

**YÜKSEK ŞİDDETLİ İNTERVAL ANTRENMAN (HIIT) SONRASI
NMES (NÖROMÜSKÜLER ELEKTRİK STİMÜLASYONU) VE CORE
EGZERSİZ UYGULAMALARININ TOPARLANMA SÜRECİNDE
KAS HASARI VE ANTİOKSİDAN DÜZEYLERİNE ETKİSİ**

Tahir Volkan ASLAN

BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cemal GÜNDOĞDU
İkinci Tez Danışmanı
Doç. Dr. Nevzat DEMİRCİ**

Doktora Tezi – 2022

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

**YÜKSEK ŞİDDETLİ İNTERVAL ANTRENMAN (HIIT) SONRASI NMES
(NÖROMÜSKÜLER ELEKTRİK STİMÜLASYONU) VE CORE EGZERSİZ
UYGULAMALARININ TOPARLANMA SÜRECİNDE KAS HASARI VE
ANTİOKSİDAN DÜZEYLERİNE ETKİSİ**

Tahir Volkan ASLAN

**Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cemal GÜNDOĞDU
İkinci Tez Danışmanı
Doç. Dr. Nevzat DEMİRCİ**

Bu Araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından 2610 /
TDK-2021-2610 Proje numarası ile desteklenmiştir.

**MALATYA
2022**

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Core Kavramı.....	5
2.1.1. Core Anatomisi ve Fizyolojisi	5
2.1.2. Core Egzersiz Uygulamasının Toparlanma Üzerine Etkisi	6
2.2. NMES Uygulaması	7
2.2.1. NMES Uygulamasının Toparlanma Üzerine Etkisi.....	7
2.3. Antrenman	8
2.4. Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman (HIIT).....	8
2.5. Yorgunluk	9
2.5.1. Kas Hasarı.....	10
2.5.2. Egzersize Bağlı Kas Hasarının Oluşumu.....	11
2.5.3. Kas Hasarında Enzim Aktivitesi.....	11
2.5.4. Kas Hasarı Ölçüm Yöntemleri.....	11
2.6. Serbest Radikaller	13
2.6.1. Serbest Radikallerin Sınıflandırılması	14
2.6.2. Serbest Radikallerin Etkileri	15
2.7. Lipit Peroksidasyonu	16
2.7.1. Malondialdehit (MDA)	17
2.8. Oksidatif Stres.....	17
2.8.1. Egzersiz ve Oksidatif Stres	19
2.9. Antioksidanlar.....	19
2.9.1. Antioksidan Savunma Sistemleri.....	19
2.9.2. Antioksidanların Sınıflandırılması.....	21
2.9.3. Total Antioksidan Seviye (TAS), Total Oksidan Seviye (TOS) ve Oksidatif Stres İndeksi (OSİ).....	23

2.9.4. Egzersiz ve Antioksidanlar	23
2.9.5. Akut Egzersizde Antioksidan Savunma	24
2.10. Toparlanma	25
2.10.1. Toparlanma Çeşitleri.....	27
2.10.2. Toparlanmayı Etkileyen Faktörler	28
2.10.3. Toparlanma Yöntemleri	29
2.10.4. Egzersiz Sonrası Fizyolojik Açıdan Yenilenme	30
3. MATERYAL VE METOT	31
3.1. Araştırma İzni	31
3.2. Araştırma Gruplarının Oluşturulması	31
3.3. Araştırmanın Deneysel Tasarımı	32
3.4. Veri Toplama Araçları	36
3.4.1. Antropometrik Ölçümler.....	36
3.4.2. HIIT Egzersiz Protokolü	37
3.4.3. Algılanan Zorluk Derecesinin Belirlenmesi:	39
3.4.4. NMES ve Core Egzersiz Toparlanma Protokolleri.....	40
3.5. Kan örneklerinin Alınması ve Biyokimyasal Analizler.....	43
3.6. İstatistiksel Analiz.....	48
4. BULGULAR.....	49
5. TARTIŞMA	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	93
EK-1. Özgeçmiş.....	93
EK-2. Etik Kurul Onayı	94
EK-3. İzin Yazısı	95
EK-4. Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu	98

TEŐEKKÜR

Doktora araştırmam süresince bilgi ve deneyimleri ile bana her daim destek olan değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Cemal GÜNDOĞDU ve Doç. Dr. Nevzat DEMİRCİ' ye çok teőekkür ederim.

Aynı zamanda doktora tez izleme kurullarımda bulunarak bu araştırmaya katkı veren Doç. Dr. Őakir TÜFEKÇİ' ye;

Tezimin materyal ve metot kısmındaki katkıları için Mersin Üniversitesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Mehmet Burak Yavuz ÇİMEN'e; NMES uygulamasının yapılmasında araştırmaya eşlik eden Fizyoterapist Hasan Ali TETİKOĞLU'na; tezim için gerekli verilerin toplanmasında yardımlarını esirgemeyen Mersin Naim Süleymanoğlu Spor Lisesi öğretmenleri Atilla GÖRÜNMEZ ve İdris YILDIRIM' a, bu çalışmaya gönüllü olarak katkı sunan Mersin Naim Süleymanoğlu Spor Lisesi öğrencilerine; tez verilerinin istatistiksel analizi aşamasındaki yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Gör. Çağatay Han TÜRKSEVEN'e;

Projenin gerçekteşmesi için maddi destek sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi'ne;

Tezimin son aşamasına kadar hep yanımda olan sevgili aileme, hiçbir zaman desteğini ve anlayışını esirgemeyen eşim İmrane ASLAN' a ve varlığı ile hayatımıza anlam katan kızım Nehir ASLAN' a çok teőekkür ederim.

Tahir Volkan ASLAN

ÖZET

Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman (HIIT) Sonrası NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ve Core Egzersiz Uygulamalarının Toparlanma Sürecinde Kas Hasarı ve Antioksidan Düzeylerine Etkisi

Amaç: Bu çalışma yüksek şiddetli interval antrenman sonrası NMES ve Core egzersiz uygulamalarının toparlanma sürecinde kas hasarı ve antioksidan düzeylerine etkisini incelemek amacıyla yapıldı.

Materyal ve Metot: Araştırmaya Mersin Naim Süleymanoğlu Spor Lisesi'nde öğrenim gören sağlıklı 24 erkek öğrenci katıldı. Araştırmaya katılan öğrenciler rastgele NMES, Core egzersiz ve kontrol grubu olmak üzere eşit sayıda üç gruba ayrıldı. Araştırmada tüm gruplara HIIT egzersiz protokolü ve ardından NMES ile Core egzersiz gruplarına toparlanma protokolleri uygulandı. Kas hasarı ve antioksidan düzeyleri belirlemek amacıyla HIIT egzersiz öncesi, sonrası, toparlanma uygulamaları sonrası, 24., 48. ve 72. saatlerde olmak üzere altı farklı zamanda kan numuneleri alındı. Alınan numunelerden CK, LDH, MDA, CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS, TOS, OSİ parametreleri analiz edildi.

Bulgular: Araştırmada NMES, Core egzersiz ve kontrol grubunda yer alan katılımcıların her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında MDA, TAS ve OSİ ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edildi ($p<0.05$). Kas hasarı (CK ve LDH) parametreleri ile CAT, SOD, GSH, GSH-Px ve TOS seviyelerinde ise anlamlı farklılığa rastlanmamıştır.

Sonuç: Sonuç olarak HIIT egzersiz sonrası toparlanma sürecinde yapılan NMES ve Core egzersiz uygulamalarının; kas hasarı parametrelerine etkisinin olmadığı, bazı oksidan ve antioksidan parametreleri ise olumlu yönde etkilediği söylenebilir ve bu uygulamaların toparlanma sürecinde kullanılmasının faydalı olabileceği ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, HIIT, Kas Hasarı, NMES, Toparlanma.

ABSTRACT

The Effect of NMES (Neuromuscular Electrical Stimulation) and Core Exercise Applications on Muscle Damage and Antioxidant Levels In Recovery Process After High Intensity Interval Training (HIIT)

Aim: This study was conducted to examine the affects of NMES and Core exercise applications on muscle damage and antioxidant levels during the recovery period after high-intensity interval training.

Material and Method: 24 healthy male students studying at Mersin Naim Süleymanoğlu Sports High School participated in the research. The students participating in the study were randomly divided into three groups with equal numbers as NMES, Core exercise and control groups. In the study, HIIT exercise protocol was applied to all groups, then recovery protocols were applied to NMES and Core exercise groups. In order to determine muscle damage and antioxidant levels, blood samples were taken at six different times, before and after HIIT exercise, after recovery practices, at 24, 48 and 72 hours. CK, LDH, MDA, CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS, TOS, OSI parameters were analyzed.

Results: The participants in NMES, Core exercise and control groups were compared between the groups for each time and between the times for each group, a statistically significant difference was found between the mean of MDA, TAS and OSI ($p<0.05$). There was no significant difference in muscle damage (CK and LDH) parameters and CAT, SOD, GSH, GSH-Px and TOS levels.

Conclusion: NMES and Core exercise applications during the recovery period after HIIT exercise; it can be said it has no effect to muscle damage parameters, but affects some oxidant and antioxidant parameters positively, and it can be stated that using these applications during the recovery process may be beneficial.

Keywords: Antioxidant, HIIT, Muscle damage, NMES, Recovery.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ATP	: Adenozintrifosfat
AST	: Aspartat aminotransferaz
AZD	: Algılanan Zorluk Derecesi
BKİ	: Beden Kitle İndeksi
CAT	: Katalaz
CK	: Kreatin Kinaz
CP	: Kreatin Fosfat
G6PD	: Glukoz-6- fosfat dehidrogenaz
GSH	: Glutasyon
GSH-Rd	: Glutasyon Redüktaz
GSH-Px	: Glutasyon Peroksidaz
H⁺	: Hidrojen İyonu
HIIT	: Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
LA	: Laktik asit
LDH	: Laktat Dehidrogenaz
MDA	: Malondialdehit
NMES	: Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonu
NO	: Nitrik Oksit
OSİ	: Oksidatif Stres İndeksi
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
ROT	: Reaktif Nitrojen Türleri
RSS	: Reaktif Sülfür Türleri
SOD	: Süperoksit Dismutaz
TAS	: Total Antioksidan Seviye
TBA	: Tiobarbitürik asit
TOS	: Total Oksidan Seviye
VYY	: Vücut Yağ Yüzdesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 2.2. Hücre ve dokulara ROS'un etkisi.....	16
Şekil 2.3. Oksidatif stresli hücre.....	18
Şekil 2.4. Oksidatif dengenin bozulması.....	18
Şekil 2.5. Eksik elektronun antioksidan ile tamamlanması.....	20
Şekil 2.6. Hüresel bazda antioksidan etkinlik.....	21
Şekil 3.1. Araştırma Uygulamalarının Akış Şeması.....	35
Şekil 3.2. Antropometrik Ölçümler.....	37
Şekil 3.3. Bisiklet Ergometresi (Wingate test sistemi).....	38
Şekil 3.4. HIIT Egzersiz Protokolü.....	39
Şekil 3.5. Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu Uygulaması.....	43
Şekil 3.6. Kan örneklerinin alınması.....	44

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 2.1. Serbest radikallerin sınıflandırılması	14
Tablo 3.1. HIIT Egzersiz Protokolü Referans Tablosu.....	37
Tablo 3.2. Algılanan zorluk derecesi skalası (6-20 Borg Skalası).....	40
Tablo 3.3. Core Egzersiz Programı	41
Tablo 3.4. Core Egzersiz Hareket Görselleri	42
Tablo 3.5. Kan Alımı Akış Şeması	45
Tablo 4.1. Katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri	49
Tablo 4.2. Katılımcılara uygulanan HIIT egzersizlerin BORG skalası tanımlayıcı istatistiği.....	49
Tablo 4.3. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan CK (U/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası CK (U/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	50
Tablo 4.4. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan LDH (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası LDH (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	50
Tablo 4.5. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan MDA (nmol/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası MDA (nmol/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	51
Tablo 4.6. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan CAT (KU/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası CAT (KU/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	52
Tablo 4.7. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan SOD (U/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası SOD (U/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	52
Tablo 4.8. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan GSH (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası GSH (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	53
Tablo 4.9. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan GSH-Px (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası GSH-Px (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).....	54

Tablo 4.10. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan TAS (mmol/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası TAS (mmol/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort±ss).....	54
Tablo 4.11. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan TOS ($\mu\text{mol/L}$) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası TOS ($\mu\text{mol/L}$) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort±ss).....	55
Tablo 4.12. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan OSİ (%) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası OSİ (%) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort±ss).....	56

1.GİRİŞ

Öncelikli amaç ve odak noktasını sportif performansın oluşturduğu hareket ve antrenman biliminde uygulanan araştırmaların temel amacı; sportif performansa etki eden fiziksel, fizyolojik vb. tüm parametreleri saptayabilmenin yanında sporcu performansını mümkün olan optimum noktaya yükselterek, aynı düzeyde tutmaya çalışmaktır (1). Antrenman, sporcuların maksimum kas kütlelerine ulaşmaları ve fonksiyonel olmalarına yardımcı olmak için ilke ve yöntemlere dayalı olarak düzenlenen karmaşık bir aktivitedir (2). Bu noktada yüksek şiddetli interval antrenman (HIIT), 19. yüzyılın başlarından beri atletik performansı geliştirmede antrenman programlarının tamamlayıcı bir parçası olmuştur. Bu antrenman yöntemi, egzersiz uyarıcılarını içeren çeşitli faktörlerle tanımlanır ve belirli fiziksel adaptasyonlara bağlı olarak yüksek değişkenlere (yoğunluk, aralık sayısı ve süresi, dinlenme vb.) sahip bir antrenmandır (3). Yüksek şiddetli interval antrenman, antrenmanın yoğunluğuna bağlı olarak birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar devam edebilir ve orta yoğunluklu bir antrenmana göre fizyolojik değişim seviyesini daha fazla etkiler (4, 5).

Egzersiz anında, oksijen tüketim kapasitesi dinlenme durumuna nazaran 10-15 kat artabilir ve bu nedenle mitokondrinin serbest radikal üretim kapasitesi geçici artış gösterebilir (6, 7). Akut ve şiddetli aktivitelerde aktif dokunun oksijen gereksiniminin yeterli düzeyde karşılanamamış olması ve toksik metabolitlerin ortamdaki gereği kadar uzaklaştırılamamış olması, antioksidan mekanizmayla serbest radikaller arasında dengesizliğe sebep olarak oksidatif stres oluşturur. Reaktif oksijen türevi serbest radikaller vücutta bazı inflamatuvar etki gösteren maddelerle birlikte kan akışı azaltarak doku hasarını daha da ilerletmektedir (8, 9, 6). Oksijen tüketiminin artmasıyla serbest radikal üretiminde bir artış meydana gelir ve oluşan bu serbest radikaller antioksidan mekanizma tarafından enzimatik ve nonenzimatik yollarla etkisiz duruma getirilir. Antioksidanlarla reaktif oksijen türleri arasında oksidatif stres dengesizliği çıkaran egzersiz sırasında, antioksidanlarca nötrale edilen serbest radikal üretiminde artış sürerse egzersiz oksidatif strese sebep olur ve bu durum; kastaki LDH, CK ve troponin gibi kas hasarı belirteçlerinin plazmaya çıkmasıyla sonuçlanır (6, 10). Dolayısıyla özellikle minimum dinlenme süresi ile çok sayıda yoğun antrenman ve müsabaka, bir sonraki antrenman performansının taleplerini olumsuz etkileyebilir ve aşırı yüklenmeden dolayı yaralanmalara neden olabilir. Bu nedenle, yoğun bir antrenman ve

müsabakanın ardından toparlanma süreci bir sonraki antrenman için oldukça önem taşır (11). Sporcuların müsabaka sonrasındaki süreçlerinin çok önemli bir kısmını toparlanma faktörleriyle geçirmeleri sebebiyle, toparlanma süreçlerinde yapılan bu tip uygulamalar sporcuların maksimum performansa ulaşmaları açısından da oldukça önem arz etmektedir (12).

Yüksek şiddetli egzersizler sırasında kas metabolizmasındaki dominant enerji sisteminin anaerobik glikoliz olması sebebiyle bu tip aktiviteler sırasında kas ve kanda laktik asit (LA) oranlarında önemli oranda artışlar gözlenir. Laktik asit kuvvetli bir asit olduğundan $\text{Laktat}^- + \text{H}^+$ (hidrojen iyonu) şeklinde ayrışır ve bu durum metabolik asidoz (pH'da azalma) ve yorgunluğa neden olur. Bu sebeple kas ve kandan laktik asidin uzaklaştırılma hızı, bilhassa tekrarlayan egzersiz performansları geliştirdiğinden toparlanmanın önemli bir kısmını meydana getirmektedir (13).

Yüklenme sonlarında yeterli oranda toparlanma olmaması yorgunluğun sürekli duruma gelmesine ve kronik yorgunluğun oluşması sonucunda da sakatlıkların ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir (14). Dolayısıyla sporcuların psikolojik aynı zamanda da fizyolojik toparlanma süreçleri; antrenmanların bir parçası olarak düşünülmesini, sportif müsabakalara katılım gösteren sporcu bireylerin bir sonraki aktiviteye daha hazır bir şekilde çıkabilmesi ve performanslarının yükselebilmesi amacıyla ileriye yönelik toparlanma faktörleriyle ilişkili programların planlanarak uygulanmış olmasını gerekli kılar (15, 16). Egzersiz sonrası çeşitli yöntemler yardımıyla toparlanma yapılabilen ve NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ile Core egzersiz uygulamaları da yorgunluk sonrası toparlanma yöntemlerindedir.

Core egzersizleri, merkezi kısmı stabilize etmek, çevre kasların kontrolünü geliştirmek, motor kontrol egzersizleri, kilo kontrolü, omurga ve kas-iskelet sistemi yaralanmaları ve performansı artırmak isteyen bireylerin tercih ettiği bir programdır (17). Gövde kaslarının, özellikle de vücudun lumbo-pelvik bölgesinde yer alan kasların, hareket sırasında vücudun alt ve üst ekstremiteleri arasında bağlantının kurulmasıyla enerjinin transfer edilmesinde, bununla birlikte gövdeye yansıyan yükü desteklemede, omurganın ve sinir köklerinin muhafaza edilmesinde çok önemli rolleri vardır. Core egzersizleri genellikle nedensiz bel ağrılarının rehabilitasyonunda kullanılmakla birlikte bu tip egzersizlerin sağlıklı birey ve sporcuların denge ve atletik performans gelişimlerinde de önemli rol oynadığı belirlenmiştir (13).

Nöromusküler elektrik stimülasyonu, nöromusküler sistemin düşük voltajlı elektrik akımlarıyla uyarılması sonucunda, aktivite ya da tedavi esnasında ilgili kası innerve eden sinir lifleri ile denerve kasta kas liflerini kontraksiyon oluşturmak için elektrik akımıyla uyarmak ve aynı zamanda kasları güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (18). Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu, yaygın olarak sağlıklı yetişkinler için klinik alanda ve nöromusküler adaptasyonu sağlamak için kuvvet antrenmanı aracı olarak veya kas kitlesini ve fonksiyonunu korumak için rehabilitasyon amaçlı kullanılır (19).

Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmada yüksek şiddetli interval antrenman sonrası toparlanma sürecinde NMES ve Core Egzersiz uygulamalarının etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmanın amacı;

Araştırmanın amacı, yüksek şiddetli interval antrenman (HIIT) sonrası NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ve Core egzersiz uygulamalarının toparlanma sürecinde kas hasarı ve antioksidan düzeyler üzerine etkisinin incelenmesidir.

Araştırmanın önemi;

Çoğu spor branşında arka arkaya uygulanan aşırı yüklenmelerle, günde birden fazla yapılan zorlayıcı antrenmanlar ve antrenman plan - programlanmasında yapılan bazı yanlış uygulamaların sporcuların yorgunluklarının artmasına sebep olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte egzersiz sonrası oksidatif stres ve yorgunluk seviyeleri ile kas hasarı artan sporcu bireylerin en kısa zamanda toparlanabilmelerini sağlamak amacı ile bir takım koruyucu önlemler almaları gerektiği düşünülmektedir. Bu doğrultuda; NMES ve Core egzersiz uygulamalarının, özellikle yüksek şiddetli egzersizin kas hasarı (20) ve akut oksidatif stres etkisini (21) tersine çevirerek kas hasarı ve ağrıya neden olan maddelerin vücuttan uzaklaştırılması ile birlikte antioksidan savunma sistemini güçlendirebilecek bir etki gösterebileceği düşünülmektedir. Bu bakımdan bu çalışmadan alınacak veriler, performans sporu ile sporcu sağlığı arasındaki ilişkilere de ışık tutacaktır.

Problem Cümlesi;

Yüksek şiddetli interval antrenman (HIIT) sonrası NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ve Core egzersiz uygulamalarının toparlanma sürecinde kas hasarı ve antioksidan düzeyler üzerine etkisi var mıdır?

Araştırmanın Sınırlılıkları;

- Araştırma, 15-18 yaş arası erkek öğrenciler ile sınırlıdır.
- Toparlanma uygulamaları, NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ve Core egzersiz uygulamaları ile sınırlıdır.

Araştırmanın varsayımları;

- Katılımcıların egzersiz öncesi çalışmaya dinlenmiş olarak katıldıkları varsayıldı.
- Katılımcıların maksimum performans ile egzersizleri uyguladıkları varsayıldı.
- Çalışma haricinde herhangi bir antrenman yapılmadığı varsayıldı.

Hipotezler;

Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman (HIIT) Sonrası NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu) ve Core Egzersiz Uygulamalarının Toparlanma Sürecinde Kas Hasarı, Oksidan ve Antioksidan Düzeyler üzerindeki olası etkileri ile ilgili araştırma hipotezleri aşağıda sıralanmıştır.

H1: Egzersiz sonrası NMES ve Core egzersiz toparlanma uygulamalarının kas hasarı (CK ve LDH) belirteçlerine etkisi vardır.

