkiler[19,20,23,25,26,32,99,107,110]. Söz konusu değişiklikler hem kas hücrelerinin uyarılabilirliğini, hem de hücre zarındaki taşınımı olumsuz etkilenmektedir (Laktat- H^+ taşıyıcı protein, pH düzenlemesi, GLUT-4 protein). Kas hasarlanması sonrasında meydana gelen yapısal değişikliklerin akut yorgunluğun oluşmasında rol alabileceği dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalarda, egzersizin sebep olduğu kas hasarının GLUT-4 proteinlerinde azalttığı, geçici insülin direci yarattığı, glikoz taşınımı ve glikojenin sentezini 24-48 saat süre ile bozduğu gösterilmiştir[20,27,28,29,30,31].

Egzentrik ve kosantrik egzersiz sonrası yorgunluk süreci değişmektedir. Her iki egzersiz modelinde de akut yorgunluk oluşurken, doku hasarının daha fazla olduğu egzentrik egzersizde toparlanma daha uzun zaman alır[18,19,20,21,22,25,32,99,101,102,106,107]. Lavender ve arkadaşların 12 erkek deneğin farklı kollarına 6 hafta ara ile konsantrik ve egzentrik egzersiz yaptırdıkları çalışmalarında, egzersiz sonrası izometrik kas kuvvetinin her iki egzersiz modelinde de anlamlı olarak azaldığı, ancak egzentrik egzersizden 24 saat sonra kas kuvvetinin dinlenim değerlerine dönmediği ve yorgunluğun devam ettiği gösterilmiştir. Ayrıca eklem hareket açıklığının konsantrik egzersizden sonra değişmediği, buna karşın egzentrik egzersizden hemen sonra anlamlı olarak azaldığı ve normale dönmesinin ancak beşinci günde gerçekleştiği bildirilmiştir. Çalışmalarında plazma CK seviyesinin egzentrik egzersizden bir gün sonra egzersiz öncesine göre anlamlı olarak artarken, konsantrik egzersizden sonra artmadığının gösterilmesi, egzentrik egzersizden sonra oluşan uzun süreli yorgunluğun kas hasarından kaynaklandığı düşündürmüştür[32]. Egzentrik kontraksiyonların baskın olarak yapıldığı squat egzersizi sonrasında izometrik kas kuvveti ile wingate test değerlerinin egzersiz öncesi değerlerine ancak 7 gün sonra döndüğü bildirilmiştir. Bu

çalışmaların ortak bir diğer özelliği CK konsantrasyonun kas hasarı ile uyumlu olarak artış göstermiş olduğunun göstermesidir[200].

Yapılan egzentrik egzersizin şiddeti kas hasarının derecesini, dolayısıyla da performans kaybını doğrudan etkiler[22,201]. Fry ve arkadaşları iki haftalık yüksek ve düşük şiddetteki egzentrik direnç egzersizinin sonunda deneklerin kaldırabildikleri maksimum ağırlığın, düşük şiddette antrenman yapan grupta değişmediğini, buna karşın yüksek şiddetli antrenman yapan grupta % 11 oranında düşüşe yol açtığını bildirmişlerdir. Ayrıca dinlenim plazma CK değerlerinin yüksek şiddette antrenman yapan grupta anlamlı olarak yüksek bulunması performans kaybının kas hasarından kaynaklandığını düşündürmüştür[201].

Egzentrik egzersizin şiddetinin yanı sıra, tekrar sayısına bağlı olarak da hasarın derecesi ve semptomları değişkenlik göstermektedir. Clarkson ve arkadaşları, iki hafta ara ile dominant kola 70, diğer kola 24 tekrardan oluşan maksimal egzentrik egzersiz yaptırdıkları çalışmalarında, 70 egzentrik egzersiz yapan kolda izometrik kuvvet ve esneklik kaybının daha fazla olduğunu ve bu kaybın serum CK konsantrasyonundaki artışla paralellik gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada egzersizi izleyen 5 günlük süre zarfında toparlanmanın 24 tekrar yapan kola göre daha yavaş olduğu belirtilmiştir[202]. Benzer şekilde Nosaka ve arkadaşları, üç grubun dominant olmayan kollarına yapılan 2, 6 ve 24 tekrarlı maksimal egzentrik egzersiz sonrasında izometrik kas kuvvetinin tekrar sayısındaki artışla ters orantılı olarak azaldığını ve toparlanma süresinin ise uzadığını belirtmişlerdir[102]. Bizim çalışmamızda da serum CK seviyesinin ilk antrenmanda % 138, beşinci haftada yapılan yüklenme antrenmanı sonrasında % 113 oranında artmış olmasına karşın, en belirgin yükselmenin set sayısının arttırıldığı 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanı sonrasında % 270 oranında artış tespit edilmiştir. Egzersiz sonrası ortaya çıkan akut yorgunluğun etkisiyle, ilk antrenman ve 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı sonrasında sporcuların izometrik kuvvetlerinde literatürle uyumlu olarak düşüş görülmüştür. Ancak uzun süreli yorgunluğun etkileri, sadece 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanında ortaya çıkmıştır. Nitekim 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanı sonrasında ortaya çıkan kuvvet kaybının,

antrenmandan 1, 3, 5, 7 ve 9 gün sonra alınan ölçümlerle devam etmesi uzun süreli yorgunluğun bu antrenman sonrasında oluştuğuna işaret etmektedir. Diğer taraftan sporcuların izometrik kuvvetleri ilk antrenmandan bir gün sonra toparlarken, 5. hafta yüklenme antrenmanının hem sonrasında hem de bir gün sonrasında anlamlı olarak değişmemesi sporcularda antrenman sırasında uzun süreli yorgunluğa neden olabilecek stresin yaratılmadığını düşündürmektedir. Nitekim beşinci haftada antrenman şiddetindeki artışa karşın yorgunluğun ortaya çıkmaması sporcuların antrenman programı çerçevesinde yüklemelere uyum gösterdiklerini işaret edebilir.

Çalışmamızda sınırsal yüklenme antrenmanının etkisiyle oluşan kuvvet kaybı oranının, literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmektedir[102,201,202]. Literatürde yapılan çalışmalarda yorgunluğun sadece egzentrik egzersiz modelleri ile yapılmış olması söz konusu farklılığın olası açıklaması olabilir. Ancak hareket sırasında kas aktivitelerinin salt egzentrik, konsantrik ya da izometrik kasılmalarla gerçekleştirilmesi çok nadir görülen bir durum olup, pek çok sportif aktivitede hareket bu kasılma tiplerinin belirli orandaki katılımıyla gerçekleşmektedir. Normal hareket döngüsünde çoğu kez egzentrik kasılmayı konsantrik kasılma takip eder[33,34,35]. Bu nedenle antrenmanlarda yaptırdığımız egzersiz modelinde, literatürden farklı olarak, hem egzentrik hem de konsantrik kasılmaların döngüsel olarak tekrarlandığı koşu egzersizi gerçekleştirilmiş olması kuvvet kaybının görece daha düşük olmasını açıklayabilir. Öte yandan yapılan çalışmada sadece koşu egzersizleri ile de dokularda kas hasarının oluşabileceğini düşündüren bulgulara ulaşılmıştır. Literatüre oranla daha az hasar oluştuğunu düşündüren bulguların bir diğer açıklaması, çalışma grubunun sporculardan seçilmiş olması olabilir. Nitekim düzenli olarak egzersiz yapmayan kişilerin egzersize verdikleri yanıt, sporcularla karşılaştırıldığında farklılık gösterebilmektedir. Evans ve arkadaşlarının antrenmanlı uzun mesafe koşucularıyla antrenmansız erkek bireylerde 45 dakikalık egzentrik bisiklet egzersizi yaptırdıkları çalışmada, antrenmansız kişilerin egzersizden 5 gün sonra ölçülen CK değerlerinin dinlenim seviyesine oranla 33 kat artarak pik seviyesine ulaştığını ve bazal seviyesine 9 günde döndüğünü göstermişlerdir. Aksine antrenmanlı atletlerin CK değerleri iki kat

artarak pik değerine egzersizden bir gün sonra ulaştığını ve 2 gün sonra normale döndüğünü belirtmişlerdir[184].

Çalışmamızda yüklenmeler sonrasında ortaya çıkan olası kas hasarının esneklik performansını, izometrik kuvvete göre daha fazla etkilediği görülmektedir. Nitekim ölçüm yaptığımız üç antrenmanda da doku hasarının göstergesi olarak kabul edilen serum CK artışıyla uyumlu olarak, antrenman sonrası ve ertesi günü esneklik kaybı olduğu görülmüştür. Antrenmanlarda yaptırdığımız koşu egzersizlerinde, her defasında hızlanan ektremitenin zeminle teması sırasında yavaşlayabilmesi için fleksör kaslar (hamstring, soleus, gastronemius), egzentrik kontraksiyon yapmak zorunda kalırlar. Maksimal hızda yapılan koşu egzersizinin tekrar sayısı arttıkça, bacak kaslarının zemine çarpması anında oluşan uzamaya bağlı yükün toleransı da azalır[33,116,117,118,119]. Bu anlık değişim bacak fleksör kaslarında hasar oluşma olasılığını da artırabilir[33,34,35,109,116]. Çalışmamızda kullandığımız otur uzan esneklik test verileri hasara uğradığı düşünülen bacak fleksör kasları ve gövde ekstansör kaslarının esnekliğini nesnel olarak değerlendirme şansı vermiş olduğundan önemlidir. İzometrik kuvvet ölçümlerinde ise, üretilen kuvvette ağırlıklı olarak bacak ekstansör kaslarının katkısı bulunmaktadır. Bu nedenle esneklik performansında meydana gelen olumsuz değişiklikler, antrenmanların etkisiyle oluşan kas hasarından daha fazla etkilenmiş olabilir. Ancak altıncı haftada sınırsal yüklenme antrenmanı sonrası görülen esneklik kaybının antrenmanın ertesi günü en yüksek değerine ulaşarak uzun süre devam etmesi ve bu kaybın 1. haftaya oranla daha fazla olması sınırsal yüklenme antrenmanı sonrası kas hasarının daha belirgin olarak ortaya çıktığını düşündüren bir diğer bulgu olarak kabul edilebilir. Yapılan çalışmalarda da kas hasarına yol açabilen egzersizler sonucunda eklem hareket açıklığının azalarak en düşük değerine 1 ile 3 gün arasında ulaştığı gösterilmiştir[20,25,102,106,107,108,202].