H2: Egzersiz sonrası NMES ve Core Egzersiz toparlanma uygulamalarının oksidan (MDA, TOS, OSİ) ve antioksidan (CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS) parametrelere etkisi vardır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Core Kavramı

Türkçe’de tam bir anatomik karşılığı olmamakla birlikte İngilizce orjinli çekirdek manasındaki Core kelimesi anlam itibariyle gövde ya da gövde stabilizasyonu gibi kelimelerle ifade edilmektedir. Core egzersizlerin birçok kitapta anatomik olarak vücudun merkez bölgesinde yer alan kas gruplarında gelişim gösterdiği belirtilmektedir (1, 22, 23). Spor bilimleri literatürü incelendiğinde ise, stabilizasyon, kuvvet ve core dayanıklılığı gibi farklı ifadelerle açıklanan core egzersizleri, vücudun merkez bölgesi olarak da tanımlanmakta ve omurga, abdominal boşluk, pelvis ve üst yapıları oluşturan, kas-iskelet ve bağ dokuların oluşturduğu abdominal, parasipinal ile gluteal gibi kasların stabilizasyonunun uygun performansı ortaya koyma yönünden de kritik olduğu nokta olarak ifade edilmektedir (24, 25).

Gövde veya bacaklar ile kollar arasındaki bağlantıyı sağlayan bölge şeklinde açıklanan Core (merkez bölge), J. Pilates tarafından merkez bölge; “kalçanın alt bölümlerine kadar (gluteal kıvrım) çevrelenen kısım şeklinde tanımlanırken,” başka bir tanımlamada, vücudun ön tarafında yer alan abdominaler, serratusler ile oblikler ve arka tarafında yer alan bel ile boyun kısmına kadar olan bölüm, aynı zamanda doğru vücut duruşuna yardımcı kas gruplarını içeren bölgeler şeklinde ifade edilmiştir (26-29).

Lumbopelvik bölge olarak da ifade edilmekle birlikte vücudun merkez bölgesi şeklinde de tanımlanan bu bölge, fonksiyonel kinetik zincir merkezini meydana getirmesi sebebiyle de aynı zamanda tüm uzuv hareketlerinin motor ve güç evi olarak belirtilmiştir. Fonksiyonel aktivitelerde, hızlanma, yavaşlama, denge ve stabilizasyon gibi motorik özellikler kuvvetli bir core bölge ile gerçekleşmektedir. Atletik performans yönüyle de vücut alt ve üst bölge hareketlerini destekleyen rolü olan Core bölgesi kaslarının antrene edilmesi ve kuvvetlendirilmesi ile kas iskelet sisteminde lumbar vertebra vb. birçok hastalığın rehabilitasyonu, tedavi edilmesi, aynı zamanda önlenmesi ve bununla birlikte atletik performansın da artırılması amaçlanmaktadır (30).

2.1.1. Core Anatomisi ve Fizyolojisi

İnsan bedeninin ağırlık merkezini de içine alarak bel, pelvis, kalça ve karın gibi vücut bölümlerini kapsayan core bölgesi toplam 29 farklı kastan oluşur ve bu kaslar

fonksiyonel hareket sırasında omurgayla birlikte, pelvis ve hareket zincirini stabilize eder. Bu kassal destek olmadan mekanik olarak sabit olamayacak olan omurga, stabil kalma özelliğini de yitirecektir. Core bölgesinin yeterince güçlü olmaması atletik performansı etkileyebileceği gibi, aynı zamanda vertebral sorunlarla beraber nörolojik bazı sakatlıkları da ortaya çıkarabilecektir (31-33).

Anatomik olarak, gövdenin iskelet sistemi (göğüs kafesi, omurga, pelvis, omuz kemeri), yumuşak dokularla (kıkırdak ve bağ dokular) bağlantılı vücut stabilitesini sağlayan veya aktif hareketlerde etkin olan kaslar bütünü şeklinde tanımlanan Core, fizyolojik yönden çalışmadan çalışmaya farklılık göstermekte ve bu değişikliğin sebebi çalışmaların atletik ya da terapi amaçlı farklı olmasından kaynaklanmasındadır (34, 35).

Sağlık alanındaki tanımlamada ise, core anatomik bölge çift duvarlı silindirik yapıyı meydana getirirken, önde abdominal kaslarla arkada paraspinal ve gluteal, yukarıda diyafram ve aşağıda pelvis kaslarından meydana geldiği ifade edilmektedir (36). Öncelikli amaç omurga stabilizasyonunu sağlama ve türlü sebeplerle meydana gelen ve kronikleşen bel ağrılarının rehabilite edilmesi olan sağlıklı ilişkili core egzersiz yaklaşımıyla uygulanan core egzersizlerinin genel egzersizlerden daha faydalı olduğu belirtilmiştir (37). Core bölgenin sportif performans açısından ise; odak noktasına karın, bel ve kalçaların alındığı, bununla beraber, dizler ile sternum (göğüs kafesi kemiği) arasında kalan bölge şeklinde kabul edildiği görülmektedir (38-40).

Core stabilitesi konusunun; süreç içerisinde fiziksel sağlık yaklaşımlarını aşarak, sağlık ile fiziksel performans konuları farklı bakış açılarının bir ögesi durumuna geldiğini belirten Majewski- Schrage ve arkadaşları, günümüzde fiziksel uygunlukla birlikte, rehabilitasyon programları, sırt-omurga problemleri ve performans artışlarında temel öge şeklinde kabul gördüğünü ifade etmektedir (41).

2.1.2. Core Egzersiz Uygulamasının Toparlanma Üzerine Etkisi

Performansa etki eden birçok faktörden biri de bedensel yapı, bir diğer ifade ile fiziksel özellikler olduğu söylenebilir ve bu özellikler fizyolojik kapasitelerin ortaya konulmasını doğrudan etkilemektedir. Sporcuların yüksek performans ortaya koymalarını etkileyen faktörlerden biri olan fiziksel yapı; kuvvet, güç, esneklik ile aynı zamanda sürat, dayanıklılık ve çabukluk gibi diğer performans bileşenleriyle bir araya gelerek sporcu performansını olumlu şekilde etkilemektedir (42).

Core egzersiz ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; ilk senelerinde sağlıkla ilgili alanlarda kullanılmaya başlayan core egzersiz çalışmalarının, günümüzde popüler bir fitness türü haline geldiği görülmüştür. Fitness programlarının içerisindeki pilates ve yoga gibi sporların bir antrenman şekli biçiminde programlarına dahil ettiği core egzersiz çalışmaları bugün çoğu sportif branşta da yaygın olarak uygulanan egzersizler arasında yerini almış, bununla birlikte rehabilitasyonda önemli bir trend haline gelmiştir. Çok fonksiyonlu bir teknik olan core egzersizlerin bir diğer işlevi de aktif toparlanmaya yardımcı olmaktır (33, 43-45).

2.2. NMES Uygulaması

Geleneksel rehabilitasyon programlarına yardımcı olmak ve vücut işlevlerini arttırma ya da bir takım ağrı gibi semptomları azaltmak amacıyla uygulanan bazı elektriksel stimülasyon modalitelerden biri olan nöromüsküler elektriksel stimülasyon; yaygın şekilde, motor nöronları depolarize etmek için, şiddetin % 10 ila 60' ı arasında farklılaşan iskelet kas kontraksiyonları gerçekleştirmek amacıyla hedef bir kas grubuna elektrik akımlarının transkutanöz olarak uygulanması şeklinde ifade edilen maksimum istemli kasılmaların sebebidir (46). Nöromüsküler elektrik stimülasyonu; kasların oksidatif kapasitelerinde artışlar sağlamanın yanında, bununla birlikte hızlı ve yavaş kas lifi tipi geçişleri oluşturarak dayanıklılık performansını da potansiyel olarak yükseltebilir (47).

2.2.1. NMES Uygulamasının Toparlanma Üzerine Etkisi

Teknolojik gelişmelerle ortaya çıkan birçok toparlanma yönteminden biri de elektrostimulatördür. Toparlanma üzerindeki etkileri araştırılan ve bu alanda yeni bir cihaz olan elektrostimulatörler ile ilgili konuda çok az araştırma olmasına rağmen egzersiz sonrası kas hasarına odaklanan çalışmalar, bu popüler yöntemin egzersiz sonrası kas hasarını iyileştirdiğini göstermiştir (48, 49). Tessitore ve ark.'nın 2008' de yaptıkları çalışmada da sporcular üzerinde aktif ve pasif toparlanma yöntemlerini incelenmiş ve elektrostimülasyon toparlanma yönteminin pasif istirahatten daha faydalı olduğu konusunda istatistiksel anlamlılık bulunmuştur (50).

Elektromyostimülasyon, kasın kasılmasını sağlayan, motor nöronları periferik olarak uyarmak için yüzeysel elektrotlar vasıtasıyla elektriksel uyarıların aktarılması işlemidir. Bu şekilde yapılan toparlanma tekniği ile dokuda hasarı onaracak kan akımını sağlayan kas pompası etkisi oluşturulması hedeflenir (51). Elektrostimülasyon düşük

frekanslarda kaslara verildiğinde, kas kan akışını artırır ve toparlanma süresini azaltabilir. Bu yöntem daha çok klinik ortamlarda, rehabilite amaçlı kullanılmakla birlikte kas hasarının semptomlarını bir miktar azalttığı belirtilmektedir (52). Spesifik elektrostimülasyon programları son zamanlarda tükenmiş kaslara kan akışını arttırmak, böylece metabolit temizleme yoluyla iyileşmeyi arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (53).

2.3. Antrenman

Birçok bilim dalı, egzersizin insan vücuduna etkilerinin anlaşılması noktasında katkıda bulunmuş ve bir araya gelerek kendi bilim alanını "Antrenman bilimini" oluşturmuştur. Daha sonra bu bilim, spor performansını anlamayı hedeflemek, egzersizin vücut üzerindeki etkilerini ölçmek, toparlanma sürecini hızlandırmak ve yaralanma oranını en aza indirmek üzerine odaklanmıştır. Yarışmacı performansları müsabakalar süresince, iç ve dış faktörlerden etkilenirken, çeşitli stres uyaranlarına karşı da dayanması beklenmektedir. Antrenman bu koşulları sağlayacak ve gerçek durumlara hazırlayacak şekilde yapılandırılmalıdır (54).

Holmann, antrenmanı “*Organizmada fonksiyonel ve morfolojik değişmeler sağlayan ve sporcuda verimin yükseltilmesi amacı ile belirli zaman aralıklarıyla uygulanan yüklenmelerin tamamıdır*” diye açıklarken, Ulich, “*becerilerin ve yeteneklerin eylem planı ve yapılarının optimalleşmesini sağlayan düzenli ve planlı bir süreç*” olarak tanımlamıştır. Mellerowics/Meller'e göre ise antrenman, “*güç yeteneğinin yükseltilmesi ve spor dallarında başarıya ulaşmasını sağlamak amacıyla sporcunun bedeni ve psikosomatik gelişiminde son derece etkin olan yöntemdir*” (55).

2.4. Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman (HIIT)

Hem sedanter hem de sporcu açısından pozitif adaptasyonla birlikte sağlık ve performans perspektifinde yeni, aynı zamanda olumlu katkı veren bir yöntem olan yüksek şiddetli interval antrenman, geleneksel aerobik egzersiz reçetesiyle kıyaslandığında hem zamanın daha ekonomik ve verimli şekilde kullanılmış olması, hem de aerobik sistemle beraber anaerobik mekanizmaları, metabolik fonksiyonları ve fiziksel performansı yükseltmesi sebebiyle de geniş çapta büyük bir ilgi görmektedir (56, 57).

İnterval antrenmanlar, yüklenme ve dinlenme döngülerinin uygulanması ile gerçekleştirilen bir antrenman yöntemidir (58). Sürekli egzersizin aksine yalnızca

toplam süre ve yüklenme yoğunluğunu içeren HIIT modeli; birden fazla egzersiz serisinin belirli aralıklarla tekrar edilmesiyle gerçekleşen, yüksek yüklenme şiddeti, optimal yüklenme süresi, dinlenme türü ve süresi ile toplam egzersiz süresi (ya da tekrarların sayısı) olarak beş temel öğeden meydana gelmektedir. Yüklenmelerle maksimum kalp atım hızına ulaşılması sonrası, yüklenmeye ara verilerek, kalp atım sayısının tekrarlar arası istenilen seviyeye düştükten sonra, tekrar yüklenme yapmaya dayanan yüksek şiddetli interval antrenmanlarda, yüklenmenin şiddeti, yüklenmenin süresi ve tekrarlar arası dinlenme süreleri antrenmanın amacına göre değişebilmektedir (59, 60).

HIIT antrenmanlar, karakteristik olarak, çalışma periyotları 15 saniyeden 4 dakikaya kadar süren ve kişinin maksimum kalp atım hızının % 80 ile % 95' ine yaklaştığı, toparlanma periyotları genel olarak yoğun yüklenme intervallerine eşit ya da biraz daha uzun olmakla birlikte, maksimum kalp atım hızının % 40 ila 50'sinde pasif dinlenme ya da hafif egzersizlerden meydana gelir. Yüklenme ve dinlenme periyotları birlikte yapılan bu antrenman modelleri genel olarak 6 ile 10 tekrarlı intervallerden meydana gelir. Toplam HIIT egzersiz süresi, çalışmada ve dinlenme periyotlarında yapılan intervallerin süresiyle orantılı 10 ila 40 dakika ya da üstü bir süre arasında farklılık göstermektedir. Tabata, Peter Coe, timmon, gibala, dairesel antrenman ve “insanity” gibi birçok antrenman protokolünden meydana gelen ve aynı zamanda diğer yüksek şiddetli egzersiz programlarıyla da birlikte uygulanabilen HIIT antrenman uygulamaları, performans düzeylerinin daha iyi seviyelere ulaşmasını sağlayan fizyolojik adaptasyonları uyarmada oldukça etkin bir metod olarak literatürde yer almaktadır (61-63).

2.5. Yorgunluk

Belli bir gücün kas kasılması yoluyla üretilmesi ya da devam ettirilmesinde meydana gelen yetersizlik, bir kasın sık sık sürekli ya da tekrarlı kasılmalarda beklenen gücü üretememesi olarak tanımlanan kassal yorgunluk çok geniş kapsamlı bir konudur ve yorgunluğun nedenleri moleküler seviyeden tüm vücuda kadar değişkenlik gösterebilir. Yorgunluğun altında yatan nedenleri açıklamak üzere daha çok aşağıdaki konulara odaklanılmıştır:

- Azalan enerji oluşum oranı (ATP-CP, Anaerobik glikoliz ve oksidatif metabolizma),
- Laktat ve H⁺ gibi metabolik yan ürünlerin birikimi,
- Kas lifi kasılma mekanizmasının bozulması,
- Kas kasılmasının nöral kontrolündeki değişimler (64, 65).

Bununla birlikte, birçok faktör sinerjistik bir etki göstererek yorgunluğa neden olabileceğinden yukarıdaki başlıklar tek başına farklı yorgunluk türlerini tek başına açıklayamayabilir. Yorgunluk kısmen kas hücrelerinde çapraz köprü oluşum döngüsündeki aksaklıklardan kaynaklansa da, bu mekanizma sinir sistemi, kardiyovasküler sistem ve enerji sistemleri tarafından da desteklenir. Yorgunluk mekanizmaları; egzersizin türü ve şiddetine, kas lifi tipine, bireyin antrenman durumuna ve hatta beslenmesine bağlıdır (65).

Belirli bir şiddette çalışmaya devam eden bir kasın ihtiyaç duyduğu güç üretimini sürdürmemeye durumu olarak ifade edilen yorgunluk kas güçsüzlüğü ya da kas hasarından farklı olarak dinlenmeyle giderilebilir (65). Burada kas yorgunluğuyla kas hasarı terimlerinin birbirlerinden ayırt edilmesi gerektiği ve bunun en önemli sebebinin, “kas yorgunluğunun daha kısa sürmesi ve miyofibrillerin yapısında herhangi bir yapısal hasara neden olmaması” olarak ifade edilmektedir” (66).

2.5.1. Kas Hasarı

Yüksek şiddetli ve uzun süren egzersizler sonucunda performanslarda ani düşüşler görülmekte ve bunu ortaya koyan önemli bulgulardan biri ise kaslarda oluşan hasar ile alakalıdır. Bilhassa sağlıklı spor yapan kişilerin, çeşitli sağlık sakıncaları sebebiyle fizik tedavi programlarına katılanların, kalp problemleri sebebiyle aktivite yapanların ve egzersiz programlarıyla ilgilenen uzmanların yakından takip edip, ilgilendikleri bir konu olan kas hasarı; şiddetli aktiviteler sonunda kaslarda meydana gelen tükenme ve fonksiyon kaybı ile kendini gösteren güçsüzlük ve ağrı üreten durum olarak ifade edilmekte ve yapılan araştırmalarda uygulanan egzersiz türü ile boyutunun, hasar oranında belirleyici bir faktör olduğu görülmektedir. Mikro travma ve yaralanma ile kas hasarı terimleriyle literatürde adı geçen bu hasar mekanizması temelde; ilki alışık olunmayan egzersiz, bir diğeri ise kas iskemisinin sebep olduğu dokuların zarar görmesiyle bir takım metabolik ve kimyasal olayların meydana gelmesi şeklinde iki yolla açıklanmaktadır (67, 68).

2.5.2. Egzersize Bağlı Kas Hasarının Oluşumu

Çok yüksek ısı, iskemi, distrofi gibi kas hastalıkları, kesik veya çarpma travmaları, miyoktoksik ajanlar, enflamasyon ile kas kasılması gibi birçok farklı şekilde iskelet kas hasarı meydana gelebilmektedir. Hangi şekilde oluşursa oluşsun kas hasarı ile yenilenme süreçleri, tanımlanmış belirli bazı süreçleri takip etmektedir (69). Tıbbi açıdan spor yaralanması olmamasına karşın sporcu performanslarına önemli düzeyde etki eden egzersize bağlı kas hasarı, kasın kısaldığı (konsantrik) aktiviteler ile birlikte izometrik veya kas boyunun uzadığı (eksantrik) egzersizler sonrasında oluşabilmekte ve özellikle de kas boyunun uzadığı eksantrik egzersizlerde kas hasarının daha fazla olduğu ifade edilmektedir (70-72).

Mitokondrial fibriller, myofibriller, T tübüler ile Z çizgilerinin yapısal bağlarında, sarkolemma ve aynı zamanda yüksek iş yüklerini gerekli kılan aktivitelerde biyokimyasal parametrelerden LDH ve CK gibi enzim düzeylerindeki yükselişin de kas ağrılarına sebep olduğu ve iskelet kas hasarının fibrillerin farklı kısımlarında görülebildiği ifade edilebilir (73).

2.5.3. Kas Hasarında Enzim Aktivitesi

Egzersiz sonrası kan enzim seviyelerinin değişiklik göstermesine sebebiyet veren bazı faktörler vardır. Egzersiz, hücresel ATP'yi azaltarak hücresel geçirgenliğin artmasına neden olur ve bu da CK, LDH ile AST ve aldolaz gibi iskelet kasından kaynaklanan enzimlerin serum düzeylerinde bir miktar yükselişe sebebiyet verir (68).

Sarkolemma üzerindeki mikroskobik yırtılmalarla beraber meydana gelen kas hasarı özellikle eksantrik kas kasılmalarının olduğu çalışmalarda oluşmaktadır. Bu yırtılmalar sonucunda kas içerisinde dolaşıma katılan enzimlerin miktarı kas hasarının dolaylı olarak ölçülmesine imkan sağlamaktadır. Kas hasarının oluşmasının sonucu plazmadaki kasa özel enzim ve protein yapılarında artış meydana gelmektedir. Birçok araştırmada yaygın şekilde kullanılan metod da genel olarak kasa özel bu enzim ve protein artışından yararlanılarak uygulanan egzersizlerdeki kas hasarının boyutları tespit edilir (74).

2.5.4. Kas Hasarı Ölçüm Yöntemleri

Farklı yöntemlerle ölçümü yapılabilen kastaki hasarının tespitinde yaygın olarak kullanılan iki metot vardır. Manyetik rezonans, spektroskopi ve mikrografi gibi görüntüleme teknikleri veya kas biyopsisi analizi yoluyla direkt olarak değerlendirme

mümkündür ama bu metodlar hem pahalı olması açısından hem de alana uygulanabilir olması yönünden zor metodlardır. Egzersize bağlı kas hasarında diğer bir yöntem olan kasa özel enzim aktivitelerinin serumdaki seviyelerinin tespit edilmesine dayanan ve genetik olarak hangi dokuya ait oldukları belirlenen izoenzimlerin serum seviyelerinin artması, ilgili dokudaki hasar miktarının tespitinde belirleyici rol oynar (68).

Geniş kas yırtıklarında, kas doku harabiyetini gösteren enzim seviyelerinde artış meydana gelir ve bu enzimlerin kandaki oranlarının artması; kas hasar ve seviyesini gösteren biyokimyasal belirtilerdir. İskelet ve kalp kası hasarını tespitinde araştırmalarda kullanılan biyobelirteçlerin en önemli ve en çok kullanılanı CK olmakla birlikte, CK-MB gibi alt izoformlar ve miyogloblin, LDH, AST ile Troponin kompleksi ve kas yapı proteinleridir (75-77).

CK (Kreatin kinaz)

Kreatin kinaz iskelet ve kalp kası ile beyin dokusunda yüksek seviyelerde bir enzim olmakla birlikte, iskelet ve kalp kasında yer alan MM, beyinde yer alan BB ve kalp kasında yer alan MB gibi üç izoenzimi bulunmaktadır. Dolaşım sisteminde bulunan CK düzeyinin kaynağı, kalp veya iskelet kası ağırlıklıdır. İskelet ve kalp kasındaki travma CK'nın dolaşım düzeylerini yükselterek iskelet ve kalp kası harabiyeti oluşumuna sebep olur (78, 79).

Sağlıklı bir insanda 45-171 U/L arasında olması beklenen serum CK seviyelerinin kanda normal seviyenin üzerinde seyretmesinin sebebinin ne olduğu tam olarak bilinmezken; bu durumun yaş, cinsiyet ve ırk gibi faktörlerden etkilenebileceği ifade edilmektedir (80, 81).

LDH (Laktat dehidrogenaz)

Hücre hasarı ya da yıkımı gibi durumlarda hücrelerden salınarak kan dolaşımına karışması sebebiyle hücre hasarının bir belirteci olarak yararlanılan ve kanda tespit edilebilen bir enzim olan LDH, vücudumuzun hemen hemen her hücresinde bulunan bir enzimdir. Bilhassa ağır aktivitelerde dokulardaki dengeyi laktat enzimi üreterek muhafaza etmeye çalışan LDH enzimi, kontraksiyon hızları üst düzeylerdeki iskelet kaslarında pirüvatı laktata çevirip, laktatın kas hücresinden kana doğru hareketini sağlar. Kandaki laktat seviyesi egzersizlerin şiddeti ile ilgili bilgi verir. Egzersiz

şiddetinin düşük olduğu egzersizlerde laktat dehidrogenaz reaksiyonu aksine yön değiştirir (82).

2.6. Serbest Radikaller

Atom, proton sayısı elektron sayısına eşit durumdaki nötr bir atomda reaktif değildir. Elektron alıp vererek elektriksel biçimde yüklü duruma geçen atom, iyon şeklinde isimlendirilir ve iyonlar reaktif ve bir hayli kararsız yapılar olup, yüksek enerjilerinden kurtulmak amacıyla ortamda bulunan diğer iyon ya da atomlarla birlikte etkileşime girmektedirler. Yüksek enerjili, eşlenmemiş elektron muhteva eden ve stabil olmayan bileşikler olan serbest radikallere; eşlenmemiş elektron, reaktif özellik kazandırarak organizmada çoğu biyolojik maddeye zarar vermekte; bununla birlikte kalp-damar rahatsızlıkları, bazı kanser türleri ve katarakt ile bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve sinir sistemi dejenerasyonuna bağlı çoğu rahatsızlığın ortaya çıkmasına da neden olmaktadır (83). Organizmada normal metabolik olaylar sonucunda meydana gelen serbest radikaller, hücre hasarına sebebiyet veren, dış orbitallerinde bir ya da daha fazla eşlenmemiş elektron muhteva eden moleküler yapılar şeklinde tanımlanır (84, 85). Atomlarda elektronlar 'orbital' olarak ifade edilen uzaysal bölgede çift halde yer alırlar. Az sayıda tek, yani eksik elektronlu olan moleküllerin normalde birçoğu çift elektronludur. Oldukça reaktif özellikte olan bu eksik elektronlu moleküller kararsız yapıdadırlar (84). Eşlenmemiş elektron bulundurmaları sebebiyle kararsız yapıda olan ve diğer maddeler ile tepkimeye girip kararlı hale geçme eğilimindeki serbest radikaller, bir moleküle saldırdıklarında onun elektronunu çalıp okside ederek bu yeni molekülün kendisini bir serbest radikale dönüştürürler. Zincir reaksiyonlar serisi, bu biçimde başlayıp canlı hücrenin zarar görmesiyle son bulur (86). Başka moleküllerle elektron alış verişine kolayca girerek yapılarında bozulmalara sebep olan bu moleküller 'Serbest Radikali Oksidan Molekül ya da Reaktif Oksijen Türleri olarak da tanımlanır (84).

Oksijenin kısmen indirgenmesi sonucu oluşan, kısa ömürlü, aynı zamanda güçlü oksidan özellikteki oksijen metabolitleri olan bu serbest oksijen radikalleri, başka bir radikal ya da radikal olmayan farklı bir ajanla birleşerek organizmada moleküler düzeyde birçok biyolojik etkiye neden olur. Hem metabolik süreçler (hücre selülümü) hem de çevresel oksidanların (sigara dumanı, ultraviyole radyasyon, ilaç toksitesi, hava kirliliği, alkol ve yoğun fiziksel aktivite gibi) etkisiyle sürekli olarak üretilen eksojen ve endojen serbest radikallerin meydana gelmesini engellemek olanaksızdır (85, 87, 88).

2.6.1. Serbest Radikallerin Sınıflandırılması

İnsan vücudundaki tüm hücrelere herhangi bir zorlukla karşılaşmadan girebilen ve en çok kullanılma özelliğine sahip olan moleküler oksijen, yapısı itibariyle radikal olmaya çok uygun olması itibariyle serbest radikal denildiğinde akla reaktif oksijen türleri gelir. Genel olarak tüm reaktif oksijen türlerinin toksikolojisinin biyolojik olarak etkileri birbirlerine oldukça benzer niteliktedir (89).

ROS ve RNS (reaktif nitrojen türleri) serbest radikallerin biyolojik ortamlardaki türleridir ve bunlardan reaktif oksijen türleri (ROS); oksijen radikalleri ile radikal olmayan reaktif oksijen türleri içeren genel bir terimken, RNS'ler de, fizyolojik olarak önem arz eden serbest radikal türleridir (90).

Tablo 2. 1. Serbest radikallerin sınıflandırılması (137).

Reaktif Oksijen Türleri (ROS)	Reaktif Nitrojen Türleri (RNS)	Reaktif Sülfür Türleri (RSS)
Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$)	Nitrik oksid (NO^{\cdot})	Thiyl radikali (RS^{\cdot})
Ozon (O_3)	Nitrik dioksid (NO_2^{\cdot})	
Singlet oksijen (1O_2)	Peroksinitrik ($ONOO^{\cdot}$)	
Hidrojen peroksit (H_2O_2)		
Hidroksil radikali (OH^{\cdot})		
Hipoklorik asit ($HOCl$)		
Alkoksil radikali (RO^{\cdot})		
Peroksil radikali (ROO^{\cdot})		
Hidroperoksil radikali ($ROOH^{\cdot}$)		

Biyolojik önemi olan serbest radikaller;

Süperoksit radikali, zayıf bir serbest oksijen radikalidir. Oksijen metabolizmasının ilk ara ürünü olup H_2O_2 'nin ana kaynağıdır. Oksijen molekülüne bir elektron eklenmesiyle meydana gelir. Mitokondriyal elektron transfer zincirinde ATP'nin ana kaynağı olması sebebiyle hayatın devamı için önemlidir. Fakat bazı hastalıkların patofizyolojisinde rol alır (91).

En reaktif, kuvvetli radikal olan hidroksil radikali; tüm fagositoz ve türlü enzimatik katalizlerde üretilen, biyolojik tepkimelerde de kullanılan ajandır. Bu radikalin oluşturduğu en önemli biyolojik reaksiyon, lipid peroksidasyonu olarak bilinen serbest radikal zincir reaksiyonudur. Oluşturduğu yerde tiyol ve yağ asitleri gibi bazı moleküllerden bir proton koparıp yeni radikaller meydana gelir ve bu da hücrel hasara sebebiyet verir (92).

Metal iyonların varlığında reaktif türler meydana gelmektedir. Serbest radikal olmayıp metal iyonlarının varlığında hidroksil radikallerinin meydana gelmesine sebep olduğu için oksitleyici olarak düşünülen Hidrojen peroksit, proteinlerdeki hem grubundaki demirle tepkimeye girip yüksek oksidasyon özelliğindeki reaktif demir formlarını meydana getirmekte, buna da Fenton reaksiyonu adı verilmektedir. Hidrojen peroksit süperoksit, bakır gibi geçiş metalleri ve radikal türleriyle kolayca tepkimeye girerek H₂O₂ ile Haber Weis reaksiyonu oluşturur ve toksik hidroksil radikalının meydana gelmesini sağlar (93, 94).

Süperoksit gruplarının hızlıca meydana getirdiği, normal oksijenden çok daha hızlı biyolojik molekül olan Singlet oksijen içeriğinde iki adet çiftlenmemiş elektron taşır ve aynı zamanda hücre zarlarının doymamış yağ asitleriyle tepkimeye girip lipid peroksidasyon ürünlerini meydana getirmektedir (95, 96).

Serbest O₂ radikallerinden birisi olan ve arjininden üretilip, organizmada çift yönlü etki gösterdiği ifade edilen nitrik oksit (NO)'in, hem çoğu fizyolojik işlemin oluşumunda gerek duyulduğu ve antioksidan savunma mekanizmasına katkıları olduğu, bununla birlikte hem de aşırı üretim halinde radikal özellik gösterdiği ve peroksinitrit gibi daha güçlü radikal öğelerinin oluşumuna sebep olduğu belirtilmektedir (97).

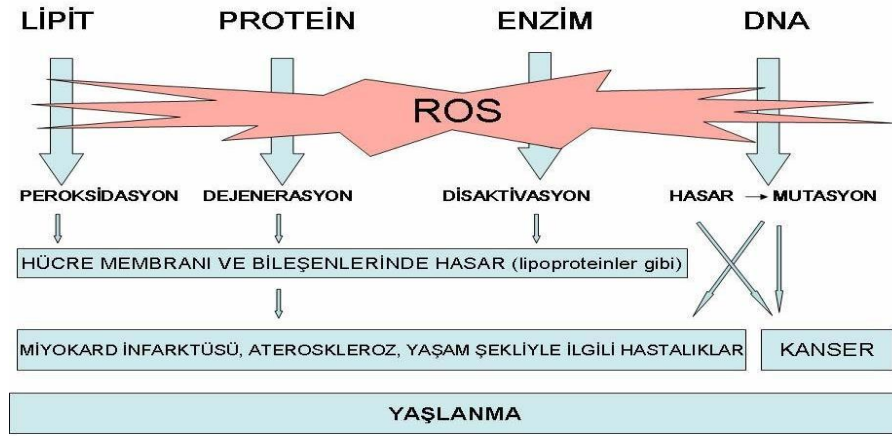
Orbitalindeki eşleşmemiş tek elektron sebebiyle radikal niteliğinde olup, peroksil ve alkil radikallere benzeyen serbest radikaller ile de rahatça reaksiyona girebilen fakat süperoksit radikaline benzer özellikte çok reaktif bir yapıda olmayan NO, serbest radikal temizleyerek lipid peroksidasyonu engeller (98, 99).

2.6.2. Serbest Radikallerin Etkileri

Belli miktarda üretimi sağlık için gerekli olan serbest radikaller bağışıklık sistemi başta olmak üzere, kimyasal tepkimelerin seyri, kas kasılması, hücrel sinyal iletimi, enzim aktivasyonları ve hücrelerin biyogenezi gibi birçok biyolojik faaliyette görev alırlar (68). Normal şartlar altında serbest radikal tepkimelerine bağışıklık sistemi hücrelerinden nötrofil ve makrofaj gibi hücrelerin savunma mekanizmalarında gerek duyulur, ancak ROS' un aşırı üretimi, enzim inaktivasyonu, lipid peroksidasyonu ve lipoprotein oksidasyonu gibi hücre ölümüyle sonuçlanabilecek çok çeşitli hücrel hasarlara sebep olur (100, 101). Serbest radikallerin sebep olduğu oksidatif stresin, diyabet, Parkinson, kanser, Alzheimer, Huntington, immün sistem bozuklukları ve kardiyovasküler bozukluklar gibi pekçok hastalıkla ilişkisi olduğunu göstermekte,

bununla birlikte serbest radikallerle uyarılan oksidatif hasarın ilerlemesinin, yaşlanma ve yaşlanmaya bağlı katarakt ve ateroskleroz gibi dejeneratif hastalıkların oluşumunda rolü olduğu ifade edilmektedir (102, 103).

Hücrelerin lipit, protein, DNA, karbonhidrat gibi önemli öğelerini etkileyip yapılarında bozulmalara sebebiyet veren serbest radikaller (104, 105) ilk olarak yağ asidi hidrojen ve kendi üzerinde birer elektron kalacak biçimde parçalanıp lipid radikalini, lipid radikali oksijenle tepkimeye girip lipid peroksil radikalini meydana getirir. Lipid peroksil radikali de diğer doymamış yağ asitleriyle tepkimeye girerek zincirleme reaksiyonu başlatmış olur (106).



Şekil 2.1. Hücre ve dokulara ROS'un etkisi (107).

2.7. Lipit Peroksidasyonu

Lipid peroksidasyonu, lipidlerin oksidatif bozunmasıdır. Serbest radikallerin hücre zarlarındaki lipidlerden elektronları "çaldığı", antioksidan kapasiteyi aşan miktarlarda reaktif oksijen türlerinin oluşmasına ve sonunda hücre ölümüne neden olabilecek hücre hasarına neden olduğu bir süreçtir (101). Kendi kendini devam ettiren zincir bir reaksiyon biçiminde sürmesi sebebiyle lipid peroksidasyonu çok zararlı bir reaksiyondur (108).

Lipid peroksidasyon yağ asidi zincirinden hidrojen atomları koparılmasıyla yağ asidi zincirinin lipid radikal özelliği kazanmasıyla başlar. Sonradan birtakım değişikliklere uğrayan lipid radikalleri moleküler oksijenle tepkimeye girerek lipid peroksit radikalleri meydana gelir. Lipit peroksit radikalleri membran yapısındaki diğer yağ asitlerini etkileyerek yeni lipid radikallerinin meydana gelişine sebep olur. Bu

tepkimede açığa çıkan hidrojeni lipid peroksit bağlayarak lipitperoksitlerine dönüştürer ve zincirleme bir reaksiyon başlamış olur. Lipid peroksitler yıkıldığında açığa çıkan ve biyolojik olarak aktif olan yıkım ürünleri (acrolein, malondialdehit, 4-hidroksinonenal) ya hücrede metabolize edilir ya da hücrenin farklı kısımlarına hasar yayarlar (109, 110).

Serbest radikallerin oldukça reaktif ve kısa ömürlü olmalarının, doğrudan ölçümlerine engel olması lipit peroksidasyonu göstergeleri ölçümünde serbest radikallerin dolaylı ölçümü yaygın olarak başvurulan bir yöntem olmuştur. Lipit peroksidasyonu bulma amacıyla farklı deneysel metodlar geliştirilmesine rağmen lipit peroksidasyonun yıkım ürünlerinden biri olan MDA seviyesinin ölçümü ile tiyobarbitürik asit analizleri hem düşük maliyet hem de kolay olması sebebiyle cazip bir yöntemdir (111-113).

2.7.1. Malondialdehit (MDA)

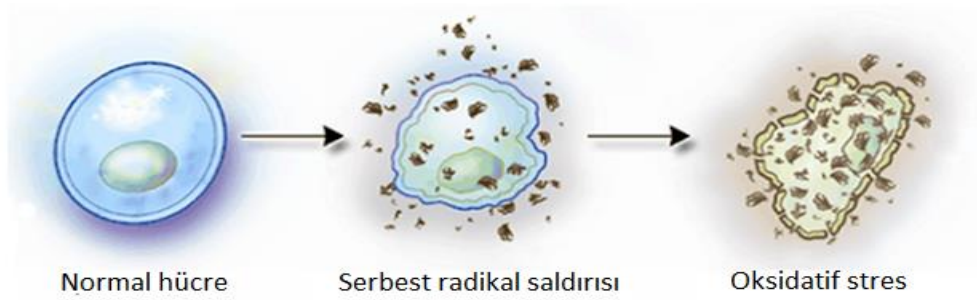
Çoklu doymamış yağ asidi peroksidasyonunun ana ve en çok çalışılan ürünü olan MDA yağ asidi oksidasyonunun spesifik veya kantitatif bir belirteci olmasa da lipid peroksidasyonun oranıyla iyi korelasyon göstermesiyle bu molekül 1960'lardan beri, in vivo ve in vitro biçimde oksidatif stres düzeylerini ölçmede değerlendirilmiş ve bununla ilgili birkaç metod geliştirilmiştir (114).

Şiddetli fiziksel aktivite, vücuttaki antioksidan miktarını aşan serbest radikal üretiminden kaynaklanan oksidatif strese neden olabilir. Oksidatif stres koşulları altında, serbest radikaller hücre zarı lipid peroksidasyonuna neden olacaktır. Malondialdehit, lipid peroksidasyonunun bir sonucudur, bu nedenle MDA, serbest radikal miktarını belirlemek ve vücudun oksidan kapasitesini dolaylı olarak değerlendirmek için kullanılan yaygın bir göstergedir (115).

2.8. Oksidatif Stres

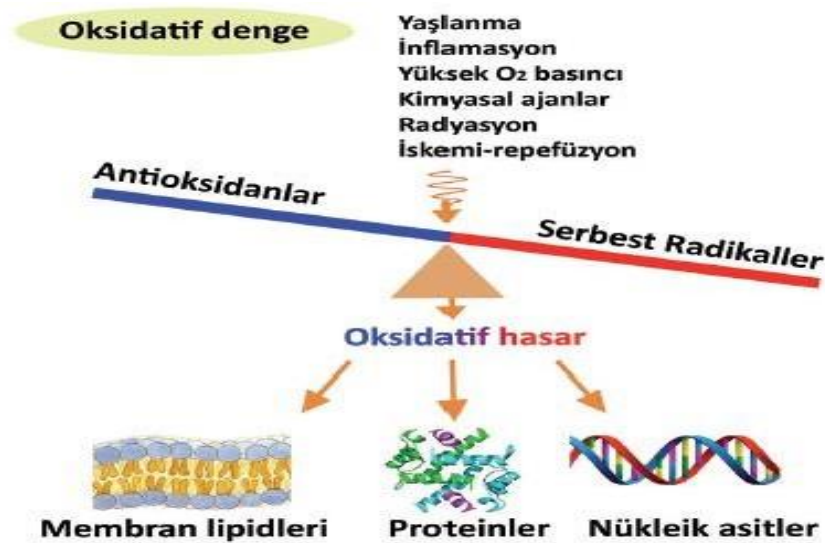
Oksidatif stres, prooksidan ve antioksidan mekanizmalar arasındaki dengenin, prooksidanlar tarafına bozulması şeklinde ifade edilir (116). Sağlıklı bir organizmada serbest radikallerin oluşumuyla bunların antioksidan mekanizmalar aracılığıyla etkisizleştirilme hızı uyum içerisindedir. Oksidatif denge olarak tanımlanan bu durum korunduğu müddetçe organizma, serbest radikallerden etkilenmez. Bu radikallerin oluşum hızlarında artış ya da ortadan kaldırılma hızlarındaki düşüş bu dengenin bozulmasına yol açar. "Oksidatif Stres" olarak tanımlanan bu durum; Serbest radikal oluşumuyla antioksidan mekanizmalar arasındaki dengesizlik neticesinde organizmanın

yapı elemanlarından lipit, karbohidrat, protein, nükleik asit ve faydalı enzimlerin zarar görüp doku hasarı meydana gelmesi şeklinde ifade edilmektedir (117).



Şekil 2.2. Oksidatif stresli hücre (118).

Hüresel metabolizma esnasında oluşan reaktif oksijen türleri antioksidanlar tarafından yeterli ölçüde etkisiz hale getirilememesi durumunda oksidatif stres oluşur. Reaktif oksijen türleri en fazla mitokondrial oksidatif fosforilasyon sırasında üretilir. Buna ek olarak yüksek oksijen basıncı ile iskemi reperfüzyon hasarı, inflamasyon ve bir takım kimyasal ajanlara maruziyet durumunda da ROS açığa çıkar. Oldukça yüksek reaktiviteye sahip moleküller olan ROS'lar; hücre içi lipit, protein ve deoksiribonükleik asit (DNA) gibi makromoleküllerdeki çift bağlara saldırarak zincirleme oksidasyon reaksiyonlarını başlatırlar. Bunun neticesinde hücre hasarı veya ölümü gerçekleşir. Oksidatif stres birçok hastalığın patogenezinde de önemli rol oynamaktadır (119).



Şekil 2.3. Oksidatif dengenin bozulması (120).

2.8.1. Egzersiz ve Oksidatif Stres

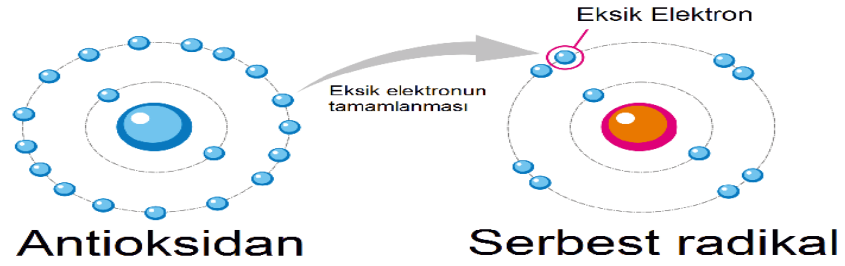
Fiziksel aktivite, şiddet ve süresiyle orantılı olarak metabolik süreçleri ve oksijen tüketimini artırıp serbest radikal yükselişine sebebiyet vermesiyle neticelenen oksidatif stres, kaslarda hasar ve ağrı, yorgunluk ile sürantrene olma ve fiziksel performansta azalma ile yakından ilişkilidir (121). Oksijen tüketiminin artmasıyla serbest radikal üretiminde bir artış meydana gelir ve oluşan bu serbest radikaller antioksidan mekanizma tarafından enzimatik ve nonenzimatik yollarla etkisiz duruma getirilir. Serbest radikallerle antioksidanlar arasında oksidatif stres olarak tanımlanan dengesizliğe sebep olan egzersiz sırasında, antioksidan savunma sistemi ile serbest radikaller nötralize edilmesine rağmen serbest radikal üretimi artarsa egzersiz oksidatif strese (6) ve bununla ilişkili olarak kas hasarına yol açabilir (122).

Egzersizle ilişkili olarak oksidatif hasardaki büyüklük, egzersizin tipi, yoğunluğu ve süresine, bununla birlikte tüketilen oksijen miktarı, süperoksit radikallerinin oluşumu ve aynı zamanda prooksidan ve antioksidan hücresel mekanizmaların dengesine bağlıdır. Özellikle akut yoğun fiziksel aktivitelerin, reaktif oksijen türlerinde artışa sebep olup, makro moleküllerde oksidatif hasarlara yol açtığı, bağışıklık sisteminin zayıflamasına sebep olduğu ve myokardial enfarktüs, ani ölüm ve enfeksiyona duyarlılık risklerinde artışa neden olduğu ifade edilmektedir (121).