Bir kasın (veya kas grubunun) uzayabilme yeteneği olarak tanımlanan esnekliğin artması eklem hareket açıklığını etkiler[20,25,101,107,108,111,112,122]. Araştırmacılar egzentrik egzersizlerden sonra kasın eklem hareket açıklığındaki azalmanın, kasın dinlenim boyundaki kısalmadan ve/veya istirahat gerimindeki artışından

kaynaklandığını belirtilmektedirler[23,25,101,107,108,110,111,112]. Konuyla ilgili diğer çalışmalarda kasın hasarlı bölgelerinde kontraktür oluştuğu gösterilmiştir. Egzentrik egzersiz sonucunda oluşan sarkoplazmik retikulum hasarı miyoplazmada Ca^{+2} konsantrasyonu değiştirip çapraz köprüleri aktive ederek kasın dinlenim tonusunu artırır ve sarkomer boyunun kısalmasına neden olur[23,25,101,107,108,110]. Ancak kontraktür oluşumuyla akut dönemde ortaya çıkan esneklik kaybını açıklamak mümkünken, egzersizden 24 saat sonra oluşan esneklik kaybının açıklanabilmesi için farklı mekanizmaların değerlendirilmesi gerekir. Bu anlamda kas hasarlanmasına bağlı olarak hücre membranının geçirgenliğinde meydana gelen değişikliklerin ortaya çıkardığı osmotik dengesizlik ve beraberinde hücre içinde oluşan ödemin uzun süreli esneklik kaybının olası açıklaması olabilir. Hücre zarının geçirgenliğinin bozulması beraberinde kası saran konnektif dokunun gerimini arttırarak esneklik kaybına neden olabilir[109,113]. Nitekim CK miktarında meydana gelen artışın hücre membranındaki harabiyeti düşündürüyor olması, hücrede ödem oluşabileceğini ve bu sürecin enflamatuar etkileri de olan bir süreci tetikleyebileceği belirtilmektedir[23,25,107,108,109,113,114,115].

Bazı araştırmacılar pek çok fiziksel aktivite sonrasında oluşan yorgunluğun en önemli nedeni olarak, yarışma esnasında maksimal şiddette yapılan sprint, sıçrama, yön değiştirme gibi hareketlerle tekrarlanan egzentrik kontraksiyonların dokularda oluşturduğu kas hasarını sorumlu tutmaktadırlar[31,36,37,38]. Thompson ve arkadaşları bir futbol maçındaki aktivite modellerini yansıtığı düşünülen, farklı şiddetlerde yüklenme ve dinlenmelerle karakterize 90 dakika süreli 20 m'lik mekik koşu testinin plazma CK değerini 48 saat süre ile artırdığını, en belirgin artışın ise aktiviteden 24 saat sonra ortaya çıktığını belirtmişlerdir[37]. Maraton gibi uzun süreli fiziksel aktivitelerde ya da yüksek hızlarda tekrarlanarak yapılan sprint koşularında ortaya çıkan yorgunluğun kas hasarından kaynaklandığı ve kasın elastik elemanlarının gerilme kuvvetinin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir[33,109,116,117,118,119]. Ayrıca koşu performansının birkaç gün gibi uzun süre bozulmasından, kas hasarına bağlı olarak gerim refleks duyarlılığı ile kasın elastik gerilme enerjisinin azalmasının neden olduğu

belirtilmektedir[33,109,117,188,119,120,121]. Koşu esnasında, bacağın yerle temasıyla başlayan egzentrik kasılma fazı tendonlar, kas liflerinin tendona tutunduğu sarkolemmal uçlar, kas iskeletini oluşturan proteinleri ve çapraz köprülerin menteşeli kolları gibi kasılmayan elastik seri bileşenlerinde gerilmeye neden olur. Egzentrik kasılmanın ardından bacağın zeminle temasının kesilip konsantrik kasılma fazına geçiş aşamasında, elastik elemanların gerilmesiyle depolanan potansiyel enerji kasın gücünde artışa neden olur. Egzentrik kasılma sırasında ortaya çıkan gerim artışı beraberinde refleks arkının da etkinliğini artırarak koşunun konsantrik fazının daha hızlı ve kuvvetli olmasına imkan sağlar[15,33,34,35,62,63,65,68,69,70,71]. Koşu hızındaki artış bacağın yerle temas süresini de kısaltır. Ancak egzersiz süresinin uzaması bacak kaslarının zemine çarpmasıyla oluşan dış yüke karşı, kasın elastik elemanlarının gerilme toleransını azaltır ve hasar oluşumunu kolaylaştırır. Yorgunluk sonrasında ortaya çıkan bu tablo bacağın yere temas süresinin uzamasına neden olarak koşu hızını yavaşlatır[33,116,117,118,119]. Bu değişiklik kasın nebulin, desmin ve titin gibi elastik elamanlarının gerilme yeteneğini bozarak, hareketin egzentrik fazındaki elastik gerilme özelliklerini de olumsuz etkiler[33,103,109,188]. Kas dokusunu oluşturan proteinlerde meydana gelen değişikliklere ek olarak yorgunluk sırasında gerim refleksinden sorumlu olan kas iğcikleriyle başlayan nöral entegrasyonun da azalma olduğu belirtilmektedir. Kasın yorgunluğu sonrasında meydana gelen metabolik değişiklikler ile kas hasarı grup III ve IV aferent sinyallerin uyarı frekansını artırır. Söz konusu afferent yolağın aktivitesinde artış alfa motor nöranların inhibisyonuna yol açarak istemli hareketlerin hız ve kuvvetini azaltır[33,117,188,119,120,121].

Bu değişimlerin yanı sıra kas hasarı eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesinin bozulmasına güç-hız ilişkisini olumsuz etkileyerek, sürat performansının düşmesine sebep olur[19,20,23,24,25,203]. Tekrarlayan egzentrik kontraksiyonlarla, fosfokreatin ve kas glikojen kullanımı bozulmasıyla oluşan metabolik değişimler de sürati olumsuz yönde etkilemektedir[200,203]. Ayrıca yapısal farklılıklarından dolayı hasarlanma eğilimi daha fazla olan Tip II kas fibrillerinin bu süreçten öncelikli olarak etkilenebilmesi hareketin yüksek hızlarda yapılmasını engelleyen bir diğer unsurdur[30,103,186]. Çalışmamızda

sporcuların maksimal 30 m sprint performanslarının, 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanını izleyen 1,3,5,7 ve 9. günlerde yapılan değerlendirmelerinde azalmış olduğu tespit edilmiştir. Sınırsal yükleme antrenmanından farklı olarak ilk ve 5. haftada yapılan yüklenme antrenmanın ise 24 saat sonraki maksimal 30 m sprint zamanlarında herhangi bir etki yaptığı görülmemiştir. Konuyla ilgili çalışmalarda plyometrik egzersiz modalitesi olarak kabul edilebilen dikey sıçrama türü fiziksel aktivitelerin 48-72 saat sürat performansının kaybına neden olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmalarda sürat performans kaybı ile paralel olarak CK konsantrasyon artışının bulunması, kas hasarı ile yorgunluğun birbirlerini etkileyen unsurlar olduğunu destekler niteliktedir[203]. Araştırmalarda düzenli antrenman yapan sporcularda bazal CK seviyelerinin kronik olarak yüksek olduğu belirtilmektedir[184,201,204]. Bu durum üst üste tekrarlanan antrenman yüklenmelerinin kas dokusu üzerindeki etkisinin bir sonucu olarak yorumlanabilir. Coutts ve arkadaşlarının ragbi oyuncularında yaptığı çalışmada, antrenman yoğunluğunun artırılması durumunda sporcuların bazal CK seviyesinin yüksek kaldığının gösterilmiş olması, öngörümüzü destekleyen bir bulgu olarak kabul edilebilir. Ayrıca ağır antrenmanların sonucunda sporcuların sprint performanslarının ve 20 metre mekik koşu testi performanslarının anlamlı olarak düşmesi, yapılan her yüklemenin sporcuların performansında artışa neden olmayabileceği savını destekleyen önemli bir gözlemdir[204]. Ancak bizim çalışmamızda ardışık olarak yaptırılan antrenmanlar, kas hasarının göstergesi olarak yorumlanabilen biyokimyasal parametreler üzerinde belirgin bir etki yaratmamıştır. Antrenmanlara başlamadan önce ölçülen bazal CK ve LDH değerleri ile beşinci ve altıncı haftada ölçülen yükleme öncesi CK ve LDH değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmaması, bu süre içinde yaptırılan antrenmanların uzun süreli kas hasarına yol açmadığını düşündürmektedir. Nitekim 5. ve 6. hafta antrenmana başlamadan önce ölçülen maksimal 30 m sprint zamanları ile izometrik kas kuvvet değerleri ve esneklik performanslarında kayıp görülmemesi bu öngörüyü destekler niteliktedir. Hasarlı dokunun genellikle 48-72 saat sonra iyileşmeye başladığı düşünüldüğünde, planladığımız 5 haftalık antrenman programı süresinde verilen dinlenmelerin, dokunun

toparlanması için yeterli olduğunu söyleyebiliriz[57,65,185]. Çalışmamızda antrenman öncesi ve sonrasında ölçülen CK ve LDH değerlerinde antrenman sonrası anlamlı bir artış belirlenmesi yapılan antrenmanlarda belirli oranlarda kas hasarı oluştuğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Ancak antrenmandan 24 saat sonra ölçülen CK seviyesinin sınırsal yüklenme antrenmanında 5. haftaya göre anlamlı derecede daha yüksek bulunması ve beraberinde bu yüksekliğin 72 saat sonra da bazal seviyeye inmemesi, yaptırılan son antrenmandaki yıkıcı etkilerinin daha belirgin olduğuna işaret etmektedir. Çalışmamıza katılan ve düzenli spor yapma alışkanlığı olmakla beraber, çalışma öncesi en az bir aylık süre zarfında belirli bir antrenman programına dahil olmayan sporcuların, çalışmanın şiddeti çok düşük olan ilk antrenman uygulamasından sonra CK değerlerinin artmış bulunması, bu yüklemenin bile hasar oluşturacak etkileri olabileceğini göstermektedir. Ancak oluşan olası hasar, çalışmadan 24 saat sonra sadece esneklik performansını etkilemiş, buna karşın maksimal 30 m sprint zamanı ve izometrik kas kuvvetini değiştirmemiştir.

Antrenman programında, antrenman şiddetinin her hafta kademeli olarak arttırılmış olması nedeniyle, yaratılan stresin mutlak boyutunun çalışma süresine sabit kaldığını söylemek mümkün değildir. Ancak sporcuları aşırı yüklemeden kaynaklanabilecek olumsuzluklardan koruyabilmek için, haftalık yükleme antrenmanları öncesinde özellikle yorgunluk değerlendirmeleri yapılmıştır ve sporcunun hazır olduğu değerlendirildikten sonra antrenmanın dozajında değişiklik yapılmıştır. Bu uygulama sayesinde başlangıca oranla çok daha ağır bir egzersizin yapıldığı 5. hafta yüklenme antrenmanın uzun süreli performans kaybı olmamış ve 24 saat sonrasında sadece esneklik performansı etkilenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde esneklik ile ilgili değerlerin sadece 3. ve 4. haftalarda düşük olduğu ancak izometrik kas kuvvet kaybı olmadığı gözlemlenmiştir. Bu antrenman programı sayesinde sporcuların 30 m sprint performansı sürekli olarak gelişim göstermiş ve beşinci haftada ardışık on sprinti de maksimal şiddette yapabilir hale gelmişlerdir. Ancak çalışmanın son haftasında yaptırılan yükleme antrenmanı uzun süreli yorgunluğa yol açmıştır. Bu sonuçlar oluşan olası kas hasarının büyüklüğüne göre yorgunluk süresinin

değiştiğini ve esneklik değerlerindeki kötüleşmenin en belirgin gösterge olabileceğini düşündürmüştür.

5.3. Egzersizin Kortizol ve IGF-1 hormonlarına etkisi

IGF-1'in egzersiz sonrası kas protein sentezi üzerine olan etkileri uzun yıllardan beri araştırılmaktadır. IGF-1, kas hipertrofisinin en önemli düzenleyicilerinden biri olup, etkisini uydu hücreleri uyararak göstermektedir. Ayrıca yeterli substrat desteğinde, protein sentezini doğrudan arttırabilmektedir. Egzersizin mekanik etkisinin IGF-1 konsantrasyonunu arttıran mekanik bir uyaran olduğu bilinmektedir[8,54,185,192,193,194,195]. Öte yandan farklı egzersiz modalitelerinin serum IGF-1 konsantrasyonunu nasıl etkilediği konusunda yapılan çalışmalarda, kas hasarına neden olan egzentrik egzersizlerin IGF-1 sentezini arttıran önemli bir uyaran olduğu da belirtilmektedir[185,192]. Çalışmamızda da form durumu iyi sporcuların sınırlarını zorlayan antrenmanın yarattığı stresin, bu bireylerde serum IGF-1 konsantrasyonunda anlamlı bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan yüklemenin düşük şiddette yapıldığı ilk antrenman sonrasında anlamlı bir değişiklik görülmemesi, serum IGF-1 konsantrasyonundaki değişikliklerin yapılan egzersizin oluşturduğu kas hasarının büyüklüğüne bağlı olarak değişebileceğini de akla getirmektedir. Bazı araştırmacılar egzentrik egzersiz sonrası kas içinde artan IGF-1'in doku dejenerasyonunda rol oynadığını ileri sürmektedir[192]. Ancak serum IGF-1 konsantrasyonunun, kas içi IGF-1 aktivite değişikliklerinden farklı bir kavram olduğunun da altını çizmek gerekir. Nitekim bazı araştırmalarda plazma IGF-1 değerlerinin, hem konsantrik hem de egzentrik egzersiz sonrasında değişmediği, ancak egzentrik egzersizden 24 saat sonra vastus lateralis kasından alınan biyopsi örneklerinde mRNA IGF-1 konsantrasyonunda olduğu görülmüştür[192]. Bu nedenle egzersiz sonrası plazma CK konsantrasyonunda anlamlı bir artış olmasına karşın, plazma IGF-1 değerlerinde anlamlı bir değişiklik olmaması, IGF-1 ile ilişkili hücre içi sinyal yolaklarının etkinleşmediği sonucunu çıkarmak mümkün görülmemektedir[193,205].

Serum IGF-1 konsantrasyonunu etkileyen diğer unsurlar, egzersizin süresi ve şiddetidir[191,194,195,206]. Yapılan farklı çalışmalarda serum IGF-1 konsantrasyonunda,

yüksek şiddetli egzersizlerin, düşük şiddetli egzersizlere oranla daha belirgin bir artışa neden olduğu gösterilmiştir[194,195]. Bizim çalışmamızda ilk antrenmanın düşük şiddette yapıldığı, 6. haftadaki sınırsal yüklenme antrenmanının ise maksimal şiddette yapıldığı göz önünde bulundurulursa, antrenman şiddeti 6. haftada serum IGF-1 konsantrasyon artışının nedeni olabilir. Egzersizin süresi ile ilgili çelişkili yayınlar bulunmakla beraber, çalışmamızda set sayısının artırıldığı sınırsal yükleme antrenmanında sporcular, egzersizin şiddeti yanında süre olarak da daha uzun yüklemeyle karşı karşıya kalmışlarıdır. Bu bilgilerin ışığı altında yaptığımız çalışmada artan IGF-1 konsantrasyonunun şiddet ve süre ile olan ilişkisini birbirlerinden ayırmak mümkün görünmemektedir.

Ağır egzersizlerle iskelet kasının hasarı, enerji ve oksijen ihtiyacının artışı, enerji rezervlerinin azalması gibi homeostaziste meydana gelen değişiklikler, vücudun strese verdiği yanıtla düzeltilmeye çalışılır[3,5,6,53,54]. Egzersizde kortizol sekresyonunun artması vücudun fizyolojik strese verdiği yanıtın bir göstergesi olarak kabul edilir. Plazma kortizolünün egzersizin şiddeti ve süresine bağlı olarak artış gösterdiği bilinmektedir[139,140,141,142,207,208]. Çalışmamızda da hem ilk antrenman hem de 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanı sonrası kortizol seviyesinin anlamlı olarak artmış olması bu antrenmanlar sırasında vücutta belirli oranda zorlanma olduğunu düşündürmektedir. 6. hafta sınırsal yüklenme antrenmanının kapsamı göz önüne alındığında kortizol konsantrasyonunun yüksek bulunması literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak beklenilen bir sonuçtur.

Ağır egzersizlerde kortizol artışı normal bir olaydır ve etkileri de geçicidir. Öte yandan vücudun toparlanmasına izin verilmeden yapılan ardışık antrenmanların bazal kortizol seviyesinde artışa neden olabileceği belirtilmiştir. Plazma kortizol seviyesinin sürekli olarak yüksek bulunması sporcu performansını olumsuz etkileyecek psikolojik etkiler yanında metabolik bir takım sonuçların da ortaya çıkmasına neden olabilir[6,143,144,15]. Yüksek şiddetteki ağır egzersiz sonrası artan kortizol konsantrasyonunun kas rejenerasyonunu da negatif etkileyebileceği ve özellikle uydu hücrelerin aktivasyonunu sağlayan IGF-1'i inhibe ettiği beliryilmektedir[144]. Bu etkileri

nedeniyle kortizol seviyesi, sürantrenman sendromu yanında antrenmana uyumun takibinde önemli bir gösterge olarak irdelenmektedir[3,5,6,143,144,145]. Uygun antrenmanlarla yanıtın değerlendirildiği çalışmalarda, bazal kortizol seviyesinde azalma olduğu gösterilmiştir[3,5,141,143]. Antrenman şiddetinin kontrollü olarak artırıldığı çalışmamızda, bütün yüklenmelerin maksimal şiddette yapıldığı 5. hafta yüklenme antrenmanı sonrasında kortizol konsantrasyonunda anlamlı bir değişim görülmemiştir. Bu bulgu sporcuların yapılan antrenmanlara uyum sağlamış olduğunu işaret etmektedir. Öte yandan kortizol düzeylerinin günün aynı zamanlarında yapılmış olması, söz konusu farklıkların sirkadien ritimden kaynaklanabilme ihtimalini de ortadan kaldırmaktadır.