2.9. Antioksidanlar

2.9.1. Antioksidan Savunma Sistemleri

Hücrede lipit, protein ve DNA gibi okside olabilecek maddelerin serbest radikaller tarafından oksidasyonunu önleyebilen ya da geciktirebilen maddelere antioksidan, bu mekanizmalara ise antioksidan savunma sistemleri adı verilir (123). Serbest radikallere elektron transferiyle hücre hasarına engel olan antioksidanlar; reaktif oksijen türlerinin meydana gelmesini engelleme, bu maddelerin yol açtığı hasarların önlenmesi ve detoksifikasyon sağlamakla görevli savunma mekanizmaları “antioksidan savunma sistemleri” veya “antioksidanlar” şeklinde ifade edilmektedir (123, 124).



Şekil 2.4. Eksik elektronun antioksidan ile tamamlanması (125).

Organizmanın yaşam ve bütünlüğü, homeostatik dengenin devam ettirilmesine bağlıdır. Serbest radikallerin yıkıcı etkilerine karşı hücreler, bir bütün olarak da organizma antioksidan mekanizmalara sahiptir ve bu mekanizmalar serbest oksijen radikallerindeki öncül maddeleri safdışı ederek veya ortaya çıkan serbest radikalleri temizleyerek tesir etmektedirler (126).

Antioksidanlar, etkilerini temelde iki şekilde gösterirler (127-129).

1- Serbest radikal oluşumunun engellenmesi;

a- Başlatıcı reaktif türevleri uzaklaştırarak,

b- Oksijeni uzaklaştırarak veya konsantrasyonunu azaltarak,

c- Katalitik metal iyonlarını uzaklaştırarak.

2- Oluşan serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi;

a- Toplayıcı etki: ROS'ları etkileyerek onları tutmaya ve daha az reaktif başka moleküllere çevirmeye yönelik etki (enzimler).

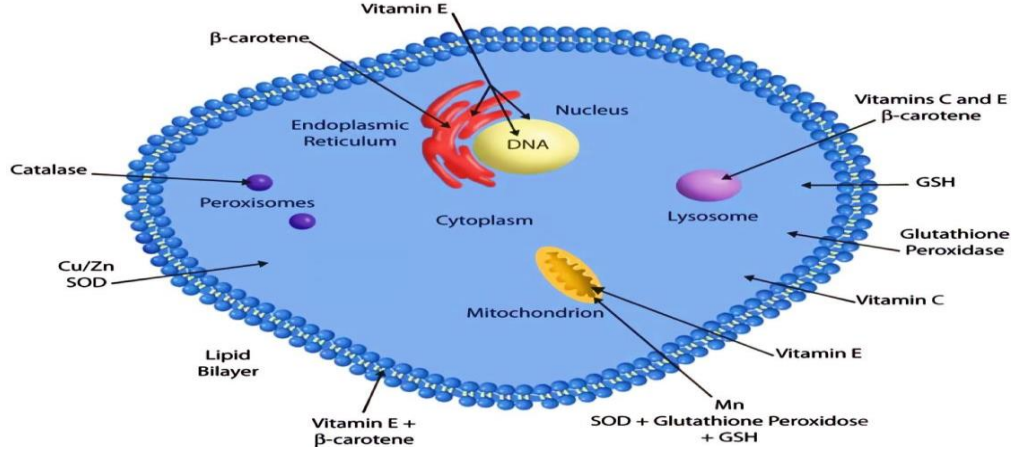
b- Bastırıcı etki: ROS'lar ile etkileşip onlara bir proton ekleyerek aktivite kaybına neden olan etki (flavonoidler, vitaminler).

c- Onarıcı etki.

d- Zincir kırıcı etki: ROS'ları ve zincirleme reaksiyon başlatacak olan diğer maddeleri kendilerine bağlayıp reaksiyon zincirini kırarak fonksiyonlarını önleyici etki (hemoglobin, seruloplazmin, mineraller, vitaminler).

Sporcuların ya da uzun veya yoğun düzeyde aktivitelere katılan kimselerin sedanterlerden daha fazla seviyelerde antioksidanlara gereksinim duydukları yapılan

bilimsel çalışmalarla da belirtilmiştir. Şiddetli bir aktivite sonrasında serbest radikal üretimi yüksek seviyelere çıkar ve iyi bir antioksidan formül sportif performans seviyelerini artırarak optimum immün fonksiyona destek olur. Başta sporcular olmak üzere güçlü ve gelişmiş bir antioksidan kapasite herkes için gereklidir (130).



Şekil 2.5. Hücresel bazda antioksidan etkinlik (131).

2.9.2. Antioksidanların Sınıflandırılması

Egzersiz, reaktif oksijen türleri ile antioksidanlar arasında oksidatif stres olarak ifade edilen dengesiz bir durum meydana getirir. Egzersiz sırasındaki oksijen tüketimindeki yükseliş serbest radikal üretiminde artışa neden olur. Oluşan bu serbest radikaller antioksidanları muhteva eden savunma mekanizmasıyla etkisizleştirilir (6). Endojen ve eksojen olmak üzere iki grup altında toplanan antioksidanlar, oksidan ve antioksidan dengesini sağlamak üzere organizmayı serbest radikallerin olumsuz etkilerinden koruyarak, serbest radikalleri etkisiz hale getirmek amacıyla çalışırlar (132).

Endojen Antioksidanlar: Enzimatik ve nonenzimatik antioksidanlar olarak iki alt grupta sınıflandırılabilir (133). Vücut; antioksidanların bir kısmını kendisi hücre düzeyinde (enzimatik olarak) üretirken, bir kısmını ise diyetle alır (enzimatik olmayan) (134).

Enzimatik Antioksidanlar

Serbest radikallere karşı vücudun ilk basamak enzimatik antioksidanlarından; Katalaz ve Glutasyon peroksidaz ile birlikte Süperoksit dismutaz, serbest radikallere

karşı hücrede temel savunma hattını oluştururlar (134). Antioksidan sistemde dolaylı olarak bulunan glutatyon redüktaz (GSH-Rd) ve glukoz-6-fosfat dehidrogenaz (G6PD) enzimleri de, ikincil antioksidan enzim şeklinde tanımlanır. Başlıca glutatyon (GSH), albümin, melatonin, vitamin A, C, E, ürik asit ve bilirubin vb. ise nonenzimatik antioksidan mekanizmaları oluşturur (135, 136).

Süperoksit Dismutaz (SOD)

Süperoksit radikalının hidrojen peroksit ve moleküler oksijene dönüştürerek, süperoksit radikallerinin potansiyel substratlarla reaksiyona girmesi ve hidroksil radikali gibi daha toksik maddelerin meydana gelmesine engel olan SOD, oksidatif strese karşı ilk savunma hattını oluşturur (137-139).

Katalaz (CAT)

Glutatyon peroksidazla birlikte hücre içi H_2O_2 'in yok edilmesi ya da vücuttan atılmasında görev alan katalazın; süperoksit dismutaz gibi doku dağılımı geniş olmakla birlikte bu enzimi böbrek, karaciğer ve alyuvarlar daha yüksek seviyelerde bünyelerinde bulundurur. Daha ziyade peroksizomlarda bulunan Katalaz hücre içinde sitozolde de bulunur ve bilhassa hidrojen peroksitin artış gösterdiği hallerde etki gösterir, aynı zamanda hidrojen peroksiti, oksijen ile suya dönüştürüp elimine eder (137, 140).

Glutatyon Peroksidaz (GSH-Px)

Organlara göre farklılık göstermekle birlikte tüm doku ve hücrelerde bulunan GSH-Px hücre içi sitoplazma ile mitokondride daha yoğun bulunurken beyindeki aktivitesi bazı dokulara göre biraz daha azdır. Hidrojen peroksit ile organik hidroperoksitleri indirgeyen GSH-Px'in fagositik hücrelerde önemli fonksiyonları mevcuttur. Solunum patlaması anında, fagositik hücrelerin zarar görmelerine engeller. Oksidatif strese karşı alyuvarlarda da antioksidanların en etkili olan GSH-Px aktivitesindeki düşüş, hidrojen peroksitin artmasıyla birlikte şiddetli hücre hasarına neden olur (138, 141, 142).

Enzimatik Olmayan (Non- Enzimatik) Antioksidanlar

Glutatyon (GSH)

Vücudun temel ve en yaygın koruyucusu olması itibariyle “usta antioksidan ya da tüm antioksidanların anası” olarak ifade edilen glutatyonun antioksidan özelliğini tiyol

grubu sağlar. Diğer serbest radikal ve peroksitler ile tepkimeye girip hücreyi oksidatif hasara karşı koruyan glutatyon hidroksil ve singlet oksijen gibi reaktif oksijen türlerinin temizleyicisi olarak da görev yapar. Bununla birlikte proteinlerdeki –SH gruplarını redükte halde tutup protein ve enzimlerin inaktivasyonuna engel olurlar (75, 128, 143).

Koenzim Q10, Ürik Asit, Melatonin, Ferritin, Albümin, bilirubin ve serüloplazmin diğer non-enzimatik antioksidanlardandır (68).

Eksojen Antioksidanlar

Eksojen antioksidanlar; vitamin ve ilaç olarak kullanılan eksojen antioksidanlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. β -karoten (Vitamin A), folik asit (Vitamin B9) askorbik asit (Vitamin C) ile α -Tokoferol (Vitamin E), dışarıdan temin edilen vitamin kaynaklı antioksidanlardır (133).

2.9.3. Total Antioksidan Seviye (TAS), Total Oksidan Seviye (TOS) ve Oksidatif Stres İndeksi (OSİ)

Plazmada antioksidanlar, sinerjik bir etkileşim içinde olmaları sebebiyle tek tek yaptıkları etki toplamından daha fazla etki oluştururlar ve total antioksidan kapasiteye büyük bir oranda katkıda bulunurlar. Antioksidanların serum/plazma düzeyleri ayrı olarak ölçülebilir, fakat bu tip ölçümler hem zaman alıcı, maliyetli hem de çok fazla emek gerektiren karmaşık yöntemler ister. Aynı zamanda antioksidan moleküllerin additif etkileri olması varsayımından hareketle total antioksidan seviyenin ölçümü, antioksidanların tek tek ölçümünden çok daha kıymetli ve pratik olacaktır (144).

Oksidatif stresin toplam değeri; total oksidatif stres ya da total oksidan seviye şeklinde tanımlanır. Bu durum, çok fazla reaktif oksijen ya da nitrojen türleri üretimi ya da antioksidan tamponlama mekanizmasındaki eksiklik sonucunda gelişmektedir (144).

Total Oksidan Seviyesinin (TOS)/Total Antioksidan Seviyesine(TAS) bölünmesiyle Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) belirlenir (145).

2.9.4. Egzersiz ve Antioksidanlar

Farklı egzersiz türlerinin farklı düzeylerde oksidatif hasarla neticelenmesine sebebiyet verdiği belirtilmektedir ve antioksidan durum egzersiz tipi ve organa bağlı olarak büyüklük ve yön açısından değişiklikler gösterir (146). Literatürde birçok çalışmada belirtildiği gibi, organizma egzersize bağlı oksidatif stresin olumsuz etkilerini önleme

amacıyla antioksidan mekanizmaları kuvvetlendirmektedir. Akut ve kronik egzersizlere tepki olarak, enzimatik ve non-enzimatik antioksidanlar büyük bir uyum göstermektedir ki düzenli yapılan sportif yüklenmelerle organizmada bir adaptasyonun gerçekleştiği, antioksidan enzim seviyelerinde artışlar olduğu, inflamasyon eğilimi ile serbest demir seviyelerinin azaldığı, DNA tamir mekanizmalarının indüklediği ve LDL'nin oksidasyona duyarlılığının azaldığı ifade edilirken, şiddetli fiziksel stresörlerin olası reaktif oksijen türleri üretimini artırması sebebiyle oksidatif hasarı artırabildiği ifade edilmiştir (147-149).

Antrenmana cevaben antioksidan enzim aktivitelerinin artış göstermesi, sistemin reaktif oksijen ve nitrojen türlerine karşı korumayı kolaylaştırmak amacıyla antioksidan meydana getirme gereksiniminden kaynaklanır. Yeterli şiddet ve sürelerde tekrar edilen egzersizlerin biriken etkilerinin sonucu olarak bir adaptasyon gerçekleşir. Çok hafif egzersiz adaptasyon sağlamada başarısız olur, çünkü oluşan reaktif oksijen ve nitrojen türleri antioksidan savunma sistemi tarafından yeterince elimine edilir (150). Aerobik antrenmanlar egzersizin neden olduğu oksidatif stresi baskılamaya ilaveten antioksidan üretimini de uyarır. Akut egzersizin yol açtığı oksidatif stresi azaltmak amacıyla adaptasyona yol açan düzenli egzersizin süperoksit dismutaz ve glutatyon peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırmak suretiyle oksidatif stresin zararlı etkilerini ortadan kaldırdığı gösterilmiş, bu upregülasyonun antioksidan enzimlerin mitokondriyal biyosentezini uyararak serbest radikal miktarındaki artışın sonucu olduğu ileri sürülmüştür (21, 151).

Sportif aktivitelerden önce, sportif aktiviteler süresince ve sonrasında antioksidan vitaminlerin kullanılması kas hasarını ve sonradan gelen yorgunluğu azaltabilir (152, 153). E ve C vitamini ile β -karoten'in; hücre membranı yıkımıyla ilişkili biçimde artış gösteren serbest radikal üretimine karşı mücadele ettiği bilinmektedir (154). C ve E vitamini gibi bir takım kimyasal bileşikler antioksidan mekanizmayı destekleyici rol oynamaktadır (152, 153).

2.9.5. Akut Egzersizde Antioksidan Savunma

Akut egzersizlerin, bilhassa yüksek şiddetlere yapıldığı zaman, oksidatif strese sebep olduğu belirtilmektedir. Akut egzersizlerde oksidatif stresle bağlantılı iki mekanizma vardır:

1. VO₂ (Oksijen Volümü), istirahat düzeylerinin 10–15 kat üzerine çıktığı zaman kütle olayı etkisiyle prooksidan aktivite artar.

2. Prooksidanlara nazaran antioksidan aktivite yetersizdir (155).

Antioksidan durum egzersizin tipi ve organa bağlı olarak büyüklük ve yön açısından farklılıklar gösterir. Farklı egzersiz tiplerinin farklı düzeylerde oksidatif hasarla sonuçlandığı bilinmektedir (156). Dolayısıyla fiziksel aktivitede antioksidan kapasite oksidatif stres göstergesi olarak kullanılan bir ölçüdür ve ROS'u nötralize etmek ve vücut hücrelerini korumak için artar. Hücreler, kendilerini serbest radikal saldırılarına karşı savunmak için farklı antioksidan sistemler ve çeşitli antioksidan enzimler geliştirmiştir (101). Akut egzersizin; beyin koenzim Q10, karaciğer sistein ve sistin ve yavaş kas askorbik asit düzeylerinde azalmaya, kalp GSH ve askorbik asit düzeylerinde artışa sebep olduğu belirtilmektedir (156).

2.10. Toparlanma

Egzersiz sonrasında organizmanın fizyolojik ve psikolojik olarak egzersizden evvelki hale dönme süreci olarak ifade edilen toparlanma sırasında meydana gelen olaylar egzersiz sırasında oluşan olaylar kadar önem arz eder ki egzersiz veya müsabaka aralarında toparlanma yeterli olmaz ise bu durum performansta azalmalara sebep olur (157-159). Sporda toparlanmanın önemi yadsınamaz bir gerçektir ve etkili bir toparlanma, sporcunun başarılı ya da başarısız olmasında çok önemli rol oynamaktadır (160). Bununla birlikte profesyonel sporculara yönelik artan fikstür talebi göz önüne alındığında, sporcuların art arda müsabakalar sırasında üst düzey rekabet edebilmeleri için müsabaka sonrası toparlanmayı optimize etmenin ne kadar önemli olduğu da açıktır (161).

Sporda başarı sağlayabilmek ve bu başarının sürekliliğini sağlayabilmek için antrenman sayı ve sürelerinin artırılması kaçınılmaz olmuştur. Bu sebeptendir ki sporcuların antrenmanlarda başarıyı sağlamak maksadıyla performanslarının sınırlarını zorlamaları gerekir. Antrenman sonrasında ise etkili toparlanma süreçlerinin geçirilmemiş olması ve bu süreçlerin düzenli hale gelmemesi durumunda sporcularda kronik yorgunluklar meydana gelmekte, bu durum ise sportif yaralanmalara sebep olabilmektedir (162, 14).

Çok sayıda sporcu özellikle üst düzey sporcular, çok yoğun bir biçimde uyguladıkları antrenman programlarına bağlı olarak her gün çok sayıda antrenman biriminin olduğu bir uygulamadan geçmektedir (163). Hatta günümüzde aynı hafta içerisinde birkaç gün ara ile birçok sportif müsabaka planlanmakta, çoğu spor dalında sporcular günde 2-3 kez oldukça zorlayıcı antrenmanlar uygulamaktadırlar. Bu antrenmanlar sporcular için fizyolojik ve psikolojik stres yaratırken, tekdüze antrenman yüklenmeleri, günde üç saatin üzerinde yapılan antrenmanlar, antrenman yükünün haftada %30'dan daha fazla artırılması, art arda yapılan aşırı yüklenmeler, antrenman periyotlamasında yapılan hatalar ve dinlenme gününün verilmemesi gibi etkenler sporcuların bu streslerini daha da artırmaktadır. Bütün bu yorgunluğu tetikleyici etkenlere ek olarak özellikle elit sporcular aynı hafta içerisinde birkaç gün ara ile yarışma ya da müsabakalara katılmak zorunda kalmaktadırlar. Bunun yanında üst düzey kulüplerde görev yapan futbolcular aynı hafta içerisinde uluslararası bir kupa maçı, lig maçı, ulusal kupa maçı veya ülkesinin milli maçlarında görev almak zorunda kalabilmekte, bu durum ise sporcuları müsabaka ve antrenmanlarda yaşadıkları fizyolojik stresin yanı sıra yolculuk stresiyle de karşı karşıya bırakmaktadır (159, 160).

Bu stresli antrenman, yarışma ve yolculuklar sporcuların performanslarında geçici düşüslere yol açabilir. Bu düşüş bazen birkaç saatte geriye dönerken, aktivitenin süresine ve şiddetine bağlı olarak birkaç güne de yayılabilmektedir. Tam toparlanma gerçekleşmeden yapılan yüklenmeler sporcunun yorgunluğunun kronikleşmesine, kronik yorgunluk ise sporcunun sakatlanmasına sebep olabilir. Bu da sporcunun belirli bir süre spordan uzak kalması ve hatta sporcunun sporu bırakması ile sonuçlanabilmektedir (Tükenme sendromu). Tüm bunlar göz önüne alındığında; aşırı antrenman durumundan kaçınma ve optimum performansları yakalayabilmek amacıyla sporcuların fizyolojik ve psikolojik toparlanmalarının, antrenmanların bir parçası olarak programlanabilmesi gerekmektedir. Spor bilimci ve antrenörler, sporcularda tam bir toparlanma sağlama amacıyla uzun zamandır en uygun toparlanma yöntemini bulmak için çaba harcamaktadırlar. Kullanılan bu yöntem ve tekniklerin etkilerinin ne olduğunu bilmek ve altlarında yatan temel felsefeyi anlamak büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda düzgün ve doğru toparlanma yaklaşımlarının sağlanması için sporcu ve antrenörlerin toparlanma tekniklerinin antrenman programlanması içerisinde nasıl kullanılacağına ilişkin bilgi sahibi olması gerekmektedir (160, 163).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve araştırma konusu edilen toparlanma stratejileri; aktif toparlanma, sıcak veya soğuk uygulamalar, masaj, karbonhidrat ve protein yüklemesi, farmakolojik destek gibi metodlardır. Bu uygulamaların yanında Core egzersiz ve Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu gibi yöntemler de son yıllarda trend haline gelen toparlanma stratejilerindedir (160, 17).

2.10.1. Toparlanma Çeşitleri

Rejenerasyon, yenilenme ve dinlenme gibi kavramların ifade edildiği en geniş ifade biçimi olan toparlanma; sporcuların, antrenman ya da müsabakalardaki yoğun yüklenmeler sonrasında, ortaya çıkan yorgunluğun giderilmesi ya da sporcunun müsabaka ya da antrenman öncesi durumuna geri dönmesi için fiziksel ve zihinsel yenilenmesi olarak da açıklanabilir (164, 165). Müsabaka sırası veya sonrasında süreçlerinin önemli bir kısmını toparlanma faktörleriyle geçirdikleri bilinen sporcuların toparlanma çeşitlerinin farklılık göstermesi sebebiyle net bir ayrımın yapılamamasından dolayı antrenmanlar sonrasındaki toparlanma süreçleri çabuk, kısa ve uzun süreli toparlanma olarak 3 bölümde değerlendirilmektedir (164).

Çabuk Toparlanma

Egzersiz sırasındaki çok kısa zaman aralığında yinelenen hareketler arasındaki toparlanma sürecini anlatmaktadır. Bu süreçte ATP'nin yenilenmesi ve yan ürünlerin uzaklaştırılması sağlanmalıdır (166).

Kısa Süreli Toparlanma

Bu tip toparlanma tekrarlı sürat koşuları veya ağırlık çalışmasındaki setler arasındaki dinlenme olarak ifade edilir. Sporcunun bir sonraki performansı gerçekleştirebilmesi için kısa süreli toparlanmadaki dinlenme süresi oldukça önemlidir (166).