5.4. Egzersizin CRP, TNF-α ve IL-6 üzerine etkisi

Egzersizin doku hasarına neden olması beraberinde inflamatuvar süreci de tetikleyebilmektedir. Özellikle stresin fazla olduğu ve dokuların daha çok zorlandığı güç egzersizlerden sonra kanda konsantrasyonu artan IL-6'nının hepatik CRP sentezini uyardığı ve CRP'de 100 katlık bir artışa neden olduğu gösterilmiştir[5,146,147,148,149,150,151,152]. Ancak enfeksiyona bağlı olarak ortaya çıkan sitokin cevabı, egzersizin sonrası oluşan sitokin cevabından farklıdır[158,160,161,162]. Çalışmamızda altı haftalık dönem içinde yaptırılan antrenmanların serum IL-6, TNF-α ve CRP konsantrasyonlarında değişiklik yapıcı bir etkisi görülmemesi, yaptırılan antrenmanların bu ajanların serum konsantrasyonunda artışa neden olacak bir etkisi olmadığını düşündürmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilerin ışığı altında enflamatuar süreçte de etkinliği olan ajanların egzersizin şekline, şiddetine, süresine, egzersize katılan kas kitlesine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür[158,159,160,161,162,163,164,165,166,173]. Maraton gibi uzun süreli ağır egzersizlerin plazma IL-6 seviyesini geçici bir süre için 100 kat kadar artırırken, TNF-α seviyesinde önemli bir değişiklik olmadığı gösterilmiştir[160,161,162,164,169,173]. Ayrıca egzersize katılan kas dokusundan alınan biyopsi örneklerinde, doku hasarı olduğu ve IL-6'nın lokal olarak üretildiği de tespit edilmiştir[158,159,167,170]. Öte yandan bizim çalışmamızdaki antrenman yüklenme süreleri literatür ile karşılaştırıldığında süre olarak çok daha kısa

olduğunu söylemek mümkündür. Bu bilgi çalışmamızda plazma IL-6 ve TNF-α konsantrasyonlarının antrenman süreci boyunca değişmemiş olmasını açıklayabilir.

Egzersizin neden olduğu kas hasarının, IL-6 cevabı için bir uyarı olduğu düşünülmektedir[161,163,164,167,168,169]. Yapılan bazı çalışmalarda konsantrik egzersizlere göre, egzentrik egzersizlerden sonra daha yüksek dolaşım IL-6 konsantrasyonu görülmüş olması, söz konusu mekanizma ile açıklanabilir[161,164,171,209]. Öte yandan yapılan son araştırmalarda IL-6'nın kas hasarından bağımsız olarak, kas enerji yolaklarında meydana gelen değişim sonucunda da salgılanabileceğini gösteren verileri ulaşılmıştır. Egzersiz sırasında kas tarafından yapılan IL-6'nın dolaşıma salınmasının glikoz ve lipoliz homeostazisini düzenleyici etkileri olduğu belirtilmektedir[163,164,167,171,172]. Yapılan çalışmalarda düşük kas glikojen içeriğinin IL-6 gen transkripsiyonu için önemli bir uyaran olduğu gösterilmiştir[165,167,174]. Bu çalışmalarda egzentrik egzersiz yanında konsantrik egzersizlerde de iskelet kası IL-6 mRNA seviyesinde artış olduğu belirlenmiştir. Konsantrik egzersizlerde plazma IL-6 artışı egzersizin süresi ile ilişkili olup, egzersizin sonunda pik seviyeye ulaşıp toparlanma ile birlikte düşüşe geçerken, egzentrik egzersizlerde dolaşım IL-6 seviyesinin daha geç artmaya başladığı ve buna karşın bazal seviyesine de daha geç döndüğü belirtilmiştir. Araştırmalarda erken dönemde üretilen IL-6 kas kontraksiyonu ile ilişkilendirilirken, geç dönemde üretilen IL-6'nın ise kas hasarından kaynaklandığı belirtilmektedir[164,165,167,170,171,173]. Nitekim IL-6'nın kas hasarı oluşturan egzersizler sonucu lezyonlu bölgeye göç eden monositler tarafından üretildiği bulunmuştur[165,167,173]. Bu nedenle pek çok sporif aktivite sırasında görülen IL-6 artışının etkinlik sırasında gerçekleşen kas kasılmasının tipleri yanında egzersizin süre ve şiddetindeki değişikliklere göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalarda dolaşım TNF-α ve IL-6 seviyesinin, kortizol ile paralellik gösterecek şekilde sirkadien bir ritmi olduğu tespit edilmiştir[175]. Öte yandan egzersiz sonrası dolaşım kortizol seviyesindeki artışın, monosit TNF-α ve IL-6 üretimini baskılayıcı etkisi olabileceği de bilinmektedir[168,174,175]. Bu nedenle sınırsal yükleme

antrenmanı sonrası dolaşım kortizol seviyesinin en yüksek seviyesine ulaşması, olası sitokin yanıtının baskılanmasına da neden olmuş olabilir.

Dolaşımda seviyesi yükselen sitokinlerin (TNF-α, IL-1, IL-6) etkilerini enflamasyon ve metabolik düzenleyicilikleri ile sınırlandırmak mümkün değildir. Özellikle santral sinir sistemi üzerindeki etkileri sonucunda depresyon, anksiyete, iştah kaybı, halsizlik, uyku bozukluğu, ağırlık kaybı, susuzluk hissi kaybı, cinsel isteksizlik gibi sürantrene sporcularda görülen davranış değişikliklerine de neden olmaktadır[5,6,140,176,177,178,179,180,181]. Ağır antrenmanlar kaslarda ve eklemlerde doku hasarlanmasına neden olurken, antrenmanlar arasında dinlenme süresinin yetersizliği başlangıçta lokal olan enflamasyonun, izleyen dönemde sistemik inflamasyonun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir[5,6,7,12]. Yapılan çalışmalarda sürantrenman sendromu yaşayan sporcuların dolaşımda TNF-α, IL-1 ve IL-6 seviyelerinin normal sporculara oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir[6,176].

C-Reaktif protein doku hasarı sonrası nekrotik dokunun temizlenmesinde etkin rol oynaması yanında, inflamasyon sırasında ortaya çıkabilecek yıkımın kontrol altına alınmasından sorumludur[152,153,154,155]. Yapılan çalışmalarda CRP dolaşımdaki seviyesinin maraton, triatlon gibi uzun süreli güç egzersizlerden sonra CK konsantrasyonu ile paralel olarak artış gösterdiği ve en yüksek değerine 24 saat sonra ulaştığı belirtilmektedir[154,210,211]. 15, 21, 42, 56 ve 88 km. maraton yarışlarına katılan sporcularla yapılan araştırmada, yarış mesafesi uzadıkça yarış sonrası serum CRP konsantrasyon artışının daha fazla olduğu gösterilmiştir. Ayrıca antrenmanlı sporcuların yarış sonrası serum CRP konsantrasyonları, yarışlara yeterince hazırlanamamış sporculara göre daha düşük bulunmuştur[212]. Ancak iskelet kasında hasara neden olan her egzersizin sonrasında oluşabilecek hasarın boyutu, maraton yarışlarından sonra oluşan hasar kadar büyük olmayabilir. Nitekim yapılan çalışmalarda egzersizin neden olduğu kas hasarının çok şiddetli olmadığı durumlarda inflamasyon olmaksızın da egzersize uyum sürecinin tetiklenebileceği belirtilmektedir[21,23,115]. Malm ve arkadaşları 9 erkek bireye yokuş aşağı yaptırdıkları koşu egzersizi sonrasında kas fonksiyon kaybı, serum CK artışı gibi bulguların

yanında egzersizden 48 saat sonra alınan kas biyopsi örneklerinde doku hasarı tespit edildiğini, buna karşın inflamasyon bulgularına rastlanmadığını ve serum CRP seviyesinin değişmediğini göstererek bu düşünceyi desteklemişlerdir[115]. Benzer şekilde Nosaka ve arkadaşları 14 erkek öğrencinin el bileğine yapılan 24 maksimal egzentrik egzersiz sonrası, maksimal izometrik kuvvet ve eklem hareket açıklığı kaybı, kas şişliği, plazma CK ve LDH artışı gibi kas hasarı bulgularına karşın, plazma CRP, IL-6 ve TNF-α değerlerinin değişmediğini belirtmişlerdir[113].

Bizim çalışmamızda yapılan antrenman yüklenmeleri sonrasında kas hasarı bulguları görülmekle beraber, bu olası tablo CRP, TNF-α ve IL-6 gibi serumda inflamasyon belirteçlerinde anlamlı değişikliklere yol açmamıştır. Bu tablo kas hasarının boyutunun, maraton gibi uzun süreli egzersizlerde yada egzersize alışkın olmayan kişilerde görülen kas hasarı boyutu kadar büyük olmayışından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Bu çalışmada sporcuların antrenmanlarda 30 metre sprintlerle yapılan yüklenmelere uyum sağladıkları, ancak antrenman şeklini değiştirmeden sprint sayısının (kapsamının) arttırıldığı sınırsal yüklenmelerin kas hasarına neden olabildiği ve hasarın kas dokusunda fonksiyon kaybına yol açarak uzun süreli yorgunluk oluşturabildiği görülmüştür.
- Çalışmanın ilk antrenmanı, 5. haftada yüklenme antrenmanı ve 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanı, sporcuların serum CK ve LDH düzeylerinin artışına neden olmuştur. Buna karşın antrenmanı izleyen 24 saatlik sürede serum CK düzeyinin, 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanından sonra 5. haftaya oranla daha yüksek bulunması, bu antrenmanın kas hücrelerinde yarattığı hasarın boyutundaki farklılığı işaret edebilir.
- Sınırsal yüklenme antrenmanının ertesi günü sporcuların kas kuvveti, esneklik ve sürat performanslarının düşmüş olması ve bu performans kaybının 9 gün gibi

uzun bir süre devam etmiş olması, yapılan yüklemenin uzun süreli yorgunluğa yol açmış olabileceğini göstermiştir.

- Ölçüm alınan üç haftada da sporcuların esnekliklerinin antrenmanı izleyen 24 saatlik sürede düşmesi, esneklik kaybının olası kas hasarında en belirgin gösterge olabileceğini düşündürmektedir. Diğer taraftan antrenmandan 24 saat sonra esneklik kaybının 6. haftada 1. haftaya oranla daha fazla olduğunun görülmesi, antrenmanların neden olduğu hasarın boyutunun yarattığı etkiyi göstermesi açısından önemlidir.
- Çalışmanın ilk antrenmanı ve beşinci haftada yüklenme antrenmanı sonrasında hasar bulguları olan LDH ve CK seviyelerinde artış olmasına karşın, ertesi günü sporcuların kas kuvveti ve sürat performanslarında herhangi bir azalma görülmemesi, Antrenman sonrası verilen 24 saatlik dinlenme süresinin toparlanma için yeterli olduğunu düşündürmektedir. Diğer taraftan bu değişkenlerin 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanının ertesi günü düşerek uzun süre antrenman öncesi değerlerine dönmemiş olması, olası kas hasarının boyutlarının performanstaki toparlanmayı doğrudan etkilediğini ve buna bağlı olarak da yorgunluk süresini uzattığını düşündürmüştür.
- İlk antrenman ve 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanı serum kortizol seviyesinde artışa neden olmuştur, ancak bu artışın 6. haftada sınırsal yüklenme antrenmanından sonra daha yüksek olması, sporcuların sınırsal yüklenme antrenman sürecinde daha fazla strese maruz kaldıklarını göstermektedir. Öte yandan 5. haftada yapılan antrenman sonrası kortizol değerlerinde anlamlı değişimin görülmemesi, sporcuların antrenmanlara uyum sağladığını göstermesi açısından önem kazanmaktadır.
- 6. haftada yapılan sınırsal yüklenme antrenmanın serum IGF-1 artışına yol açması, anabolik süreci de tetiklediğini düşündürmektedir.
- Sprint egzersizlerinin sporcularda kas hasarı bulgularını ortaya çıkarmasına karşın, serum CRP, TNF-α ve IL-6 konsantrasyonlarında anlamlı değişikliklere

yol açmaması, kas hasarının boyutunun dolaşımda inflamasyon bulgularını etkileyecek kadar büyük olmayışından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

- Bu sonuçlar bize kuvvet, sürat ve esneklik performanslarındaki kayıpların, uzun süreli yorgunluktan kaçınmak için antrenörlere somut değerler sunduğunu göstermektedir. Performans ölçümleriyle sporcular takibe alınarak, gerekli durumlarda dinlenme süreleri uzatılabilir. Performans ölçümlerinin yanı sıra sezon içerisinde belirlenen zamanlarda, antrenman öncesi ve sonrası venöz kan düzeyindeki artışların zamanlaması göz önünde bulundurularak bakılan CK, LDH enzimlerinin ve kortizol, IGF hormonlarının seviyesi yapılan yüklenmelerin sporcular üzerindeki etkileri hakkında bilgi verebilir. Bu sayede sporcuların hem sürantrenman olmaları engellenebilir, hem de antrenman yüklenmeleri uygun zamanlarda yapılarak sportif form durumları yükseltilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. **Bomba TO**. *Antrenman Kuramı ve Yöntemi*. 2. Baskı, Ankara: Bağırdan Yapımevi, **1998**.
2. **Prokop L**. *Spor Hekimliğine Giriş*. 3. Baskı, İstanbul: **1983**: 3-5.
3. **Kellmann M.** *Enhancing Recovery, Preventing Underperformance in Athlete*. 1th ed., Champaign, IL: Human Kinetics, **2002**.
4. **Matveyev LP.** *Antrenman Dönemlemesi,* 1. Baskı, Ankara: Bağırgan Yayımevi, **2004**.
5. **Sharon AP, Denise LS.** *Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance*. 2th ed, San Francisco: Benjamin Cummings Publishing, **2003**.
6. **Lucille LS.** Cytokine hypothesis of overtraining: A physiological adaptation to excessive stress?. *Medicine Science in Sports Exercise*, **2000**; 32(2):317-331.
7. **Mackınnon LT.** Overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunology and Cell Biology,* **2000**; 78:502-509.
8. **Wilmore JH, Costil DL**. *Physiology of Sport and Exercise*. 3th ed., Champaign, IL: Human Kinetics, **2004**.
9. **Jeremy A, Robert JK.** Exercise dependence and overtraining: The psychological consequences of excessive exercise. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, **2001**;10(1):199-222.
10. **Uusitailo, Arja LT.** Overtraining. *Physician Sports Medicine*, **2001**; 29(5):28-39.
11. **Meeusen R, Duclos M, Gleeson M, Rietjens G, Steinacker R, Urhausen A.** Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome ECSS position statement. *Europen Journal of Sport Science*, **2006**; 6(1):1-14.
12. **Ball D, Herrington L.** Training and overload: adaptation and failure in the musculoskeletal system. *Journal of Bodywork and Movement Therapies,* **1998**; 2(3); 161-167.

13. **Halson SL, Matthew WB, Romaın M, Bart B, Mıchael G, Davıd AJ, Asker EJ.** Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol*, **2002**; 93:947-956.
14. **A Skurvydas VS, D Mickeviciene SK, Stanislovaitis A, Mamkus G.** Effect of age on metabolic fatigue and on indirect symptoms of skeletal muscle damage after stretch-shortening exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* **1985**; 13(3):889-894.
15. **Baechle TR, Earle RW.** *Essentials of strength training and conditioning, national strength and conditionıng association*. 2th ed, United States of America: Human Kinetics, **2000**
16. **Astrand PO, Rodahl K. Dahl HA, Stromme SB.** *Text Book of Work Physiology*. 4th ed, Champaign, IL: Human Kinetics, **2003**.
17. **McArdle WD, Frank IK, Victor LK.** *Essentials of Exercise Physiology*. 2th ed, Lippincott Williams, **2000**.
18. **Stupka N, Tarnopolsky MA, Yardley NJ, Phillips SM.** Cellular adaptation to repeated eccentric exercise induced muscle damage, *J Appl Physiol* **2001**; 91:1669-1678.
19. **Friden J, Lieber RL.** Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoiskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand*, **2001**; 171: 321-326.
20. **Allen DG.** Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiol Scand*, **2001;** 171: 311-319.
21. **Nosaka K, Lavender A, Newton M, Sacco P.** Muscle damage in resistance training, is muscle damage necessary for strenght gain and muscle hypertrophy?. *International Journal of Sport and Health Science*, **2003**; 1(1):1-8.
22. **LaStayo C P, Woolf MJ, Lewek DM, Mackler LS, Reich T, Lindstedt LS.** Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, **2003**; 33:557-571.
23. **Proske U, Morgan DL.** Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol*, **2007**; 537: 333-345.
24. **Tskhovrebova L, Trinick J.** Role of tintin in vertebrate striated muscle. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci,* **2002**; 357: 199-206.
25. **Whitehead NP, Morgan DL, Gregory JE, Proske U.** Rises in whole-muscle passive tension of mammalian muscle after eccentric contractions at different lengths. *J Appl Physiol,* **2003**; 95: 1224-1234.
26. **Allen DG.** Skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue, damage and diseas. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, **2004**; 31:485-493.
27. **Costill DL, Pascoe DD, Fink WJ, Robergs RA, Barr SI, Pearson D.** Impaired muscle glycogen resynthesis after eccentric exercise. *J Appl Physiol*, **1990**; 69:46-50.
28. **Asp SA, Richer EA.** Decreased insulin action on muscle glucose transport after eccentric contractions in rats. *J Appl Physiol*, **1995**; 79;1338-1345.
29. **Asp SA, Daugard JR.** Eccentric exercise decreases transporter GLUT4 protein in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, **1995**; 482:705-712.
30. **Friden J, Sjostrom M, Ekblom B.** Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *International Journal of Sports Medicine*, **1983**; 4:170-176.
31. **Eston R, Byrne C, Twist C.** Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. *Journal of Exercise Science and Fitness*, **2003**; 1(2):85-96.

32. Lavender AP, Nosaka K. Changes in fluctuation of isometric force following eccentric and concentric exercise of the elbow flexors. *Eur J Appl Physiol*, **2006**; 96:235-240.

33. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, **2000**; 33:1197-1206.

34. Norman RW, Komi PV. Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiologica Scandinavica*, **1979**; 24:106-241.

35. Komi PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: efects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sports Sciences Reviews/ACSM*, **1984**; 121:12-81.

36. Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br. J. Sports Med*, **2006**;40:260-263.

37. Thompson D, Hompson CW, Williams NC. Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, **1999**; 17:387-395.

38. Friden J, Seger J, Ekblom B. Sublethal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol*, **1988**; 57:360-368.

39. Hill AV. The physiological basis of athletic records. *American Association for the Advancement of Science*, **1925**; 21(4):409-428.

40. Bompa TO. *Sporda Çabuk Kuvvet Antrenmanı*. Bağırgan Yayımevi, Ankara: **2001**.

41. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of overtraining. *Journal of Sports Science and Medicine,* **2002;** 2:31-41.

42. Pottelger JA, Wilson GD. Training the pitcher: a hypothetical model. *NSCA Journal*, **1989**; 11:3.

43. Fleck SJ. Periodized strength training: a critical review. *The Journal of Strength and Conditioning Resea*rch, **1999**; 13:82-89.

44. Haff GG, Kraemer WJ, O'Bryant H, Pendlay G, Plisk S, Stone MH. Roundtable discussion: periodization of training. *Strength and Conditioning Journal*, **2004**; 26(1):50-69.