Uzun süreli toparlanma

Toparlanma çeşitlerinin sonuncusu ise uzun süreli toparlanmadır. Bu toparlanma türü, birbirini izleyen iki antrenman veya yarışma (müsabaka) arasındaki toparlanma sürecini kapsamaktadır. Bazı spor branşlarında sporcular aynı gün içerisinde iki antrenman yapmak, bazı branşlarda bir günde birden fazla müsabaka yapmak durumunda kalabilmekte ve bu durum toparlanma sürecinin önemini net bir şekilde

ortaya koymaktadır (166). Tam bir toparlanma için 24 saatlik sürenin geçmesi gerektiği belirtilirken 6-8 saatlik dinlenmenin sporcunun toparlanması için yeterli olmadığı ortaya konmuştur (167). Enerji kaynaklarının yenilenebilmesi açısından toparlanma süreci oldukça önemlidir, bu nedenle karbonhidrat alımının antrenmandan sonraki saatte alınması gerekmektedir. Kas glikojeninin saatte %5'i dolarken, etkili bir toparlanma için 20 saat gerekmektedir (14).

2.10.2. Toparlanmayı Etkileyen Faktörler

Toparlanma periyodu çok boyutlu bir süreç olup birçok faktöre bağlıdır. Bunlar;

Sporcunun Yaşı; Yaş toparlanma hızını etkileyen bir faktördür. 25 yaş ve üzerindeki sporcularda toparlanma süreci, aynı antrenmanı yapan genç sporculardan daha uzunken benzer şekilde 18 yaş ve daha genç sporcularda dinlenme periyodunun daha uzun olması gerekir.

Deneyim; Elit sporcularda hareketlerin daha etkili uygulanması ve egzersize fiziksel adaptasyonun daha çabuk olması sebebiyle toparlanma daha hızlıdır.

Cinsiyet; Bayanlarda erkeklere oranla daha düşük testosteron seviyesi sonucu oluşan hormonal farklılıktan dolayı bayanlar erkek sporculara göre daha yavaş toparlanma eğilimindedir.

Hareket genişliği; Hem kas dokuda, hem de kemik bağlantı bölgelerinde yetersiz kanlanma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan yetersiz oksijen ve madde taşınması, bu bağların doğru beslenme ve oksijen alma olanaklarını sınırlayarak toparlanma akışını etkiler.

Kas lifi türü; Kasılğan özelliklerinden dolayı hızlı kasılan lifler, yavaş kasılan liflere göre daha çabuk yorgunluk eğilimi göstermesinden dolayı toparlanmayı etkileyebilir.

Psikolojik Faktörler; Antrenörler antrenman süresince sporcuyla strese sokabilen, başışıklık sistemini azaltabilen aynı zamanda sinir-kas koordinasyonunu etkileyebilecek bazı fizyolojik problemleri ortaya çıkartan; korku, kararsızlık ve isteksizlik gibi olumsuz duyguları ortaya çıkaran davranışlardan kaçınmalıdırlar.

Tek tip yüklenme; Devamlı benzer bölgesel yüklenme ve aşırı antrenmanlardan kaçınmak toparlanma süreci için önem arz eder.

Destek besleyicilerin (Vitamin, mineral) düzenli alınması; Hücre düzeyindeki toparlanma sürecini hızlandıran değişimler oluşturur.

Sirkadiyen ritim; Farklı ülkelerde yapılan sportif organizasyonlarda, 3 ila 10 saat arası değişen zaman farklılıkları sporcuların vücut sirkadiyen ritmlerini etkileyebilmektedir (68).

2.10.3. Toparlanma Yöntemleri

Maksimum performans açısından oldukça önemli olması itibariyle müsabaka sonrasındaki süreçlerinin önemli bir kısmını sporcular toparlanma faktörleri ile geçirdiktedir. Yapılan çalışmalar aktif toparlanmanın performans açısından pasif toparlanmaya göre daha avantajlı olduğu tekrarlanan yüksek yoğunluklu kısa egzersizlerle de gösterilmiştir. Toparlanma aktivitesi iyi planlanmış ve yönetilmiş bir antrenman, antrenman programlarının önemli bir parçasıdır ve bu toparlanma aktivitesi sadece elit düzeydeki sporcular için değil aynı zamanda sporun içinde olan ve sporu yaşam tarzı olarak benimseyen amatör sporcuların ve spor akademilerinin de uzun süreyle planlanmış olduğu antrenman programlarının bir parçasıdır (12, 168, 169).

Hızlı bir toparlanmayı sağlamak için sporcuların antrenman planlamalarına, antrenmanın bir parçası olarak, özel toparlanma tekniklerini dahil etmeleri toparlanma süreçlerini kolaylaştırarak, geliştirme, yüksek antrenman yüklerine dayanabilme ya da antrenman yüklenmesinin ortaya çıkarttığı etkiyi en üst düzeye çıkarmayı sağlamaktadır. Bu iki özellik de sporsal verimin en üst seviyeye çıkarılmasını sağlamaktadır (163).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde toparlanma ile ilgili birçok yöntem vardır ve bu yöntemler aşağıda şu şekilde sıralanmıştır:

- a) Su terapisi veya suya girme terapisi (soğuk, sıcak ya da kontrast uygulama)
- b) Düşük şiddette aerobik koşu
- c) Elektromyostimulasyon
- d) Masaj, Stretching, Ultrason
- e) Antiinflamatuvar ve analjezik kullanımı
- f) Hiperbarik oksijen terapisi, Psikolojik rahatlama terapisi

g) Beslenme, sıvı alımı ve ergojenik yardımcıların kullanımı

h) Yaşam tarzının iyileştirilmesi (165).

2.10.4. Egzersiz Sonrası Fizyolojik Açıdan Yenilenme

Toparlanma olarak ifade edilen süreçte egzersizi sonrası metabolik hızdaki artış bir süre daha devam etmekte, bu sırada fosfojen ve karbonhidrat depoları tekrar dolmakta, miyoglobin oksijenerasyonu sağlanarak, dokuda biriken laktik asit elimine edilmektedir. Egzersizden sonra süren enerji tüketimine toparlanma süreçleri için gerek duyulur (170, 171).

Toparlanma sürecinin metabolik açıdan açıklanabilmesinde belirli konuların gözden geçirilmesinde yarar vardır. Bunlar;

1. Dinlenme oksijeninin yenilenmesi
2. Enerji kaynaklarının yenilenmesi
3. Laktik asidin uzaklaştırılması
4. Oksijen Kaynaklarının Yenilenmesi olarak ifade edilmektedir (170, 172).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırma İzni

Araştırmaya başlanmadan önce Malatya Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Onayı alındı (Sayı: 2021/129; Tarih: 15.04.2021, EK-2). Helsinki Bildirgesine uygun yürütlen araştırmanın yapılabilmesi ve öğrencilerin araştırmaya dahil edilmesi için Milli Eğitim Bakanlığında gerekli izinler alındı (EK-3). Araştırmaya katılmaya gönüllü katılımcılarla görüşülerek araştırmanın içeriği ile ilgili bilgi verildi ve gönüllülere “Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu” imzalatıldı (EK-4). Araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından TDK-2021-2610 proje numarası ile desteklendi.

3.2. Araştırma Gruplarının Oluşturulması

Araştırma örneklem büyüklüğünü belirlemek amacıyla G*Power (3.1.9.4) analiz programı kullanılmıştır. Test güven aralığı=.95, Alfa değeri = .05, Beta değeri .80 ve etki büyüklüğü =0.25 alınarak yapılan analiz neticesinde araştırma katılımcı sayısının en az 21 olması gerektiği saptanmış ve araştırmanın güvenilirliğini artırmak amacıyla gönüllü sayısı 24 (NMES:8, CORE: 8, KONTROL:8) olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın evrenini Mersin Naim Süleymanoğlu Spor Lisesinde öğrenim gören, sağlıklı erkek öğrenciler, örneklemini ise, Beden Kitle İndeksi (BKİ) 21.54 ± 2.26 (kg/m^2), yaşı 16.25 ± 0.67 (yıl), kilosu 65.85 ± 8.11 (kg) ve ortalama boyları 174.75 ± 5.68 (cm) olan 24 erkek öğrenci oluşturmuştur. Çalışmaya toplamda 52 erkek gönüllü katılmak istemiş ve bu katılımcılarla ön görüşmeler yapılmıştır. Gönüllülere araştırma içerik ve yöntemiyle ilgili bilgi verilip, araştırmaya dahil edilmek amacıyla belirlenen kriterleri taşıyıp taşımadığı değerlendirilmiştir. Kriterleri taşımayan gönüllüler araştırmadan çıkarılmış ve çalışmaya uygun 24 erkek gönüllü belirlenmiştir. Gönüllüler ile tekrar görüşülerek, araştırma içeriği ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Tüm test ve egzersizler günün aynı saatlerinde (08:00-12:00) yapılmıştır. Gönüllülere testler öncesinde 7-8 saat uyumaları, 24 saat önce ağır egzersiz yapmama, alkol, kafein ve ergojenik yardımcı herhangi bir madde almamaları ile ilgili bilgilendirme yapılmış ve kendilerine “Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu (EK-4) imzalatılarak araştırmaya dahil edilmiştir. Çalışmaya katılan 24 erkek sorunsuz bir şekilde çalışmayı tamamlamıştır.

Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri

- Gönüllülerin, egzersiz ve testlerin uygulanması ile ilgili sağlık sorunlarının olmaması,
- Gönüllülük esasına göre çalışmaya katılımları hususunda rızalarının alınmış olması,
- Araştırmaya gönüllü ve düzenli olarak katılım göstermeleri,
- Çalışmadan önce yorgunluk ve uykusuzluk oluşturabilecek egzersizden kaçınmak.

Araştırmadan Dışlanma

- Düzenli sigara, alkol ve ilaç kullanma öyküsü bulunma,
- Geçirilmiş operasyon veya kronik hastalık öyküsü bulunma,

Araştırmadan Çıkarılma

- Egzersiz ve test döneminde sağlık problemi olması,
- Ölçümlere düzensiz katılım gösterme
- Optimum performans sergilenmesiyle ilgili özensiz davranma
- Kişinin kendi isteğiyle çalışmadan ayrılmak istemesi olarak belirlenmiştir.

3.3. Araştırmanın Deneysel Tasarımı

Covid-19 Tedbirleri

Ölçümler Mersin Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Sporcu Performans Laboratuvarında aşağıdaki plan doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. “COVID-19 Pandemisi Nedeniyle Klinik Araştırmalarda Alınacak Tedbirler” kapsamında çalışma boyunca ilk göz önünde bulundurulması gereken hususun gönüllülerin güvenliği, araştırma merkezi ile araştırma ekibinin yükünün azaltılması, antrenman ve antrenman yapılan tesiste alınacak önlemler olduğu bilinci ile devamlı olarak COVID-19 kaynaklı öncelikler ve aciliyetler göz önünde bulundurulmuştur.

Planlama

1. Gönüllü Sporcular; maske kullanımı, yakın teması engelleme, sık sık el yıkamak yıkama ve alkol bazlı el dezenfektanı kullanmak suretiyle virüsün gönüllü sporcular arasında yayılması engellenmeye çalışılmıştır. Sporcular, araştırmacılar,

antrenör ve yardımcı personelin, COVID-19 semptomları açısından düzenli olarak takibi yapılmıştır.

2. Araştırma merkezinin ve araştırma ekibinin yükünün azaltılması kapsamında; Merkezde söz konusu çalışma, minimum gönüllü sayısı ile icra edilmiştir. Sosyal izolasyon kuralları çerçevesinde ölçümler esnasında laboratuvarında sadece ölçümü yapan ve gerekli kişisel koruyucu tedbirlerini almış (maske, eldiven, koruyucu önlük vb.) araştırmacılar ile teste giren gönüllü yer almıştır. Yine alınması gereken hijyen tedbirleri kapsamında; her ölçüm öncesi ve sonrasında kullanılan tüm malzemeler ve laboratuvar ortamı uygun bir şekilde dezenfekte edilerek diğer test süresine kadar havalandırılmıştır. Test boyunca gerek araştırmacılar gerekse gönüllüler için tek kullanımlık malzemeler tercih edilerek (eldiven, maske, elektrot vb.) çalışma yürütülmüş, her yeni testte malzemeler yenisi ile değiştirilmiştir.

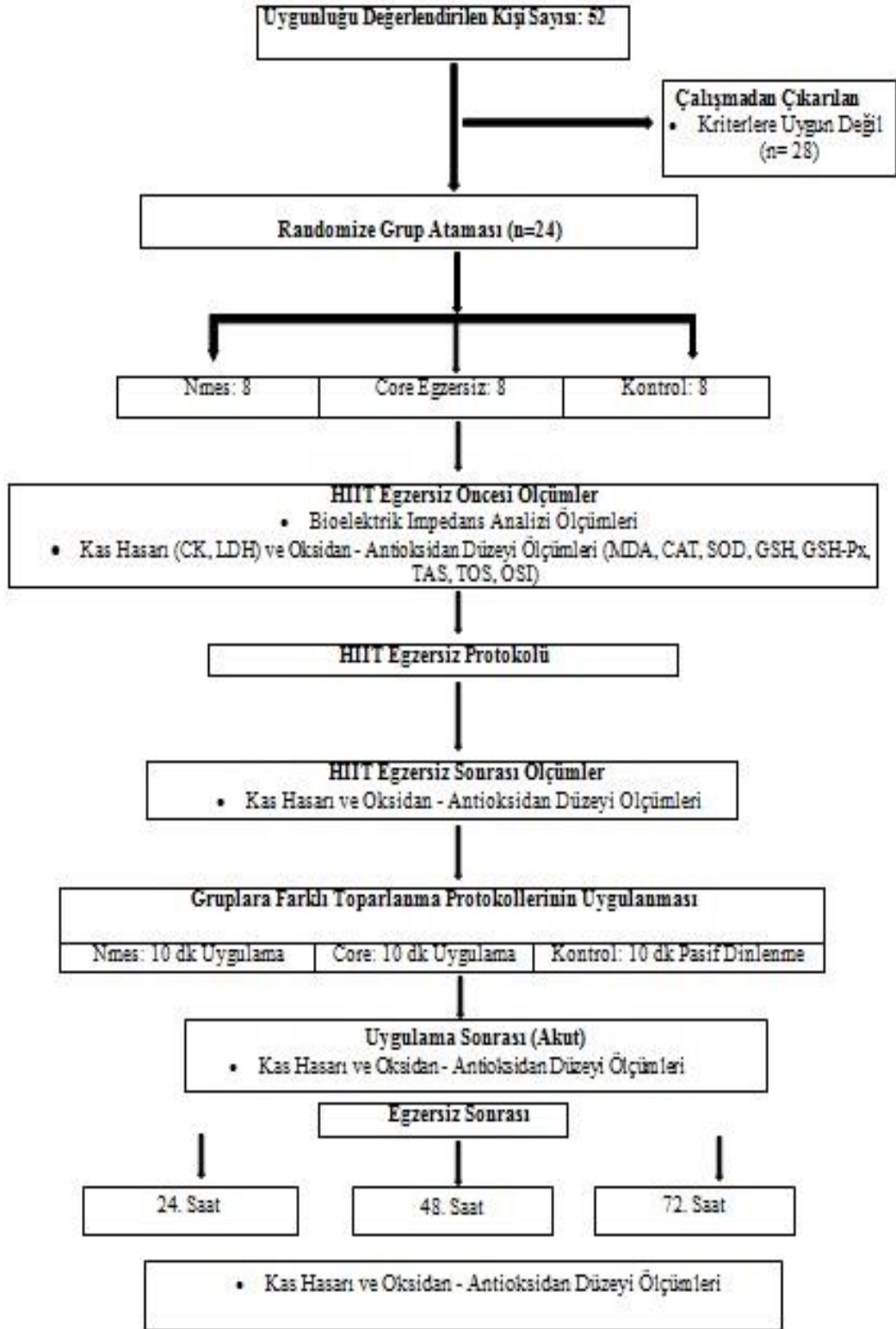
3. Antrenman ve antrenman yapılan tesiste alınacak önlemler; Sporcular ve antrenör “Antrenman Yap ve Çık” prensibine uyarak, minimum sayıda antrenör ve sporcunun aynı anda salonda bulunmasına dikkat edilmiştir. Maskesiz tesise girilmemiş ve girişte ateş ölçülmüştür. Soyunma odaları kullanılmamış, sporcular hazır gelerek duşlarını evlerinde almaları sağlanmıştır. Antrenman salonuna izinsiz kimse girmemiştir.

DeneySEL Tasarım

Mersin Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Sporcu Performans Laboratuvarında gerçekleştirilen ölçümler öncesi araştırmaya katılan gönüllüler rastgele olarak NMES Grubu (n=8), CORE Egzersiz Grubu (n=8) ve Kontrol Grubu (n=8) olmak üzere toplam 3 gruba ayrıldı. Çalışma öncesi tüm gönüllü bireylere araştırmanın içeriği ayrıntılı şekilde anlatılmış, uygulamalı olarak gösterilmiştir. Uygulamalara başlamadan 15 gün önce gönüllülere egzersize alışabilmeleri amacıyla 3 alıştırmaya fazı uygulandı. Uygulamalar öncesi gönüllülere; 24 saat evvel ağır egzersiz yapmama, alkol, kafein, ilaç ve ergojenik yardımcı kapsamındaki madde kullanmama konusunda uyarılar yapıldı. Uygulama günü, HIIT egzersizden evvel gönüllülere antropometrik ölçümler yapıldı. Sonrasında dinlenme durumunda venöz kan örnekleri alındı. Ardından tüm gruplara her bir toparlanma uygulaması öncesinde bilgisayar bağlantılı, bisiklet ergometresinde HIIT egzersiz protokolü uygulanmıştır (Tablo 3.1). Çalışma kapsamında tüm uygulamalar süresince gönüllüler, hem test lideri hem de test

yöneticilerince en üst efor sergilenmesi hususunda sözel olarak desteklenmiştir. Gönüllülerin HIIT egzersizi tamamlamalarının ardından kalp atım hızı dinlenme durumuna gelince NMES ve CORE Egzersiz grubundaki gönüllülere 10'ar dakikalık NMES ve CORE egzersiz toparlanma protokolleri uygulanmış, Kontrol Grubu öğrencilerine ise, herhangi bir uygulamada bulunulmayıp 10 dakika pasif oturularak toparlanma süreci tamamlanmıştır. HIIT egzersiz sonrasındaki CORE egzersiz uygulaması alanında uzman bir kişi tarafından, NMES uygulaması ise alanında uzman deneyimli bir fizyoterapist eşliğinde yapılmıştır.

Tüm gruplardan; HIIT egzersiz öncesi (istirahat seviyesi), HIIT egzersiz sonrası (egzersizin akut etkisi), toparlanma uygulamaları bitiminden sonra, egzersizden 24, 48 ve 72. saat sonra kan örnekleri alınmış ve alınan kan örneklerinden, kas hasarı belirteçleri (CK, LDH) ile oksidan (MDA, TOS, OSİ) ve antioksidan (CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS) parametreler analiz edilmiştir. Araştırmanın deneysel tasarımı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma Uygulamalarının Akış Şeması.

3.4. Veri Toplama Araçları

Araştırmada, sporcuların akut egzersiz sonunda algılanan zorluk derecelerini belirlemek için Borg Skalası kullanılmıştır (173). Egzersize bağlı kas hasarı ve hasar sonrası toparlanma sürecinde NMES ve Core egzersizlerin etkisini belirlemede kas hasarı göstergelerinden CK, LDH ile oksidan (MDA, TOS, OSİ) ve antioksidan (CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS) parametrelerin analizleri yapılmıştır.

3.4.1. Antropometrik Ölçümler

Antropometrik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla katılımcıların boy ve kilo ölçümleri yapılmış ve vücut yağ yüzdeleri (VYY), Bioelektrik Impedans Analizi (Tanita BC- 418 MA, Japonya) yöntemiyle belirlenmiştir. Katılımcıların boy uzunlukları, hassaslık derecesi 0.01 metre (m) olan stadiometre (SECA, Almanya) ile; Vücut ağırlıkları (VA), hassaslık derecesi 0.1 kilogram (kg) olan elektronik baskülle (Tanita BC- 418 MA , Japonya) ölçülmüştür. Vücut ağırlıkları ölçümü, gönüllülerin üzerlerinde ağırlıklarını etkilemeyecek şort ya da mayo bulunur biçimde yapılmış, sonuçlar kg cinsinden kayıt edilmiştir. Boy uzunluğu; baş frankfort düzlemindeyken, derin bir inspirasyonu takiben başın verteksi ile ayak arasındaki mesafe ayakkabısız, topuklar bitişik, dizler düz ve gergin, vücut ile baş dik ve karşıya bakacak biçimde durur pozisyonda ölçülmüş, stadiometrenin kayan kaliperi gönüllülerin başının üzerine değdiğinde durdurulup, en yakın değer boy değeri olarak santimetre (cm) cinsinden kayıt edilmiştir. Gönüllülerin VYY değerleri, biyoelektrik impedans analizi yöntemiyle; katılımcıların önceden belirlenen boy uzunlukları, yaş ve cinsiyetleri cihazın veri ekranına girilerek belirlenmiştir (Tanita BC- 418 MA, Japonya). Cihazın ölçümleri tamamlamasıyla alınan çıktıdan okunan VYY değerleri kayıt edilmiştir (173).



Şekil-3.2.1



Şekil-3.2.2



Şekil-3.2.3

Şekil 3.2. Antropometrik Ölçümler (Şekil-3.2.1 ve Şekil-3.2.2; Boy ölçümü, Şekil-3.2.3; Biyoelektrik impedans ölçümü).