45. Casaburi R. Principles of exercise training. *American College of Chest Physicians,* **1992**; 101:263-267.

46. Hoffman JR. Periodized training for the strengh/power athlete. *NSCA Performance Training Journal*, **2002**; 1(9):8-12.

47. Brown LE. Fractal periodization. *NSCA Performance Training Journal*, **2003**; 1(8):6-9.

48. Kraemer WJ, Ratamess OH. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine Science in Sports Exercise*, **2004**; 36(4):674-688.

49. Shadgan B. *Over-training syndrome in aquatic sports*. In: Csanto C. Racing Canoeing. International Canoe Federation, **2004**: 162-166.

50. Budgett R. Overtraining syndrome. *J. Sports Med,* **1990**; 24(4):231-236.

51. Budgett R. Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *Br J Sports Med,* **1998**; 32:107-110.

52. Lehmann MJ, Lormers W, Opıtz-Gress A, Steınavker JM, Nerzer N, Foster C, Gastmann U. Training and overtraining: an overview and experimental result in endurance sports. *The journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **1007**; 37(1):7-17.

53. Guyton AC, Hall JE. *Tıbbi Fizyoloji*. 10, Ankara: Nobel Kitapevi, **2001**.

54. Berne MR, Levy NM, Koeppen MB, Stanton BA. *Fizyoloji*. 5.baskı. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri, **2008**.

55. Kraemer WJ, Spiering B. Skeletal muscle physiology: plasticity and responses to exercise. *Hormone Research*, **2006**; 66(1):2-16.

56. Ganong WF. *Tıbbi Fizyoloji*. 20. baskı. Ankara: Nobel Kitapevi, **2002**.

57. Vierck J, Oreilly B, Hossner K, Antonio J, Byrne K, Dodson M. Satellite cell regulation follwing myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biology International,* **2000**; 24(5):263-272.

58. Zammit PS, Partridge TA, Yablonka Z. The skeletal muscle satellite cell: the stem cell that came in from the cold. *Reuveni Journal of Histochemistry Cytochemistry*, **2006**; 54(11):1177-1191.

59. Nelson AG, Driscoll NM, Landin DK, Young MA, Schexnayder IC, Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of Sports Sciences*, **2005**; 23(5):449-454.

60. Faulkner JA. Terminology for contractions of muscles during shortening, while isometric, and during lengthening. *J Appl Physiol*, **2003**; 95:455-459.

61. Doss WS, Karpovich PV. A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. *J Appl Physiol*, **1965**; 20:351-353.

62. Cavagna GA, Komarek L, Mazzole S. The mechanic of sprint running. *J. Physiol*, **1971**; 217:709-721.

63. Chelly SM, Denis C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, **2001**; 33(2):326-333.

64. Luhtanen P, Komi PV. Force-power, and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. *Eur J Appl Physiol*, **1980**; 44:279-289.

65. Lindstedt SL, Reich TE, Keim P, Lastayo PC. Do muscles function as adaptable locomotor springs? *The Journal of Experimental Biology*, **2002**; 205:2211-2216.

66. Laffaye G, Bardy BG, Durey A. Leg stiffness and expertise in men jumping. *Med Sci Sports Exerc*, **2005**; 37(4):536-543.

67. Brughelli M, Cronin J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scand J Med Sci Sports*, **2008**; 18:417-426.

68. Ishikawa M, Komi PV. The role of the stretch reflex in the gastrocnemius muscle during human locomotion at various speeds. *J Appl Physiol,* **2007**; 103:1030-1036.

69. Komi PV, Gollhofer A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, **1997**; 13:451-460.

70. Reich TE, Lindstedt SL, LaStayo PC, Pierotti DJ. Is the spring quality of muscle plastic?. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol*, **2000**; 278:1661-1666.

71. Flitney FW, Hirst DG. Filament sliding and energy absorbed by the cross-bridges in active muscle subjected to cyclıcal length changes. *J Physiol*, **1978**; 276:467-479.

72. Fox EL, Bowers RW, Foss ML. *Beden Eğitimi ve Sporun Fizyolojik Temelleri*. 2. baskı. Ankara: Bağırgan Yayımevi, **1999**.

73. Fox EL, Robinson S, Wiegman DL. Metabolic energy sources during continuous and interval running. *J Apply Phsiol*, **1969**; 27(2):174-178.

74. Parra J, Cadefau JA, Rodas G, Amıgo N, Cusso R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol.Scand*, **2000**; 169:157-165.

75. Sahlin K, Tonkonogı M, Söderlund K. Energy supply and muscle fatigue in humans, Acta Physiol Scand, **1998**; 162:261-266.

76. **Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S.** Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Apply Phsiol*, **1993**; 75(2):712-719.

77. **Bionc S, Casas H, Duche P, Beaure B, Bedu M.** Effect of recovery duration of the force velocity relationship. *Int J Sports Med*, **1998**; 19:272-276.

78. **Thorstensson A, Sjödin B, Karlsson J.** Enzyme activities and muscle strength after sprint training in man. *Acta Physiol Scand*, **1975**; 94:313-318.

79. **Balsam PD, Seger JY, Sjödin B, Ekblom B.** Maximal-intensity intermittent exercise effect to recovery duration. *Int J Sports Med*, **1992**; 13(7):528-553.

80. **Roberts AD, Billeter R, Howald H.** Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med*, **1982**; 3:18-21.

81. **Astrand I, Astrand P, Rodahl K.** Maximal heart rate during work in older men. *J Appl Physiol*, 1959; 14(4)562-566.

82. **Gass GC, Roger S, Mitchell R.** Blood lactate concentration following maximum exercise in trained subjects. *Brit J Sports Med*, **1981**; 15(3):172-176.

83. **Dodd S, Powers SK, Callender T, Brooks E.** Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. *J Appl Physiol*, **1984**; 57:1462-1465.

84. **Draper N, Bird EL, Coleman I, Hodgson C.** Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and rpe in climbing. Journal *of Sports Science and Medicine*, **2006**; 5:97-105.

85. **Saltın B, Astrand P.** Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*, **1967**; 23(3):353-358.

86. **Ivy JL, Goforth HW, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB.** Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol,* **2002**; 93:1337-1344.

87. **Macdougall JD, Ward GR, Sale DG, Sutton JR.** Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J Appl Physiol*, **1977**; 42(2):129-132.

88. **Brooks GA, Brauner KE, Cassens RG.** Glvcogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am J Physiol*, **1973**; 224(5):1162-1166.

89. **Dawson B, Fitzsimons M, Gren S, Goodman C, Carey M, Cole K.** Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol*, **1998**; 78:163-169.

90. **Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geyssant A, Lacour JR.** Ergometric and metabolic adaptation to a 5 s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol*, **1993**; 68:408-414.

91. **Gass GC, Roger S, Mıtchell R.** Blood lactate concentration following maximum exercise in trained subjects. *Br J Sports Med*, **1981**; 15(3):172-176.

92. **Gharbi A, Chamari K, Kallel A, Ahmaidi S, Tabka Z, Abdelkarim Z.** Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *Journal of Sports Science and Medicine*, **2008**; 7:279-285.

93. **Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M.** Metabolic profile of high-intensity intermittent exercises, *Medicine Science Sports and Exercise*, **1997**; 29:390-395.

94. **Weltman A, Seip R, Snead D, Weltman JY, Haskvitz EM, Evans WS, Veldhuis JD, Rogol AD.** Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med*, **1992**; 13:257-263.

95. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, **1991**; 63:101-107.

96. Allen WK, Seals DR, Hurley BF, Eshanı AA, Haberg JM. Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *J App. Physiol*, **1985**; 58:1281-1284.

97. Ocel JV, Miller LE, Pierson LM, Wootten DF, Hawkins BJ, Myers J, Herbert WG. Adaptation of pulmonary oxygen consumption slow component following 6 weeks of exercise training above and below the lactate threshold in untrained men. *American College of Chest Physicians*, **2003**;124:2377-2383.

98. Clair GAS, Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med,* **2004**; 38:797-806.

99. Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Sciences*, **1997**; 15:247-256.

100. Cheetham ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Human muscle metabolism during sprint running. *J Appl Physiol*, **1986**; 61(1):54-60.

101. Joness DA, Newham DJ, Torgan C. Mechanic influences on long lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain. *Journal of Physiology*, **1989**; 412:415-427.

102. Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P. The repeated bout of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *Eur J Appl Physiol*, **2001**; 85:34-40.

103. McHugh MP. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, **2003**; 13:88-97.

104. Moritani T, Muramatsu S, Muro M. Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. *Am J Phys Med*, **1987**; 66(6):338-50.

105. Vincent HK, Vincent KR, The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle fonction following resistance exercise. *J Sports Med*. 1997;18:431-437.

106. Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA, Armstrong RB. Excitation contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **2001**; 29:82-87.

107. Morgan DL, Gregory JE, Proske U. The influence of fatigue on damage from eccentric contraction in the gastronemius muscle of the cat. *J Physiol*, **2004**; 561(3):841-850.

108. Howell JN, Chleboub G, Conatser R. Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in human. *Journal of Physiology*, **1993**; 464:183-196.

109. Ishikawa M, Dousset E, Avela J, Kyrolanien H, Kallio J, Linnamo V, Kuitunen S, Nicol C, Komi PV. Changes in the soleus muscle architecture after exhausting stretch-shortening cycle exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*, **2006**; 97:298-306.

110. Johns RJ, Wright V. Relative importance of various tissues in joint stiffness. *J Appl Physiol*, **1962**; 17:824-828.

111. Howell JN, Chila AG, Ford G, David D, Gates T. An electromyographic study of elbow motion during post exercise muscle soreness. *J Appl Physiol*, **1985**; 58(5):1713-1718.

112. Whitehead NP, Weerakkody NS, Gregory JE, Morgan DL, Proske U. Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *Journal of Physiology*, **2001;** 533(2):593-604.