3.4.2. HIIT Egzersiz Protokolü

HIIT Egzersiz programı dizayn edilirken, literatür taranmış ve birçok araştırmadaki HIIT programları incelenmiştir. HIIT uygulanırken, programın şiddeti, süresi ve sıklığının belirlenmesinde aşağıdaki kaynaklardan faydalanılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. HIIT Egzersiz Protokolü Referans Tablosu

Referans	N	Sıklık g/h	Hafta	Tekrar	Şiddet	Yüklenme	Dinlenme
Nevill ve ark.	4E-4K	3-4	8	2-10	Elinden gelenin en iyisi	6-30 sn	1-10 dk
Burke ve ark.	21 K	4	7	-	VO ₂ Maks %85-98	30-120 sn	30-120 sn
Rodas ve ark.	5E	7	2	4-7	Elinden gelenin en iyisi	15-30 sn	45 sn-12 dk.
Tabata ve ark.	7E	5	6	7-8	VO ₂ Maks %170	20	10
Parra ve ark.	5E	2	6	4-7	Elinden gelenin en iyisi	15-30 sn	45 sn-12 dk
Simoeau ve ark.	10E	4-5	15	4-15	G _{PEAK} %60-90	15-90 sn	KAH 120-130
Harmer ve ark.	7 E	3	7	4-10	Elinden gelenin en iyisi	30 sn	3-4 dk
Araştırma Protokolü	24 E	Akut	-	4	Elinden gelenin en iyisi	30 sn	120 sn

HIIT egzersiz protokolü, Monark marka wingate test sistemi 894 E (Sweden) kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Bisiklet Ergometresi (Wingate test sistemi).

Başlangıç ölçümlerinden sonra, tüm gruplara her bir toparlanma uygulaması öncesinde bilgisayar bağlantılı, bisiklet ergometresinde HIIT egzersiz protokolü uygulanmıştır. HIIT egzersiz protokolü, Monark Peak Bike marka bisiklet ergometresiyle (Sweden) ve cihaza uyumlu bir bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir. Tüm katılımcılar WAnT protokolüne başlamadan önce 60-80 devir/dk pedal hızında olmak koşuluyla 5 dakika ısınmış, ısınmadan sonra her katılımcının boyuna göre sele, gidon ve oturma yüksekliği gibi ayarlamalar yapılmıştır. Bu ayarlamalardan oturma yüksekliğini ayarlamak için, katılımcının ayağındaki pedal en alt seviyede ve pedal yere paralel durumdayken, diz açısının 175° fleksiyonda olmasına özen gösterilmiştir. Katılımcıların iki ayağı da pedal sıkma peronları ile pedala sabitlenmiştir. Katılımcıların vücut ağırlıklarının %7.5'ine denk gelen ağırlıktaki yük, kefenin sağında ve solunda bulunan kısımlara eşit dağılacak şekilde yerleştirilmiştir.

HIIT, 30 saniye x 4 kez wingate bisikleti üzerinde, vücut ağırlığının %7.5 ağırlığında yüke karşı, yapabildiğinin en iyisini yapması istenerek, 120 saniye aralıklarla uygulanmıştır. Katılımcılardan kefedeki dirence karşı 30 saniye boyunca üretebildikleri en yüksek hızda pedal çevirmeleri istenmiştir. Protokol uygulanırken, yüklenme aşamasında katılımcıların pedal hızları 150 devir/dk'ya ulaştığında kefelere otomatik olarak düşmüş ve 30 sn yüklenme bu aşamadan sonra başlamıştır (174).

Egzersiz boyunca katılımcılar sözel motivelerle desteklenmiş ve egzersiz bitiminde Borg Skalası uygulanmıştır (175).

Borg Skalası, HIIT egzersiz öncesi tüm gönüllüye tanıtılmıştır. Egzersiz zorluk derecesinin belirlenmesi ACSM'nin kriterlerine uygun şekilde yapılan BORG skalası, HIIT egzersiz sonrası araştırmaya katılan gönüllülere gösterilmiş ve gönüllülerden skalaya bakarak algılanan zorluk derecesini tanımlamaları istenmiş ve araştırmacı tarafından tanımlanan değer kaydedilmiştir (173, 176).



Şekil 3.4. HIIT Egzersiz Protokolü.

3.4.3. Algılanan Zorluk Derecesinin Belirlenmesi:

Algılanan zorluk derecesi (AZD), sporcunun aktivite esnasında karşılaştığı psiko-fizyolojik stresleri subjektif olarak değerlendirmesi, egzersizde fizyolojik adaptasyonlar sonucu ortaya çıkan duyuları belirleme ve cevaplandırma kabiliyetidir (177, 178). Algılanan zorluk derecesi belirlemenin birçok farklı yöntemi (H-PAPE, OMNİ vs.) olmasına rağmen, 6- 20 Orijinal Borg skalası (Tablo 3.2) veya 0-10 Modifiye Edilmiş Borg skalası aracılığıyla ölçüm yaygın olarak kullanılmaktadır (179). AZD skalalarının antrenmanlarda kullanım amacı, egzersiz şiddetinin belirlenebilmesi ve buna ek olarak egzersiz şiddetine ait fizyolojik parametrelerle gösterdiği ilişkilerin rapor edilmesidir (180). Fakat egzersiz sırasında bazı faktörlere bağlı olarak bu ilişki zayıflayabilmekte, dolayısıyla, egzersiz şiddeti sadece AZD ile ölçülecek ise, doğru sonuçlar verip vermeyeceği hususunda dikkatli olunmalıdır. Şayet olanak var ise, diğer şiddet göstergelerinin fizyolojik bileşenlerle birlikte değerlendirilmesi, daha doğru sonuçlara varılmasını sağlayabilir. AZD için 0-10 skala kullanılıyorsa 6 ve üzeri, 6-20

skala kullanılıyorsa 15 ve üzeri AZD cevaplarının Yüksek şiddetli interval antrenmanın şiddetini karşıladığı rapor edilmektedir (181-183).

Orijinal Borg Skalası; 6 ile 20 skaladan meydana gelen, bireyin egzersiz genel eforunu ölçmede kullanılan önemli bir belirteçtir. Kişinin egzersizde hissettiği yorgunluğu; zorluk yok (6) ile tükenme (20) arasındaki bir değer ile tanımlamasına dayanan Borg skalası, özellikle egzersiz testi sırasında kişinin maksimal efora ilerleyişini izlemek amacıyla da kullanılabilir (179, 184).

Tablo 3.2. Algılanan zorluk derecesi skalası (6-20 Borg Skalası) (179).

Skor	Algılanan Zorluk Derecesi
6	Zorluk yok
7	Çok çok hafif
8	-
9	Çok hafif
10	-
11	Hafif
12	-
13	Biraz zor
14	-
15	Zor
16	-
17	Çok zor
18	-
19	Çok çok zor
20	Maksimum zor

3.4.4. NMES ve Core Egzersiz Toparlanma Protokolleri

Katılımcıların HIIT egzersizi tamamlamalarının ardından kalp atım hızı dinlenme duruma gelince NMES ve CORE Egzersiz grubundaki katılımcılara 10'ar dakikalık NMES ve CORE egzersiz toparlanma protokolleri uygulanmış, KONTROL Grubu öğrencilerine ise, herhangi bir müdahalede bulunulmayıp 10 dakika pasif oturularak toparlanma süreci tamamlanmıştır. HIIT egzersiz sonrasındaki CORE uygulaması alanında uzman bir kişi tarafından, NMES uygulaması ise alanında uzman deneyimli bir fizyoterapist eşliğinde yapılmıştır.






Core Egzersiz Toparlanma Protokolü

Core egzersiz programlarının stabiliteden kuvvete ve daha sonra güce doğru ilerlediği kurgusunu takiben, bu çalışma için kuvvet veya güç egzersizleri yerine core antrenman programlarının başlangıç aşamasında uygulanan core stabilite egzersizleri seçilmiştir. Bunun yanında bu çalışmadaki tüm denekler, uygun postürü koruyarak core stabilite egzersizlerini yapabilme yeteneğine sahip kişilerdir. Core egzersiz toparlanma programı oluşturulurken Willardson (185) ve Navalta & Hrnır (186) araştırmalarından yararlanılmıştır ve belirlenen core toparlanma egzersizleri [1. Elbow Plank (Düz Plank),2. Side plank (Yan plank, sağ ve sol), 3. Prone Cobro's (Kobra hareketi), 4. Glute Bridge (Kalça Köprüsü)] ile sınırlandırılmıştır. Core egzersiz grubundaki katılımcılara her egzersiz 15 saniye izometrik faz ve 60 saniye dinlenme şeklinde uygulanmıştır. Egzersizler, sporcunun kendi vücut ağırlığı ile yapılmış, HIIT egzersiz protokolü sonrası katılımcıların kalp atım hızı dinlenme seviyesine geldikten sonra başlamış ve 10 dakika sürmüştür. Core hareketlerin uygulama ve dinlenme süreleri ile set ve tekrar sayıları Tablo 3.3.'de belirtilmiş ve hareket görselleri Tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Core Egzersiz Programı

Egzersiz	Set	Tekrar	Süre	Dinlenme
Elbow Plank (Düz Plank)	1	2	15 saniye	60 saniye
Side plank (Yan plank; sağ ve sol)	1	2	15 saniye	60 saniye
Prone Cobro's (Kobra hareketi)	1	2	15 saniye	60 saniye
Glute Bridge (Kalça Köprüsü)	1	2	15 saniye	60 saniye

Tablo 3.4. Core Egzersiz Hareket Görselleri

No	Core Egzersiz Hareket Görselleri	Core Egzersiz Hareketleri
1		Elbow Plank (Düz Plank)
2		Side Plank Right (Yan Plank Sağ)
		Side Plank Left (Yan Plank Sol)
3		Prone Cobro's (Kobra hareketi)
4		Glute Bridge (Kalça Köprüsü)

NMES Toparlanma Protokolü

Araştırmaya katılan tüm katılımcıların uyguladıkları HIIT egzersiz sonrası, NMES grubu katılımcılarına Nöromüsküler Elektrik Stimülasyon uygulamaları, Compex 3 (Compex Medical SA, Ecublens, Switzerland) model, portatif ve programlanabilir bir elektrostimülatör ünitesi ile rehabilitasyon modunda ve cihaz ve uygulama konusunda deneyimli, alanında uzman bir fizyoterapist eşliğinde gerçekleştirilmiştir. NMES programı 120 mA, atım süresi 400 µs ve atım frekansı 150 Hz 'lik fonksiyonel bir stimülasyon kapasiteye sahip 4 kanallı bir cihaz ile uygulanmıştır. Programda deri yüzeyine kendinden yapışkanlı, kalınlığı 2 mm olan plastik elektrodlar kullanılmıştır. 25 cm² (5 cm × 5 cm) ölçüm yüzeyine sahip elektrotlar, her iki alt ekstremitenin, quadriceps kas grubunun vastus medialis ve vastus lateralis kaslarının merkezindeki bir motor alan üzerine yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Akım şiddeti, kasta kontraksiyon oluşturacak ve sporcunun tolere edebileceği dozda her sporcuya göre ayarlanmış ve katılımcılar masaj sedyesinde sırt üstü yatar pozisyonda 10 dakika süre ile NMES almışlardır.



Şekil 3.5. Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonu Uygulaması.

3.5. Kan Örneklerinin Alınması ve Biyokimyasal Analizler

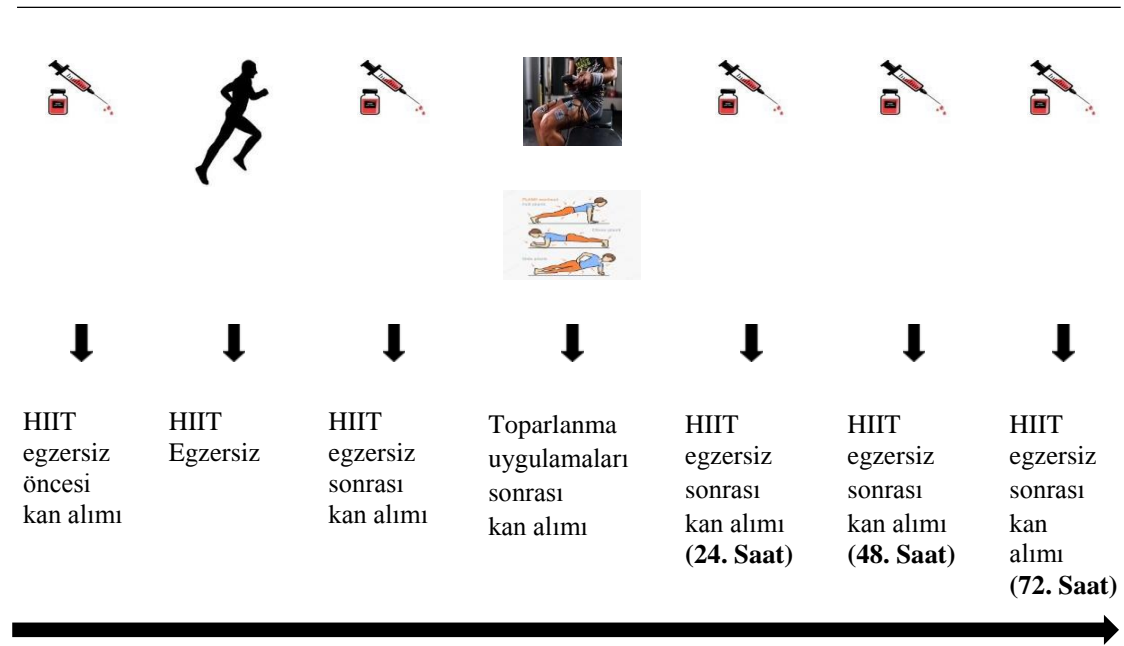
Kan örnekleri, tüm gruplardan; HIIT egzersiz öncesi (istirahat seviyesi), HIIT egzersiz sonrası (egzersizin akut etkisi), toparlanma uygulamaları (NMES ve Core egzersiz) sonrası, egzersizden 24, 48 ve 72. saat sonra olmak üzere 6 defa alanında uzman bir hemşire tarafından alındı. HIIT egzersiz öncesi kan numuneleri, gönüllü laboratuvara geldikten ve 10 dakika oturur halde dinlendikten sonra alındı.

Çalışma grubuna ait bireylerden serumları ayrılmak üzere 5 ml içeriksiz biyokimya tüplerine venöz kan örnekleri alındı. İçeriksiz biyokimya tüplerine alınan kan örnekleri 15 dakika bekletildi. Bekletilen kanlar 4000 rpm’de 10 dakika santrifüj edildikten sonra elde edilen serum mikrosantrifüj tüplerine ayrıldı ve çalışma gününe kadar -80 °C’de saklandı. Alınan kan örneklerinden, kas hasarı belirteçleri (CK, LDH) ile oksidan (MDA, TOS, OSİ) ve antioksidan (CAT, SOD, GSH, GSH-Px, TAS) parametreler, akredite bir biyokimya laboratuvarından hizmet alımı gerçekleştirilerek analiz edildi.



Şekil 3.6. Kan örneklerinin alınması.

Tablo 3.5. Kan Alımı Akış Şeması



Malondialdehit (MDA) ölçümü

MDA seviyesi, 90-100 °C'de tiyobarbitürik asit (TBA) ile reaksiyona dayanan bir yöntemle belirlendi (Marka: Otto Scientific, Katalog No: Otto1001, kolorimetrik). Numune, proteinin çökertilmesi için iki hacim soğuk %10 trikloroasetik asit ile karıştırılır ve çökelti santrifüjleme ile uzaklaştırılır. Elde edilen süpernatantan eşit hacimde %0.67 (a/h) TBA ile 10 dakika kaynar su banyosunda reaksiyona sokulur ve MDA veya MDA benzeri maddeler ile 532 nm'de maksimum absorpsiyon veren pembe bir renk üretimi kaydedilir. Reaksiyon, pH 2-3'te 90 °C'de 15 dakika boyunca gerçekleştirilir.

Superoksit Dismütaz Tayini (SOD)

SOD ölçümü enzime bağlı immünosorbent assay (ELISA) yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi (Marka: BT, Katalog No: E0918Hu, Biotek ELX800 model mikropate okuyucu ile). İnsan SOD antikoruna önceden kaplanmış tüplere numunede bulunan antijen (insan SOD) eklenir ve kuyucuklarda kaplanmış antikorlara bağlanır. Daha sonra biyotinlenmiş insan SOD antikoruna eklenir ve numunedeki antijene bağlanır. Takiben Streptavidin-HRP eklenir ve biyotinlenmiş insan SOD antikoruna bağlanır. İnkübasyondan sonra bağlanmamış Streptavidin-HRP bir yıkama adımı sırasında

uzaklaştırılır. Daha sonra substrat solüsyonu eklenir ve insan SOD miktarıyla orantılı olarak renk gelişir. Reaksiyon, asidik durdurma solüsyonunun eklenmesiyle sonlandırılır ve 450 nm'de absorbans ölçülür. Örneklere ait optik dansite (O.D) değerleri, standart eğriyle karşılaştırılarak belirlenir.

Glutatyon Tayini (GSH)

GSH ölçümü yarışmalı ELISA yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi (Marka: BT, Katalog No: EA0142Hu, Biotek ELX800 model mikropate okuyucu ile). Monoklonal antikor eklenmesi ve inkübasyon sonrasında standartlardaki veya numunedeki antijenler, antikora bağlanmak için biotin konjuge antijen ile yarışır. Bir yıkama sonrasında bağlanmamış antijenler uzaklaştırılır. Daha sonra bir avidin HRP eklenir ve ardından inkübe edilir. Bağlı olmayan avidin HRP, bir yıkama adımı ile uzaklaştırılır. Daha sonra renk reaksiyonu için TMB substrate eklenir. Reaksiyon asidik stop solüsyonu eklenerek durdurulur ve oluşan sarı renk 450 nm'de ölçülür. Oluşan renk şiddeti numunedeki GSH konsantrasyonu ile ters orantılıdır. Örneklere ait O.D değerleri, standart eğriyle karşılaştırılarak belirlenir.

Katalaz (CAT) Aktivitesinin Tayini

CAT ölçümü ELISA yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi (Marka: BT, Katalog No: E3053Hu, Biotek ELX800 model mikropate okuyucu ile). İnsan CAT antikoruna ile önceden kaplanmış tüplere numuneler eklenir ve antijenler kuyucuklar üzerinde kaplanmış antikorlara bağlanır. Daha sonra biyotinlenmiş insan CAT antikoruna eklenir ve numunedeki antijene bağlanır. Daha sonra Streptavidin-HRP eklenir ve biyotinlenmiş insan CAT antikoruna bağlanır. Inkübasyondan sonra bağlanmamış Streptavidin-HRP bir yıkama adımı sırasında yıkanarak uzaklaştırılır. Daha sonra renk reaksiyonu için substrat solüsyonu eklenir ve numunedeki CAT miktarıyla orantılı olarak renk değişikliği gelişir. Reaksiyon, asidik stop solüsyonunun eklenmesiyle sonlandırılır ve 450 nm'de absorbans ölçülür. Örneklere ait O.D değerleri, standart eğriyle karşılaştırılarak belirlenir.

Glutatyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesinin Tayini

GSH-Px ölçümü ELISA yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi (Marka: BT, Katalog No: E3696Hu, Biotek ELX800 model mikropate okuyucu ile). İnsan GSH-Px antikoruna ile önceden kaplanmış tüplere numunede bulunan insan GSH-Px'i eklenir ve

kuyucuklarda kaplanmış antikorlara bağlanır. Daha sonra biyotinlenmiş insan GSH-Px antikoru eklenir ve numunedeki antijene bağlanır. Takiben Streptavidin-HRP eklenir ve biyotinlenmiş insan GSH-Px antikoruna bağlanır. İnkübasyondan sonra bağlanmamış Streptavidin-HRP bir yıkama adımı sırasında uzaklaştırılır. Daha sonra substrat solüsyonu eklenir, GSH-Px miktarıyla orantılı olarak renk oluşumu gözlenir. Reaksiyon, asidik durdurma solüsyonunun eklenmesiyle sonlandırılır ve 450 nm'de absorbans ölçülür. Örneklere ait O.D değerleri, standart eğriyle karşılaştırılarak belirlenir.

Total Antioksidan Seviye (TAS) Ölçümü

TAS seviyeleri MINDRAY-BS400 model cihazda, ticari kitler (Katalog No: RL0017; Rel Assay, Türkiye) kullanılarak ölçüldü. Bu yöntem, antioksidanlar tarafından daha kararlı bir ABTS (2,2'-Azino bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)) radikal katyonunun karakteristik renk değişikliğine dayanmaktadır. Sonuçlar mmol Trolox eşdeğeri/L olarak ifade edildi.

Total Oksidan Seviye (TOS) Ölçümü

TOS seviyeleri MINDRAY-BS400 model cihazda, ticari olarak temin edilebilen kitler (Katalog No: RL0024; Rel Assay, Türkiye) kullanılarak ölçüldü. Yöntemde, numunede bulunan oksidanlar, ferröz demir iyon-o-dianisidin kompleksini ferrik demir iyonuna oksitler. Oksidasyon reaksiyonu, reaksiyon ortamında bol miktarda bulunan gliserol molekülleri tarafından güçlendirilir. Ferrik iyon, asidik bir ortamda ksilenol orange ile renkli bir kompleks üretir. Spektrofotometrik olarak ölçülebilen renk yoğunluğu, numunede bulunan toplam oksidan molekül miktarı ile ilişkilidir. Test kiti hidrojen peroksit (H₂O₂) ile kalibre edilir ve sonuçlar litre başına mikromolar hidrojen peroksit eşdeğeri (µmol H₂O₂ eşdeğeri/L) cinsinden ifade edilir.

Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) Hesaplaması

TOS'un TAS'a oranı OSİ olarak kabul edildi. Hesaplama için elde edilen TAS birimi µmol/L'ye dönüştürülür ve OSİ değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$OSİ = TOS (\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ eşdeğeri/L}) / TAS (\text{mmol Trolox eşdeğeri/L}) .$$

Diğer Biyokimya Parametrelerinin Analizleri

CK: MINDRAY-BS400 model cihazda kolorimetrik yöntemle ticari kitler (Otto Scientific, Katalog No: OttoBC136) kullanılarak analiz edilmiştir.

LDH: LDH aktivitesi; ELISA yöntemiyle, Biotek ELX800 model mikropate okuyucu ile BT (Katalog No: E7338Hu) marka kitler kullanılarak analiz edilmiştir.