113. Nosaka K, Clarkson PM. Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc*, **1996**; 28:953-961.

114. Schwane JA, Johnson SR, Vandenakker CB, Armstrong RB. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **1983**; 15:51-56.

115. Christer M, Sjöberg B, Lenkei R, Renström P, Lundberg IE, Ekblom B. Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *J Physiol*, **2004:** 556(3)983-1000.

116. Nicol C, Komi PV, Horita T, Kyrolainen H, Takala TES. Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise. Eur J Appl Physiol, **1996**; 72:401-409.

117. Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyrolainen H. Stretch-shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology*, **1996**; 73:393-403.

118. Avela J, Komi PV. Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stifness after long-lasting stretch-shortening cycle (SSC) exercise. *European Journal of Applied Physiology*, **1998**; 78:403-410.

119. Avela J, Komi PV. Interaction between muscle stifness and stretch reflex sensitivity after long-term stretch-shortening cycle (SSC) exercise. *Muscle and Nevre*, **1998**; 21:1224-1227.

120. Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyrolainen H. Effect of exhausting stretch shortening cycle exercise on the time course of mechanical behaviour in the drop jump: possible role of muscle damage. *Eur J Appl Physiol*, **1999**; 79: 160-167.

121. Duchateau J, Hainaut K, Behaviour of short and long latenc reflexes in fatigued human muscles. *J Physiol*, **1993**;471:787-799.

122. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*, **2002**; 81:52-69.

123. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmr JT, Metter EJ, Hurley BF, Rogers MA. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol*, **2000**; 88(3).1112-1118.

124. Lieber RL. *Skeletal Muscle Structure and Function: İmplications for Rehabilitation and Sports Medicine*. Philadelphia: Williams and Wilkins, **1992**: 280-283,

125. Totsuka M, Nakaji S, Suzuki K, Sugawara K, Sato K. Break point of serum creatine kinase after endurance exercise. *J Appl Physiol*, **2002:** 93:1280-1286.

126. Young A. Plasma creatine kinase after the marathon a diagnostic dilemma, *Br J Sports Med*, **1984**; 18(4):269-272.

127. Dargie H, Elliott A, Rumley AG, Pettigrew AR, Colgan ME, Taylor R, Grant S, Manzie A, Findlay I. During marathon training serum lactate dehydrogenase and creatine kinase. *J Sports Med,* **1985**; 19:152-155.

128. Schneider CM, Dennhy CA, Rodearmel SJ, Hayward JR. Effects of physical activity on creatine phosphokinase and the isoenzyme creatine kinase-MB. *Annals of Emergency Medicine*,**1995:** 25:520-524.

129. Havas E, Komulainen J, Vihko V. Exercise-induced increase in serum creatine kinase is modified by subsequent bed rest. *Int J Sports Med*, **1997**; 18:578-82.

130. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*, **2007**; 14:1-22.

131. Rose LI, Bousser JE, Cooper KH. Serum enzymes after marathon running. *J Appl Physiol*, **1970**; 29(3):355-357.

132. Friden J, Lieber RL. Serum creatine kinase level is a poor predictor of muscle function after injury. *Scand J Med Sci Sports*, **2001**: 11;126-127.

133. Schuttle JE, Townsend EJ, Hugg J, Shoup RF, Malina RM, Blomqvist CG. Density of lean body mass is greater in blacks than in whites. *J Appl Physiol*, **1984**; 56,1647-1649.

134. Worral JG, Phongsathorn V, Hooper RJ, Paice EW. Racial variation in serum creatine kinase unrelated to lean body mass. *Br J Rheumatol*, **1990**; 29:371-373.

135. Knitter AE, Panton L, Rathmacher JA, Petersen A, Sharp R. Effects of b-hydroxy-b-methylbutyrate on muscle damage after a prolonged run. *J Appl Physiol,* **2000**; 89:1340-1344.

136. Raimondi GA, Puy RJM, Raimondi AC, Schwarz ER, Rosenberg M. Effects of physical training on enzymatic activity of human skeletal muscle. *Biomedicine,* **1975**; 22:496-501.

137. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med*, **2003**; 33(2):145-64.

138. Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *J Clin Med*, **1946**; 6:117-230.

139. Fry AC, Kraemer WJ, Ramsey LT. Pituitaryadrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J. Appl. Physiol*, **1998**; 85(6):2352-2359.

140. Kunz-Ebrecht SR, Mohamed-Ali V, Feldman PJ, Kirschbaum C, Steptoe A. Cortisol responses to mild psychological stress are inversely associated with proinflammatory cytokines. *Brain Behavior and Immunity*, **2003**; 7:373–383.

141. Harley HL, Mason JW, Hogan RP, Jones LG, Kotchen TA, Mougey EH, Wherry FE, Pennıngton LL, Rıcketts PT. Multiple hormonal responses to graded exercise in relation to physical training. *J. Appl. Physiol*. **1972**; 33(5):602-606.

142. Davies CSM, Few JD. Efects of exercise on anrenokortical function. *J Appl Physiol*, **1973**; 35(6):887-891.

143. Perna FM. Cognitive-behavioral intervention effects on mood and cortisol during exercise training. *Annals of Behavioral Medicine*, **1998**; 20(2):92-98.

144. Florini JR. Hormonal control of muscle growth. *Muscle and Nerve,* **1987**; 10:577-598.

145. Herbert T, Cohen S. Depression and Immunity: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, **1993**; 113(3):472-486.

146. Michael G. Immune Function in sports and exercise. *J Appl Physiol*, **2007**: 103:693-699.

147. Ostrowski K, Hermann C, Bangash A, Schjerlin P, Nielsen JN, Pedersen BK. A trauma-like elevation of plasma cytokines in human in response to treadmill running. *Journal of Physiology*, **1998**; 513.(3):889-894.

148. Cooper DM, Aizik SR, Schwindt C, Zaldivar F. Dangerous exercise: lesson learned from dysregulated inflammatory responses to physical activity. J Appl Physiol, **2007**; 103:700-709.

149. Frenette J, Pıerre M, Cote CH, Pizza MF. Muscle impairment occurs rapidly and precedes inflammatory cell accumulation after mechanical loading. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol,* **2002**; 282:351-357.

150. Betterfield TA, Best TM, Merrick MA. The dual roles of neutrophils and macrophages in inflammation*:* A critical balance between tissue damage and repair. *Journal of Athletic Trining*, **2006**; 41(4):457-465.

151. Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *Journal of Strenght and Conditioning Research*, **2005**; 19(1):16-22.

152. Ostrowski K, Rohde T, Asp S, Schjerling P, Pedersen BK. Pro- and anti- inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. *Journal of Physiology*, **1999**; 515(1):289-291.

153. Ceciliani F, Giordano A, Spagnolo V. The systemic reaction during inflammation: the acute phase proteins. *Protein Pept Lett.* **2002**; 9(3):211-23.

154. Kasapis K, Thompson PD. The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers: a systematic review. *J Am Coll Cardiol*, **2005**; 45:1563-1569.

155. Black S, Kushner I, Samols D. C-reactive protein*. J Biol Chem*, **2004**; 279(47):48487-48490.

156. Stupka N, Lowther S, Chorneyko K, Bourgeoıs JM, Hogben C, Tarnopolsky MA. Gender differences in muscle inflammation after eccentric exercise. *J Appl Physiol*, **2000**; 89:2325-2332.

157. Nieman DC, Dumke CL, Henson DA, McAnulty SR, Gross SJ, Lind RH. Muscle damage is linked to cytokine changes following a 160-km race. *Brain Behavior and Immunity*, **2005**; 19:398-403.

158. Nielsen S, Pedersen BK. Skeletal muscle as an immunogenic organ. *Current Opinion in Pharmacology,* **2008**; 8:342-351.

159. Pedersen BK, Akerström TCA, Nielsen AR, Fischer PC. Rol of myokine is in exercise and metabolism. *J Appl Physiol*, **2007**; 103:1093-1098.

160. Cannon JG, Kluger MJ. Endogenous pyrogen activity in human plasma after exercise. *Science,* **1983**; 220:617-619.

161. Pedersen BK, Toft AD. Effects of exercise on lymphocytes and cytokines. *British Journal of Sports Medicine,* **2000**; 34:246-251.

162. Pedersen BK, Ostrowski K, Rohde T, Bruunsgaard H. The cytokine response to strenuous exercise. *Can J Physiol Pharmacol*, **1998**; 76:505-511.

163. Pedersen BK, Steensberg A, Fischer C, Keller C, Keller P, Plomgaard P, Febbraıo M, Saltın B. Searching for the exercise factor: is IL-6 a candidate? *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, **2003**; 24:113-119.

164. Pedersen BK, Steensberg A, Schjerling P. Topical review: muscle-derived interleukin-6: possible biological effects. *Journal of Physiology*, **2001**; 536(2):329-337.

165. Nieman DC, Canarella NSL, Fagoaga OR, Henson DA, Utter A, Davis JM, Williams F, Butterworth DE. Influence of mode and carbohydrate on the cytokine response to heavy exertion. *Med. Sci. Sports Exerc*, **1998**; 30:671-678.

166. Ostrowski K, Schjerling P, Pedersen BK. Physical activity and plasma interleukin-6 in humans-effect of intensity of exercise. *Eur J Appl Physiol*, **2000**; 83:512-515.

167. Steensberg A, Febbraio MA, Osada T, Schjerling P, Hall VG, Saltin B, Pedersen BK. Interleukin-6 production in contracting human skeletal muscle is influenced by pre-exercise muscle glycogen content. *J Physiol*, **2001**; 537:633-639.

168. Starkie RL, Rolland J, Angus DJ, Anderson MJ, Febbraio MA. Circulating monocytes are not the source of elevations in plasma IL-6 and TNF-a levels after prolonged running. *Am J Physiol Cell Physiol*, **2001**; 280:769-774.

169. Jonsdottir IH, Schjerling P, Ostrowski K, Asp S, Richter EA, Pedersen BK. Muscle contractions induce interleukin-6 mRNA production in rat skeletal muscles. *Journal of Physiology*, **2000**; 528(1):157-163.

170. Pedersen BK, Steensberg A, Keller P, Keller C, Fischer C, Hiscock N,·Hall GV,·Plomgaard P, Febbraio MA. Muscle-derived interleukin-6: lipolytic, anti-inflammatory and immune regulatory effects. *Eur J Physiol*, **2003**; 446:9-16.

171. Toft AD, Jensen LB, Bruunsgaard H, Ibfelt T, Kristensen JK, Febbraio M, Pedersen BK. Cytokine response to eccentric exercise in young and elderly humans. *Am J Physiol Cell*, **2002**: 283:289-295.

172. Keller C, Keller P, Marshal S, Pedersen BK. IL-6 gene expression in human adipose tissue in response to exercise effect of carbohydrate ingestion. *J Physiol*, **2003**; 550(3):927-931.

173. Ostrowski K, Rohde T, Zacho M, Evidence that interleukin-6 is produced in human skeletal muscle during prolonged running. *J Physiol,* **1998**; 508:949-953.

174. Starkie RL, Angus DJ, Rolland J, Hargreaves M, Febbraio MA. Effect of prolonged, submaximal exercise and carbohydrate ingestion on monocyte intracellular cytokine production in humans. *Journal of Physiology*, **2000**; 528(3):647-655.

175. Derick R, Michelson D, Karp B, Petrides J, Galliven E, Deuster P, Paciotti G, Gold PW, Sternberg EM. Exercise and circadian rhythm-Induced variations in plasma cortisol differentially regulate interleukin-1β (IL-1β), IL-6, and tumor necrosis factor-α (TNFα) production in humans: high sensitivity of TNFα and resistance of IL-6. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, **1997**; 8287):2182-2191.

176. Perry JD. Exercise, injury and chronic inflammatory lesions. *Br Med Bul*. **1992**; 48:668-682.

177. Maıer SF, Watkıns LR. Cytokines for psychologists: implications for bidirectional immune-to-brain communication for understanding behavior, mood, and cognition. *Psychol Rev*, **1998**; 105:83-107.

178. Smıth RS. The macrophage theory of depression. *Med Hypoth*, **1991**; 35:298-306.

179. Dunn AJ. Interleukin-6 access to the axis. *Endocrinology*, **2004**; 145(8):3578-3579.

180. Schobıtz B, Reul JMHM, Holsboer F. The role of the hypothalamic-pituitary-adrenocorticol system during inflammatory conditions. *Crit. Rev. Neurobiol*. **1994**; 8:263-291.

181. Maes M, Verkerk R, Vandoolaeghe E. Serotonin-immune interactions in major depression: lower serum tryptophan as a marker of immune inflammatory response. *Eu Arch Psychiatry Clin Neurosci*, **1997**; 247:154-161.

182. Kotani G, Usami M, Kasahara H, Saitoh Y. The relationship of IL-6 to hormonal mediators, fuel utilization, and systemic hypermetabolism after surgical trauma. *Kobe J Med Sci*. **1996**; 47:187-205.

183. Fischer J, Hasselgren PO. Cytokines and glucocorticoids in the regulation of the "hepato-skeletal muscle axis" in sepsis. *Am Surg*, **1991**;161:266-271.

184. Evans WJ, Meredith CN, Cannon JG, Dınarrllo CA, Frontera WR, Hughes VA, Jones BH, Knuttgen HG. Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men. *J Appl Physiol*, **1986**; 61(5):1864-1868.

185. Vierck J, Oreilly B, Hossner K, Antonnio J, Byrne K, Bucci L, Dodson M. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biology International*, **2000**; 24(5):263-272.

186. Nardone A, Schieppati M. Shift of activity from slow to fast muscle during voluntary lengthening conraction of the triceps surae muscles in human. *J Physiol*, **1988**; 395:363-381.

187. Warren GL, Hermann KM, Ingalls CP, Armsrong RB. Decreased EMG median frequency during a second bout of eccentric contraction. *Med Sci Sports Exerc*, **2000**; 32:820-829.

188. Pousson M, Hoecke VJ, Goubel F. Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise. *J Biomech*, **1990**; 23:343-348.

189. Peters D, Barash IA, Burdi M, Yuan PS, Mathew L, Friden J, Lieber RL. Asynchronous functional, cellular and transcriptional changes after a bout of eccentric exercise in the rat. *J Physiol*, **2003**; 533(3):947-957.

190. Wozniak AC, Kong J. Signalling satellite-cell activation in skeletal muscle: markers, models, stretch, and potential alternate pathways. *Muscle Nerve*, **2005**; 31(3):283-300.

191. Beaune B, Blone S, Fellmann N, Bedu M, Coudert J. Serum insulinlike growth factor-I and physical performance in prepubertal Bolivian girls of a high and low socio-economic status. *Eur JAppl Physiol*, **1997**;76:98-102.

192. Bamman MM, Shipp JS, Jiang J, Gower BA, Hunter GR, Goodman A. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, **2000**; 280:383-90.

193. Kraemer WJ, Aguilera BA, Terada M, Newton RU, Lynch JM, Rosendaal G, McBride JM, Gordon SE, Hgkkinen K. Responses of IGF-I to endogenous increases in growth hormone after heavy-resistance exercise. *J Appl Physiol*, **1995**; 79(4):1310-1315.

194. Schwarz AJ, Brasel JA, Hintz RL, Mohan S, Cooper DM. Acute effect of brief low- and high-intensity exercise on circulating insulin-like growth factor (IGF) I, II, and IGF-binding protein-3 and its proteolysis in young healthy men. *Clin Endocrinol Metab*, **1996**; 81:3492-3497.

195. Cappon J, Brasel JA, Mohan S, Cooper DM. Effect of brief exercise on circulating insulin-like growth factor I. *J Appl Physiol*, **1994**; 76(6):2490-2496.

196. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. *Princıples of Exercise Testing Interpretatıon*. 3th ed, Lippincott Williams Wilkins, **1999**.

197. Fry RW, Morton AR, Garcia-Webb P, Crawford GP, Keast D. Biological responses to overload training in endurance sports. *Eur J Appl Physiol*, **1992**; 64:335-344.

198. Jeukendrup AE, Hesselink MKC, Snyder AC, Kuipers H, Keizer HA. Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *International Journal of Sports Medicine*, **1992**; 13:534-541.

199. Lehmann M, Dickhuth HH, Gendrisch G, Lazar W, Thum M, Kaminski R, Aramendi JF, Peterke E, Wieland W, Keul J. Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med*, **1991**; 12:444-452.

200. Bryne C, Eston R. Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle action. *Journal of Sports Science*, **2002**; 20:951-959.

201. Fry AC, Kraemer WJ, Borselen FV, Lynch JM, Marsit J.L, Roy EP, Triplett NT, Knuttgen HG. Performance decrements with high intensity resistance exercise overtraining. *Med. Sci. Exerc. Sports*, **1994**; 26:1165-1173.

202. Clarkson PM, Tremblay I. Exercise-induced muscle damage, repair and adaptation in humans. *J Appl Physiol*, **1988**; 65(1):l-6.

203. Twist C, Eston R. The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, **2005**; 94:652-658.

204. Coutts AJ, Reaburn P, Piva TJ, Rowsell GJ. Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol*, **2007**; 99:313-324.

205. Kraemer RR, Kilgore JL, Kraemer GR, Castracane VD. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med Sci Sports Exercise*, **1992**; 24:1346-1352.

206. Bang PJ, Degerblad BM, Enberg G, Kaijser L, Thoren M, Hall K. Exercise-induced changes in insulin-like growth factors and their low molecular weight binding protein in healthy subjects and patients with growth hormone deficiency. *Eur J Clin Invest*, **1990**; 20:285-292.

207. Duclos M, Corcuff JB, **Rashedi M, Fougere V, Manier G.** Trained versus untrained men: different immediate post-exercise responses of pituitary adrenal axis. *Eur J Appl Physiol*, **1997**; 75:343-350.

208. Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, Harman EA, Marchitelli LJ, Gordon CE, Frykman RP, Koziris LP, Triplett NT. Changes in hormonalconcentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol*, **1993**; 75(2):594-604.

209. Bruunsgaard H, Galbo H, Kristensen JH, Johansen TL, MacLean DA, Pedersen BK, Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. *Journal of Physiology*, **1997:** 499(3);833-841.

210. Taylor CG, Rogers C, Goodman C, Baynes RD, Bothwell TH, Bezwoda WR, Kramer F, Hattıngh J. Hematologic, iron-related, and acute-phase protein responses to sustained strenuous exercise. *J Appl Physiol*, **1987**; 62(2):464-469.

211. Weight LM, Alexander D, Jacobs P. Strenuous exercise: analogous to the acute-phase response? *Clin Sci (Lond)* **1991**; 81:677-83.

212. Strachan AF, Noakes TD, Kotzenberg G, Nel AE, De Beer FC. C reactive protein concentrations during long distance runing. *Br J Sports Med*, **1984**; 289:1249-1251.



Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at

www.get-morebooks.com

Kaufen Sie Ihre Bücher schnell und unkompliziert online – auf einer der am schnellsten wachsenden Buchhandelsplattformen weltweit!
Dank Print-On-Demand umwelt- und ressourcenschonend produziert.

Bücher schneller online kaufen

www.morebooks.de

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Bahnhofstr. 28
D - 66111 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscriptum.com
www.omniscriptum.com

OMNIScriptum