3.6. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın örnek genişliği hesaplaması G*Power istatistik paket programında yapılmıştır. Deney sonuçları SPSS 21 paket programı kullanılarak analiz edildi. Her bir grup, sürekli ölçümlere ait normallik kontrolleri Shapiro Wilk testi ile test edildikten sonra, verilerin normal dağılım gösterip göstermediğine bakıldı. Verilerin normal dağılım gösterdiği belirlendikten sonra, her bir grup için zaman dilimlerindeki ölçümler arasındaki farklılıklar, Repeated measures ANOVA testi kullanılarak saptandı. Küresellik varsayımına göre varyanslar arasında anlamlılık var ise Greenhouse-Geisser dikkate alındı, varyanslar arasında anlamlılık yok ise Sphericity Assumed dikkate alınarak, her bir grup için 6 farklı zaman arasında anlamlılık değeri belirlendi. Repeated measures testi sonucu anlamlı fark bulunmasını takiben, farklılığın hangi gruplar arasında olacağı, Bonferroni düzeltmesi yapılan ikili karşılaştırmaların (pairwise comparisons) sonuçları dikkate alınarak belirlendi. Her zaman dilimi için gruplar arası farklılıklar One Way ANOVA (Varyans analizi) ile test edildi. Varyansların homojenliği kontrolleri için Levene testi kullanıldı. Gruplar arasındaki farklılıklar ise Bonferonni ile test edildi. Tanımlayıcı istatistik olarak normal dağılım gösteren verilerin analiz sonuçları ortalama ve standart sapma ($\text{ort} \pm \text{ss}$) değerleri ile verildi. İstatistiksel anlamlı farklılık olarak $p < 0,05$ alındı.

4. BULGULAR

Araştırmanın bu bölümünde yüksek şiddetli interval antrenman sonrası NMES ve Core egzersiz uygulamalarının toparlanma sürecine etkilerini inceleyen araştırmaya ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

Tablo 4.1. Katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri

Parametreler	N	Min	Max	$\bar{x}\pm ss$
Yaş (yıl)	24	15	18	16.25±0.67
Boy (cm)	24	162.00	184.00	174.75±5.68
Kilo (kg)	24	51.30	84.10	65.85±8.11
BKİ (kg/m ²)	24	17.60	25.20	21.54±2.26
VYY (%)	24	11.20	22.70	14.98±2.79

BKİ: Beden Kitle İndeksi, VYY: Vücut Yağ Yüzdesi, Min: Minimum, Max: Maksimum, N: Grup Sayısı
 \bar{x} : Ortalama, ss: Standart Sapma

Katılımcıların yaşları 16.25±0.67 yıl, boyları 174.75±5.68 cm, vücut ağırlıkları 65.85±8.11 kg, BKİ 21.54±2.26 kg/m² ve vücut yağ yüzdelerinin (VYY) 14.98±2.79 olduğu belirlendi (Tablo 4.1).

Tablo 4.2. Katılımcılara uygulanan HIIT egzersizlerin BORG skalası tanımlayıcı istatistiği

Parametreler	N	Min	Max	$\bar{x}\pm ss$
HIIT Egzersiz	24	13	19	16.08±1.44

HIIT: Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman, Min: Minimum, Max: Maksimum, N: Grup Sayısı
 \bar{x} : Ortalama, ss: Standart Sapma

Katılımcıların uyguladıkları HIIT egzersizlerin zorluk dereceleri incelendiğinde Borg skalası ortalamalarının 16.08±1.44 olduğu belirlendi (Tablo 4.2).

Kas Hasarı Parametrelerinin Analizi

Kreatin Kinaz (CK) Seviyeleri

Tablo 4.3. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan CK (U/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası CK (U/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	230.5±107	200.0±100	203.2±98.0	0.808
Egzersiz sonrası	236.5±81.2	221.4±93.3	235.3±100	0.935
Uygulama sonrası	244.5±98.6	210.2±102	232.1±111	0.804
24 Saat	255.6±94.2	229.7±88.9	258.5±69.8	0.760
48 Saat	251.8±83.8	209.7±76.6	240.6±70.3	0.538
72 Saat	243.7±83.8	197.2±92.2	218.3±66.9	0.532
P_b	0.712	0.336	0.300	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan CK seviyeleri saptandı (Tablo 4.3). Katılımcıların CK seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo 4.3).

Laktat Dehidrogenaz (LDH) Seviyeleri

Tablo 4.4. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan LDH (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası LDH (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması ($ort \pm ss$).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	7.58±2.31	5.31±2.59	8.17±4.55	0.213
Egzersiz sonrası	7.65±3.81	5.88±3.32	8.61±4.74	0.401
Uygulama sonrası	7.81±3.86	5.82±3.29	8.51±4.08	0.352
24 Saat	8.13±4.23	5.73±2.17	8.08±3.86	0.321
48 Saat	8.07±3.69	5.61±2.65	7.97±3.25	0.248
72 Saat	7.90±3.72	5.27±2.39	7.60±3.94	0.266
P_b	0.840	0.520	0.505	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan LDH seviyeleri saptandı (Tablo 4.4). Katılımcıların LDH seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo 4.4).

Oksidan ve Antioksidan Parametre Analizleri

Malondialdehit (MDA) Seviyeleri

Tablo 4.5. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan MDA (nmol/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası MDA (nmol/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	32.22 \pm 0.80	32.43 \pm 2.14	31.12 \pm 1.71	0.254
Egzersiz sonrası	33.12 \pm 2.89	34.88 \pm 3.61	33.85 \pm 1.90	0.486
Uygulama sonrası	33.50 \pm 3.65	34.15 \pm 2.73	33.68 \pm 1.20 ^{β}	0.888
24 Saat	35.19 \pm 1.99	33.90 \pm 1.57	33.30 \pm 2.24	0.167
48 Saat	35.03 \pm 2.45	33.63 \pm 2.33	32.14 \pm 2.40	0.076
72 Saat	35.41 \pm 3.64	32.35 \pm 2.10	31.03 \pm 2.01 ^{\yen}	0.012
P_b	0.134	0.250	0.025	

\yen : Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında $p<0.05$; £: 24. Saat ile karşılaştırıldığında $p<0.05$; β : Egzersiz öncesi ile karşılaştırıldığında $p<0.05$. NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan MDA seviyeleri belirlendi. (Tablo 4.5). Gönüllülerin MDA seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası karşılaştırılmasında, 72. saatte, Core egzersiz yapılan grupta, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu saptandı ($p<0.05$) (Tablo 4.5). Her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmada ise Core egzersiz yapılan grupta, 72. saatte 24. saate göre MDA seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu tespit edildi ($p<0.05$) (Tablo 4.5). Ayrıca Core egzersiz yapılan grupta, uygulama sonrası MDA seviyelerinin, egzersiz öncesine göre istatistiksel olarak arttığı belirlendi ($p<0.05$) (Tablo 4.5).

Antioksidan Parametre Analizleri

Katalaz (CAT) Seviyeleri

Tablo 4.6. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan CAT (KU/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası CAT (KU/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	99.65 \pm 17.7	96.11 \pm 22.8	97.30 \pm 21.9	0.943
Egzersiz sonrası	97.46 \pm 16.0	93.51 \pm 28.6	94.90 \pm 25.4	0.946
Uygulama sonrası	92.75 \pm 21.7	91.79 \pm 32.8	93.15 \pm 24.8	0.995
24 Saat	91.17 \pm 14.1	97.61 \pm 25.1	94.91 \pm 20.2	0.819
48 Saat	93.75 \pm 20.5	93.99 \pm 26.9	91.94 \pm 24.4	0.983
72 Saat	93.43 \pm 25.6	95.09 \pm 25.3	92.81 \pm 23.7	0.982
P_b	0.880	0.832	0.949	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan CAT seviyeleri saptandı (Tablo 4.6). Katılımcıların CAT seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 4.6).

Süperoksit Dismutaz (SOD) Seviyeleri

Tablo 4.7. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan SOD (U/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası SOD (U/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss)

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	124.3 \pm 39.9	121.5 \pm 40.4	122.0 \pm 39.1	0.989
Egzersiz sonrası	125.5 \pm 37.1	124.0 \pm 42.6	126.1 \pm 37.9	0.994
Uygulama sonrası	121.1 \pm 36.1	122.2 \pm 42.3	125.6 \pm 35.2	0.971
24 Saat	115.3 \pm 34.5	119.3 \pm 33.9	124.1 \pm 56.7	0.920
48 Saat	118.8 \pm 35.6	122.6 \pm 32.1	122.9 \pm 35.6	0.965
72 Saat	121.9 \pm 34.8	123.6 \pm 29.5	122.9 \pm 37.3	0.995
P_b	0.718	0.972	0.999	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir grupta SOD seviyeleri saptandı (Tablo 4.7). Katılımcıların SOD seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 4.7).

Glutasyon (GSH) Seviyeleri

Tablo 4.8. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan GSH (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası GSH (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss)

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	4.60 \pm 0.37	4.49 \pm 0.60	4.51 \pm 0.83	0.930
Egzersiz sonrası	4.48 \pm 0.49	4.35 \pm 0.81	4.40 \pm 0.58	0.923
Uygulama sonrası	4.35 \pm 0.94	4.39 \pm 0.57	4.36 \pm 0.68	0.993
24 Saat	4.30 \pm 0.69	4.32 \pm 0.70	4.26 \pm 0.83	0.988
48 Saat	4.33 \pm 0.63	4.58 \pm 0.60	4.32 \pm 0.81	0.695
72 Saat	4.28 \pm 0.78	4.43 \pm 0.61	4.14 \pm 0.37	0.647
P_b	0.893	0.973	0.875	

NMES: Nöromüsküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir grupta GSH seviyeleri belirlendi (Tablo 4.8). Katılımcıların GSH seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 4.8).

Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Seviyeleri

Tablo 4.9. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan GSH-Px (ng/ml) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası GSH-Px (ng/ml) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss)

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	31.35 \pm 5.34	32.05 \pm 3.93	30.52 \pm 5.76	0.835
Egzersiz sonrası	30.72 \pm 3.41	30.20 \pm 3.58	29.85 \pm 6.31	0.932
Uygulama sonrası	28.92 \pm 5.71	30.78 \pm 2.42	29.17 \pm 4.86	0.678
24 Saat	29.85 \pm 4.63	31.22 \pm 5.54	30.23 \pm 5.94	0.873
48 Saat	29.69 \pm 2.76	31.98 \pm 2.45	30.78 \pm 5.25	0.477
72 Saat	29.88 \pm 4.37	32.68 \pm 3.22	31.45 \pm 5.87	0.490
P_b	0.693	0.533	0.739	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir grupta GSH-Px seviyeleri belirlendi (Tablo 4.9). Katılımcıların GSH-Px seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 4.9).

Total Antioksidan Seviyeleri (TAS)

Tablo 4.10. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan TAS (mmol/L) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası TAS (mmol/L) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	1.71 \pm 0.47	1.77 \pm 0.51	1.71 \pm 0.36	0.959
Egzersiz sonrası	1.83 \pm 0.37	1.90 \pm 0.30	1.89 \pm 0.30	0.907
Uygulama sonrası	1.87 \pm 0.24	1.92 \pm 0.37	1.91 \pm 0.18	0.931
24 Saat	1.60 \pm 0.23	1.77 \pm 0.18	1.95 \pm 0.12 [¥]	0.005
48 Saat	1.51 \pm 0.13	1.86 \pm 0.28 [¥]	1.82 \pm 0.28	0.018
72 Saat	1.52 \pm 0.28	1.80 \pm 0.39	1.98 \pm 0.23 [¥]	0.027
P_b	0.065	0.891	0.286	

¥: Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında $p < 0.05$. NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir grupta TAS seviyeleri belirlendi. (Tablo 4.10).

Katılımcıların TAS seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası karşılaştırılmasında; kontrol grubuna kıyasla, 24. ve 72. saatlerde Core egzersiz yapılan grupta, 48. saatte ise NMES grubu TAS seviyelerinde, istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu saptandı ($p<0.05$) (Tablo 4.10). Her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmada ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi (Tablo 4.10).

Total Oksidan Seviyeleri (TOS)

Tablo 4.11. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan TOS ($\mu\text{mol/L}$) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası TOS ($\mu\text{mol/L}$) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	4.41 \pm 1.17	3.82 \pm 0.87	4.12 \pm 1.30	0.587
Egzersiz sonrası	4.88 \pm 0.68	4.38 \pm 1.32	4.66 \pm 1.09	0.648
Uygulama sonrası	4.77 \pm 1.00	4.34 \pm 0.77	4.29 \pm 0.87	0.501
24 Saat	4.51 \pm 0.88	4.06 \pm 0.78	4.01 \pm 0.52	0.351
48 Saat	4.26 \pm 0.71	3.99 \pm 0.61	3.96 \pm 0.67	0.621
72 Saat	4.48 \pm 0.85	3.86 \pm 1.25	3.93 \pm 0.95	0.437
P_b	0.619	0.740	0.482	

NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan TOS seviyeleri saptandı (Tablo 4.11). Katılımcıların TOS seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 4.11).

Oksidatif Stres İndeksi (OSİ)

Tablo 4.12. Her bir grup için 6 farklı zamanda alınan OSİ (%) değerlerinin (P_b) ve her farklı zaman için gruplar arası OSİ (%) değerlerinin (P_a) istatistiksel olarak karşılaştırılması (ort \pm ss).

Değişkenler	Kontrol	NMES	Core	P_a
Egzersiz öncesi	0.272 \pm 0.09	0.230 \pm 0.08	0.247 \pm 0.09	0.648
Egzersiz sonrası	0.279 \pm 0.08	0.242 \pm 0.09	0.251 \pm 0.06	0.652
Uygulama sonrası	0.253 \pm 0.07	0.234 \pm 0.06	0.226 \pm 0.05	0.704
24 Saat	0.287 \pm 0.08	0.231 \pm 0.05	0.205 \pm 0.02 [‡]	0.033
48 Saat	0.284 \pm 0.05	0.217 \pm 0.04 [‡]	0.222 \pm 0.04	0.023
72 Saat	0.315 \pm 0.07	0.212 \pm 0.05 [‡]	0.199 \pm 0.04 [‡]	0.002
P_b	0.645	0.952	0.163	

‡: Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında $p<0.05$. NMES: Nöromusküler elektrik stimülasyonu.

Egzersiz öncesi, egzersiz sonrası, uygulama sonrası, 24, 48 ve 72 saat sonra olmak üzere 6 farklı zamanda, her bir gruptan OSİ seviyeleri belirlendi. (Tablo 4.12). Katılımcıların OSİ seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası karşılaştırılmasında; kontrol grubuna kıyasla, 24. saatte Core egzersiz yapılan grupta, 48. saatte NMES grubunda ve 72. saatte ise, hem NMES hem Core egzersiz grubu OSİ değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu saptandı ($p<0.05$) (Tablo 4.12). Her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmada ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi (Tablo 4.12).

5. TARTIŞMA

Performansın hızlı toparlanması, kısa toparlanma periyotları ile serpiştirilmiş yoğun egzersiz periyotlarını (dövüş sporları buz hokeyi, takım sporları vb.) içeren aralıklı egzersiz yapan elit sporcular için önemlidir. Antrenman toparlanmasını optimize etmek, aynı zamanda, ilişkili yorgunluk veya sürantrenman etkileri olmaksızın bir sezon boyunca birbirini takip eden antrenman veya yarışmalar yapmak için de faydalı olabilir (187).

Kısa süreli egzersizde aynı seviyede performansı tekrarlayamama, sıklıkla metabolit birikimini içeren periferik yorgunluğa ve mekanik stresten kaynaklanan kas hasarına, kas hücresi homeostazındaki dengesizliklere veya egzersizden kaynaklanan lokal inflamasyona bağlanır (188-190). Çeşitli yoğunluklarda ve sürelerde egzersiz, vücutta serbest radikal oluşumunun artmasına neden olmakla birlikte, vücudun ortaya çıkan oksidatif stres durumunu nasıl ele aldığı birçok bilimsel araştırmanın ilgi alanı olmuştur. Vücudun bu serbest radikallerin üretimi ve yok edilmesi arasında bir denge kuramaması, vücut sisteminde çeşitli derecelerde metabolik ve dejeneratif komplikasyonlara neden olacaktır (137,191). Aynı zamanda oksijen kaynaklı serbest radikaller, egzersiz sonrası iskelet kası hasarının da araçları olarak önemli bir rol oynamaktadır. Mitokondriyal oksijen tüketimindeki ve elektron taşıma zincirindeki artışın bir sonucu olarak egzersiz sırasında serbest oksijen radikallerinin üretimi artar ve bu da lipid peroksidasyona neden olur (192). Minimum dinlenme süresi ile çok sayıda yoğun antrenman ve müsabaka da, bir sonraki antrenman performansının taleplerini olumsuz etkileyebilir ve aşırı yüklenmeden dolayı yaralanmalara neden olabilir. Bu nedenle, yoğun bir antrenman ve müsabakanın ardından toparlanma süreci bir sonraki antrenman için oldukça önem taşır (11). Toplam kan akışını uyararak periferik dolaşımı ve venöz dönüşü iyileştirmek, aynı zamanda toparlanmayı optimize etmek ve kas hasarının veya metabolit birikimlerin temizlenmesini hızlandırmak amacıyla çeşitli teknikler önerilmiştir (187). NMES ile Core egzersiz uygulamaları da yorgunluk sonrası toparlanma yöntemlerindedir. Bu çalışmada, yüksek şiddetli interval antrenman sonrasında yapılan NMES ve Core egzersiz uygulamalarının toparlanma sürecinde kas hasarı ve antioksidan parametrelere etkisi araştırılarak literatüre katkı sağlama amaçlanmıştır. Aynı zamanda NMES ve Core egzersizlerin spor ve insan kas rehabilitasyonunda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, fizyolojik etkilerine dair

sınırlı çalışma olması itibariyle bu çalışmadan alınacak veriler, performans sporu ile sporcu sağlığı arasındaki ilişkilere de ışık tutacaktır.

Kas hasarı ile İlgili Parametrelerin Değerlendirilmesi

Kreatin Kinaz (CK) ve Laktat Dehidrogenaz (LDH) Değerlendirmesi

Araştırma sonucunda kas hasarı ile ilgili parametrelerin değerlendirilmesinde elde edilen bulgulara göre katılımcıların CK ve LDH seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı.

Core egzersizler rehabilitasyon, bel ağrılarından koruma, denge ve atletik performans gelişimi amaçlarıyla kullanılmakla birlikte, aynı zamanda bu tip egzersizlerin kandan laktik asiti uzaklaştırmaya etki edip etmediği de araştırılmıştır. Yüksek şiddetli bir egzersiz sonrası farklı toparlanma uygulamalarının kandan laktik asit eliminasyonuna etkisinin incelendiği bir çalışmada, core egzersizlerin laktik asitin kandan uzaklaştırılmasında diğer gruplardan farklı bir etki göstermediği ortaya konmuştur (13). Supramaksimal egzersizin ardından uygulanan jogging ve core antrenman programlarının toparlanmaya etkisinin incelendiği bir çalışmada ise, bu uygulamaların toparlanma laktik asit düzeyleri üzerinde farklı bir etki göstermediği belirtilmiştir (193). Govus ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları bir kros sprint kayak yarışmasının ardından nöromusküler elektrik stimülasyonu uygulamasının toparlanmayı hızlandırıp hızlandırmadığı ile ilgili çalışmada NMES uygulamasının CK değerlerinde anlamlı bir farklılık yaratmadığı ve toparlanmayı artırmadığını ortaya koymuşlardır (194). Ferguson ve ark.'nın NMES'in yoğun aralıklı egzersizi takiben kas hasarı ve inflamasyon belirteçleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada NMES'in yoğun aralıklı egzersiz sonrasında algılanan kas ağrısını azalttığı fakat kas hasarının fizyolojik belirteçleri olan CK ve LDH ile IL-6 ve CRP üzerinde etkisi olmadığı rapor edilmiştir (195). Gomez ve ark.'nın 2022 yılında yaptıkları yüksek yoğunluklu fonksiyonel antrenman sonrası farklı toparlanma stratejilerinin karşılaştırıldığı çalışmada da diğer toparlanma uygulamaları ile NMES' in kan laktat ve kas oksijen saturasyonu üzerinde anlamlı farklılık ortaya koymadığı belirtilmiştir (196). Pınar ve arkadaşlarının yüksek şiddetli bir egzersiz sonrası masaj ve elektrostimülasyon uygulamalarının toparlanmaya etkilerini karşılaştırdıkları çalışmada, ne masaj ne de elektriksel kas stimülasyonunun laktat klirensi üzerinde gözlenen bir etkisinin olmadığı

ve pasif dinlenmeye göre daha üstün bir performans geliştirme yöntemi olmadığını ortaya koymuşlardır (197). 2012 de yapılan elektrikli stimülatörün yüksek yoğunluklu aralıklı egzersiz sonrası toparlanmaya etkisinin incelendiği çalışmada CK ve LDH gibi kas hasarı belirteçlerinde anlamlı farklılığın gözlenmediği ifade edilmiştir (187). Literatür sonuçları ile araştırma bulgularımız paralellik göstermektedir.

Bununla birlikte farklı sonuçlar ortaya konan çalışmalar da mevcuttur. Navalta ve Hrnır'ın yaptıkları çalışmada yüksek şiddetli egzersiz sonrası uygulanan core egzersiz uygulamalarının kandan laktik asidin uzaklaştırılma hızının pasif toparlanmaya göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (186). Yüksek yoğunluklu egzersiz sonrası elektrostimülasyon ve core egzersiz uygulamalarının toparlanmaya etkisinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada; elektrostimülasyon ve core egzersiz toparlanma yöntemlerinin, yüksek yoğunluklu interval antrenmandan sonra toparlanmayı olumlu etkileyerek laktatın kandan ve kaslardan daha hızlı uzaklaştırılmasını sağladığını göstermiştir (17). Bieuzen ve ark.'nın yaptıkları, 3 farklı toparlanma yönteminin mekik koşu performansı testi üzerine ve toparlanma aşaması sırasında kaydedilen metabolik yan ürün belirteçleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, iki yorucu test arasında uygulanan elektrik stimülasyonu uygulamasının toparlanma faktörlerini olumlu etkileyerek hem kan laktat, pH ve bikarbonat konsantrasyonları gibi metabolik yan ürünleri daha hızlı temizlediği hem de sonraki performansa olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuşlardır (192). 2009'da yapılan bir çalışmada düşük frekansla uygulandığında, NMES'in bir sprint yüzmesinden (200 yard) sonra aktif toparlanmaya (submaksimal yüzme) kıyasla laktat gibi metabolitlerin uzaklaştırılmasını hızlandırabileceğini bulmuştur (198). Maksimum hız antrenmanlarından sonra nöromüsküler elektriksel stimülasyonun toparlanmaya etkisinin incelendiği bir başka çalışmada ise, kan laktatı üzerinde bir etki gözlenmezken, CK değerlerinde azalma saptanmıştır (161).

Literatür çalışmaları ile yaptığımız çalışma karşılaştırıldığında benzer sonuçlar kadar çalışmamızla benzer olmayan sonuçların da olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu farklılıkların sebebinin core egzersizlerle ilgili olarak seçilen core egzersizlerin türü, süresi gibi değişkenlerden; NMES uygulamasıyla alakalı olarak da kullanılan cihaz ve uygulama süresi gibi faktörlerden kaynaklanabileceği ifade edilebilir. Aynı zamanda örneklem büyüklüğünün istatistiksel değerleri önemli derecede etkilediği

düşünüldüğünde, bu durumun çalışmalara dahil edilen örneklem sayısı ile de ilgili olabileceği ifade edilebilir.

Oksidan ve Antioksidan Parametrelerin Değerlendirilmesi

Oksidatif stres ve egzersiz ilişkisinin ilk olarak insanlarda 1978'de Dillard ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ile ortaya konduğu belirlenmiş ve bu çalışmada yüklenme şiddetinin %50 olduğu 60 dk.'lık dayanıklılık egzersizinin lipid peroksidasyon seviyelerini artırdığı görülmüştür (199).

Malondialdehit (MDA) Değerlendirmesi

Çalışmamızda katılımcıların MDA seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası karşılaştırılmasında, 72. saatte, kontrol grubuna göre Core egzersiz yapılan grup MDA seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu saptandı. Her bir grup için zamanlar arası karşılaştırıldığında ise Core egzersiz yapılan grupta, 72. saatte 24. saate göre MDA seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu görüldü.

Literatürde oksidatif stres ve egzersizle ilgili çalışmalar incelendiğinde MDA değerleriyle alakalı olarak farklı sonuçların olduğu görülmüştür. Ancak Moflehi ve ark.'nın da aktardığı gibi genellikle yüksek yoğunluklu akut egzersizlerin oksidatif stresi tetiklediği, bu egzersizleri takiben lipid peroksidasyonu ve kas hasarı belirteçlerinin (MDA, CK gibi) arttığı görülmektedir (200). Shadab ve arkadaşlarının koşu bandında 10 km/s hızla treadmill üzerinde uyguladıkları çalışmada; 90 dk'lık koşu egzersizinin futbolcu, hokeyci ve orta mesafeci koşucuların MDA seviyelerinde önemli düzeyde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir (201). Antoncic-Svetina ve ark. tarafından beden eğitimi öğrencilerine uygulanan başka bir çalışmada treadmill üzerinde yapılan orta şiddetteki anaerobik egzersizlerin bireylerin MDA değerlerini yükselttiğini saptamışlardır (202). 8 gönüllü ve sağlıklı erkek üzerinde Groussard ve ark.'nın bir bisiklet ergometresinde tek seferlik uyguladıkları çalışmada, anaerobik egzersizin sağlıklı erkeklerin egzersiz sonrası MDA değerlerinde artışa sebep olduğu ve bu artışında istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirtilmiştir (203). 25 genç, sağlıklı erkek öğrencinin katıldığı bir başka çalışmada, akut egzersiz sonrası Malondialdehit seviyelerinin egzersiz öncesine göre önemli düzeyde yükseldiği saptanmıştır (204).

Literatür bulgular akut ve yüksek şiddetli egzersizlerin MDA değerlerinde olumsuz etki göstererek konsantrasyonlarında artışa sebep olduğunu göstermektedir. Egzersiz, hücreler için potansiyel olarak toksik özellikteki çeşitli peroksit ve aldehitlerin

(malondialdehit dahil) üretimine yol açarak, kaslarda oksidatif stresi indükler (205). Oksijen tüketiminin az olduğu durumlarda süperoksit radikali ve benzeri türleri etkisizleştiren antioksidanlar, şiddetli egzersizlerde, oksijen ihtiyacının daha fazla olduğu durumlarda serbest radikallerin oluşum hızlarına yanıt veremeyebilir ve bu durum hücrel birtakım hasarlara sebep olabilir (93). Buna karşın, literatürde egzersizin MDA düzeyleri üzerine etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (206-208). MDA düzeylerindeki bu farklılığın sebebinin ise, ölçüm yöntemleri ya da yapılan sportif yüklenmelerdeki protokol farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Aynı zamanda yaptığımız çalışmada HIIT egzersiz sonrası yapılan Core egzersiz uygulamalarının 72. saatte kontrol grubuna göre MDA seviyelerini olumlu etkileyerek düşürdüğü tespit edilmiştir. 2004 yılında yapılan bir çalışmada elektrostimülasyon uygulamasının MDA seviyelerini önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir (209). Soslu ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları Core antrenmanlarının basketbol sporcularının antioksidan kapasitesine etkileri adlı çalışmada MDA aktivitesinin birinci, ikinci ve üçüncü ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı görülmüştür (210). Szabo ve arkadaşlarının, yaptıkları başka bir çalışmada da elektrik stimülasyonundan sonra malondialdehit konsantrasyonundaki değişiklikler incelenmiş ve lipid peroksidasyonunun belirteci olarak malondialdehit içeriği, elektrostimülasyon etkisiyle azalmıştır (211). 2021 yılında Heydari ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada da yoğun egzersiz sonrası toparlanma sürecinde yapılan masaj uygulamasının MDA enzim aktivitesini düşürdüğü saptanmıştır (212). Başka bir çalışmada ise, genç eskrimcilerde core egzersizlerin lipid peroksidasyon üzerine etkileri incelenmiş ve core egzersizlerin Malondialdehit seviyelerini azalttığı rapor edilmiştir (213). Araştırma bulgularımız bu yönüyle literatürle benzerlik göstermektedir.

Araştırma bulgularımız değerlendirildiğinde, çalışmamız sonucu HIIT egzersiz sonrası yapılan Core egzersiz uygulamalarının kontrol grubuna göre 72. saatte; aynı zamanda her bir grup için zamanlar arası karşılaştırıldığında ise Core egzersiz yapılan grupta; 72. saat MDA değerlerinde 24. saate göre istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olması, yapılan Core toparlanma uygulamasının olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla yüksek şiddetli interval antrenman sonucu MDA düzeylerinin arttığı, Core egzersiz toparlanma uygulamalarının oksidatif hasara karşı koruyucu etki gösterip MDA

bulgularında düşüş sağladığı ve antioksidan mekanizmaları kuvvetlendirdiği söylenebilir.

Katalaz (CAT) Değerlendirmesi

Daha az oranda endoplazmik retikulum ile mitokondride, çoğunlukla ise hücre içindeki organellerde bulunan CAT aktivitesi; oksidatif strese, hidrojen peroksitle birlikte su ve oksijeni parçalayarak engel olur (214).

Çalışmamızın CAT ölçümlerine ilişkin, her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası CAT seviyelerinin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. Bulduk ve arkadaşları 18-24 yaş arası 10 kadın voleybolcuya 20 metre mekik koşu testi uygulamış ve araştırma sonucunda CAT aktivitesinin önemli düzeyde azaldığı belirtilmiştir (215). Hentbolcülerde yapılan başka bir çalışmada ise hentbol maçı hemen ve 24 saat sonrası CAT değerlerinin önemli oranda azaldığı ifade edilmiştir (216). Korivi ve ark.'nın 10 hafta boyunca ratlarda vücut ağırlığının %3'ü kadar ağırlık yüklenip 10-15 dk yüzme antrenmanı yaptırdıkları çalışmada lipit peroksidasyonu egzersiz performansından sonra anlamlı olarak yükselirken, CAT aktivitesinin önemli ölçüde azaldığını rapor etmişlerdir (217). 21 elit oyuncu (15 erkek ve 6 kadın) üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada da, yüksek yoğunluklu interval antrenman sonrasında CAT aktivitelerinde anlamlı bir azalma olduğu belirtilmiştir (218). Nitekim çalışmamızın da HIIT egzersizden hemen sonraki bulguları literatürle paralellik göstermektedir. Aynı zamanda Olubajo ve ark.'nın yaptıkları çalışmada, bir koşu bandı egzersizini takiben antrenmanlı kadın futbolcuların CAT seviyeleri artarken, antrenmansızların CAT seviyelerinin azaldığı görülmüştür (191). Aynı şekilde yapılan başka bir çalışmada da maxVO_2' nin %75'i şiddetinde submaksimal egzersiz uygulanan yüzücülerin CAT enzim seviyelerinde önemli bir artış olduğu, sedanterlerin ise aynı şiddetteki egzersiz sonrası CAT aktivitelerinin azaldığı belirtilmiştir (219). Bu durumun uzun süreli egzersizin vücutta oksidatif stresi baskılamaya yardımcı olan bir adaptasyon mekanizması geliştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde de düzenli yapılan egzersizlerin, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan konsantrasyonda bazı değişikliklere neden olduğu ifade edilmektedir. İnsan ve hayvanlarda uygulanan araştırmaların çoğunda düzenli aerobik egzersizler sonrasında kan ve dokularda SOD, GSH ve CAT gibi antioksidan parametrelerin artış gösterdiği bildirilmektedir (121).

Bununla birlikte yaptığımız çalışma sonucunda HIIT egzersiz sonrası yapılan toparlanma uygulamaları CAT değerlerinde herhangi bir anlamlı fark oluşturmamıştır. Soslu ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları Core antrenmanlarının basketbol sporcularının antioksidan kapasitesine etkileri adlı çalışmada CAT aktivitesinin birinci, ikinci ve üçüncü ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadığı bildirilmiştir (210). Abdellaoui ve ark.'nın KOAH alevlenmesi sonrası elektrostimülasyonun iskelet kası etkilerini inceledikleri araştırma sonuçlarımızla benzerlik gösteren çalışmada, CAT antioksidan enzim seviyelerinin gruplar arasında önemli ölçüde değişmediği rapor edilmiştir (220). 2019 yılında Mancinelli ve ark.'nın yaptıkları çalışmada ise NMES sonrası CAT aktivitesinde uygulama öncesine göre anlamlı düşüş olduğu tespit edilmiştir (221). Yaptığımız çalışma ile literatür sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar kadar çalışmamızla paralellik göstermeyen sonuçların da olduğu tespit edilmiştir. Araştırmalardaki bu farkın araştırmalara dahil edilen denek gruplarının çeşitli olması, tercih edilen metodların uygulama süre ve şiddetindeki farklılıklar, yapılan toparlanma uygulamaları öncesinde sporcuda yorgunluğa sebep olan egzersiz yapısı gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Süperoksit Dismutaz (SOD) Değerlendirmesi

Hücrede süperoksit radikallerine karşı savaştan en önemli enzimatik antioksidanlardan biri olan SOD seviyelerindeki artış, oksidatif strese karşı adaptasyonu kuvvetlendirmektedir (222, 223).

Çalışmamızda katılımcıların SOD seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. Yapılan bir araştırmada yoğun egzersizin futbolcuların SOD seviyelerinde akut bir etkisinin olmadığı saptanmıştır (224). Qrtembland ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada ise 6 set, 30 saniyelik sıçrama egzersizleri sonrasında çalışmamızın HIIT egzersiz sonrasındaki bulgularımızla paralel SOD aktivitesinin bazal değerlere kıyasla arttığı saptanmıştır (225). VO₂ max'ın %75'inde koşu bandında Bruce protokolüne göre uygulanan bir egzersizin judocuların SOD seviyelerini yükselttiği belirtilmiştir (226). Başka bir çalışmada da Çelik ve ark. tarafından futbolcularda antioksidan sistem parametrelerine akut egzersizin etkisinin incelendiği bir çalışma yapılmış ve 45'er dakika ve iki devreli oynanan maç sonunda bazal duruma

göre SOD seviyelerinde artış olduğu görülmüştür (126). Literatür incelendiğinde SOD enzim aktivitesinin genellikle akut egzersiz sonrası artış gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebi akut yoğun egzersizin, bir taraftan oksidan oluşumuyla oksidatif stresi ortaya çıkarırken, diğer taraftan da antioksidan enzimleri uyarıp antioksidan sentezini artırarak çift etki göstermesi ve antioksidan savunma mekanizmasını aktive etmiş olması olabilir. Zaman ilerledikçe de vücut metabolizmasının adaptasyon göstermesiyle birlikte SOD seviyelerindeki artışlar azalarak kaybolurken, antioksidan ve oksidan denge yeniden sağlanmaktadır.

Bununla birlikte çalışmamızın HIIT egzersiz sonrası yapılan toparlanma uygulamalarında, gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. 2017 yılında yapılan NMES'in iskelet kası rejenerasyonuna etkisi ile ilgili bir çalışmada araştırma bulgularımızla paralel SOD enzim aktivitesinde anlamlı farklılığın oluşmadığı rapor edilmiştir (227).

Çalışma sonuçlarımızdan farklı olarak Pimenta ve ark.'nın yaptıkları çalışmada ratlarda tek bir seans elektrik stimülasyonu uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkileri incelenmiş ve yapılan elektrik stimülasyonu uygulamasının SOD enzim aktivitesini artırdığı ifade edilmiştir (228). 2021 yılında Heydari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yoğun egzersiz sonrası toparlanma sürecinde yapılan masaj uygulamasının SOD enzim aktivitesini artırdığı rapor edilmiştir (212). Core egzersizlerin antioksidan kapasiteye etkisinin incelendiği bir çalışmada ise core egzersizlerin SOD enzim miktarında artışa neden olduğu görülmüştür (210). 2020' de 51 sağlıklı gönüllü üzerinde yapılan bir çalışmada NMES uygulamasının SOD değerlerini düşürdüğü ifade edilmiştir (229). Literatürdeki bu sonuçlar, araştırma bulgularımızla farklılık göstermektedir.

Literatür sonuçları arasındaki farklılıklarda, yapılan uygulamaların tipi, şiddeti ve süresi ile katılımcı sayısı, yaş, cinsiyet, örneklem grubunun takibi, kullanılan biyokimyasal ölçüm metodlarındaki farklılıklarının da rolü olabileceği düşünülmektedir.

Glutasyon (GSH) Değerlendirmesi

Antioksidan bir molekül olarak hücre, doku ve organların sistem bütünlüklerinin yapısal ve işlevsel olarak muhafaza edilmesinde önemi büyük olan Glutasyon, peroksit ve serbest radikallerle tepkimeye girip hücreleri oksidatif hasarlara karşı korur (230, 231).

Araştırma grubu GSH seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. Berzosa ve arkadaşlarının 34 sağlıklı erkekle yaptıkları araştırmada çalışmamızın HIIT egzersiz sonrasındaki bulgularımızla paralel akut egzersizin antioksidan kapasiteyi olumsuz etkilediği ve GSH enzimini düşürdüğü belirtilmiştir (232). Benzer şekilde Aguilo ve ark. tarafından 8 erkek bireye uygulanan çalışmada da, akut bisiklet egzersizinin GSH enzim düzeylerinde olumsuz etki yaparak enzim seviyesinin düşmesine yol açtığı saptanmıştır (233). Erkek üniversite öğrencileri üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise, akut egzersizin öğrencilerin GSH değerlerini düşürdüğü belirtilmiştir (234). 2015 yılında yapılan bir çalışmada da 22 kadın futbolcuya uygulanan 20 dakikalık koşu bandı egzersizinin kadın futbolcuların GSH seviyelerini düşürdüğü gözlenmiştir (191). Literatürdeki diğer çalışmalarla araştırma sonuçlarımızın GSH seviyeleri üzerindeki etkilerine yönelik bulgular incelendiğinde, genellikle akut egzersiz sonrası GSH seviyelerinin düştüğü görülmektedir.

Bunun aksine, Deminice ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada olduğu gibi bazı çalışmalarda ise akut egzersiz sonrasında GSH enziminin istatistiksel olarak bazal duruma göre arttığı (235), Gohil ve ark.'nın araştırma bulgularıyla benzer bazı çalışmalarda da akut egzersizin GSH enziminde bir değişime sebep olmadığı belirtilmiştir (236). Elit kadın futbolcularda gerçekleştirilen bir çalışmada ise futbol müsabakasının hemen ve 21 saat sonrasındaki glutatyon seviyelerinde istatistiksel fark saptanmadığı rapor edilmiştir (237). Soslu ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları Core antrenmanlarının basketbol sporcularının antioksidan kapasitesine etkileri adlı çalışmada GSH düzeyinin birinci, ikinci ve üçüncü ölçümünde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamakla birlikte üçüncü ölçümde GSH miktarının arttığı ifade edilmiştir (210). 2004 yılında yapılan bir çalışmada da elektrik stimülasyonunun GSH seviyelerindeki azalmayı önlediği görüldü (209). Çalışmamızda, katılımcıların GSH değerlerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığa rastlanmamıştır.

Yaptığımız çalışma ile literatür sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar kadar çalışmamızla paralellik göstermeyen sonuçların da olduğu tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu farklı sonuçların araştırmalara dahil edilen denek gruplarının çeşitli olması, tercih edilen metodların uygulama süre ve şiddetindeki farklılıklar, yapılan

toparlanma uygulamaları öncesinde sporcuda yorgunluğa sebep olan egzersiz yapısı gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Değerlendirmesi

Çalışmamızda katılımcıların GSH-Px seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı.

Marin ve ark.'nın yaptıkları çalışmada, sporculara bir hentbol müsabakası yaptırılmış; sporcuların müsabakadan hemen ve 24 saat sonra ölçülen GSH-Px değerlerinin düştüğü fakat bunun anlamlı olmadığı ifade edilmiştir (216). Benzer şekilde yaptığımız çalışmada da akut HIIT egzersiz sonrası GSH-Px değerlerinin egzersiz öncesine göre düştüğü görülmüştür.

Dong ve ark.'nın 2017 yılında yaptıkları çalışmada elektrostimülasyonun serbest radikallere etkisini inceledikleri çalışmada GSH-Px değerlerinde artış görüldüğünü rapor etmişlerdir (238). 2021 yılında Heydari ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada yoğun egzersiz sonrası toparlanma sürecinde yapılan masaj uygulamasının GSH-Px enzim aktivitesini artırdığı ifade edilmiştir (212). Pimenta ve ark.'nın ratlarda tek bir seans elektrik stimülasyonu uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada da yapılan elektrik stimülasyonu uygulamasının GSH-Px enzim aktivitesini artırdığı ortaya konmuştur (228). Bu sonuçlardan farklı olarak Ugras'ın yaptığı araştırma bulgularımızla paralellik gösteren çalışmada ise 10 günlük kamp döneminde elit sporculara uygulanan yüksek yoğunluklu interval antrenmanı uygulamasının GSH-Px değerlerinde herhangi bir farklılık meydana getirmediği rapor edilmiştir (218). Literatür sonuçları arasındaki farklılıklarda, yapılan uygulamaların tipi, şiddeti ve süresi ile katılımcı sayısı, yaş, cinsiyet, örneklem grubunun takibi, kullanılan biyokimyasal ölçüm metodlarındaki farklılıklarının da rolü olabileceği düşünülmektedir.

TAS, TOS ve OSİ Değerlendirmesi

Total Antioksidan Seviyesi (TAS) Değerlendirmesi

TAS değişkeni üzerinde toparlanma protokollerinin etkisi incelendiğinde; TAS seviyeleri her bir zaman için gruplar arası karşılaştırıldığında, 24. ve 72. saatlerde Core egzersiz yapılan grupta, 48. saatte ise NMES grubu TAS seviyelerinde, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu saptandı. Her bir grup için zamanlar

arası karşılaştırıldığında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmedi. Berzosa ve arkadaşlarının 34 sedanter, sağlıklı erkek bireye bisiklet ergometresinde akut maksimal ve submaksimal egzersizler yaptırdıkları çalışmada egzersiz sonrası, hem maksimal hem de submaksimal egzersiz periyodları sonrası plazmada antioksidan enzim aktivitelerinde ve TAS değerlerinde artış tespit edildiği rapor edilmiştir (231). 2015’de yapılan bir çalışmada %75-90 maxVO₂ aralığında bir koşu bandı egzersizi sonrası TAS seviyelerinin arttığı GSH seviyelerinin azaldığı rapor edilmiştir (239). Gravina ve arkadaşlarının kadın futbolcularda maç sonrasında meydana gelen metabolik değişiklikleri inceledikleri çalışmada da, futbolcularda müsabakaya bağlı olarak total antioksidan kapasitenin arttığı ifade edilmiştir (240). Ascensao ve arkadaşlarının bir futbol müsabakasının oksidatif stres ve kas hasarı belirteçleri üzerindeki etkisini analiz ettikleri çalışmada ise müsabaka öncesi ile müsabaka 72 saat sonrası TAS değerlerinde, dönemsel olarak önemli ölçüde artış olduğunu kaydetmişlerdir (241). Benzer şekilde yaptığımız çalışmada da akut HIIT egzersiz sonrası TAS değerlerinin egzersiz öncesine göre yüksek olduğu ve sonuçlarımızın literatürle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar artan oksidatif stresi dengelemek için antioksidan kaynakların devreye girdiğini göstermektedir. Başka bir çalışmada ise araştırma sonuçlarımızdan farklı olarak hem sedanter hem antrenmanlı deneklerde gece ve gündüz yapılan halı saha maçı sonundaki TAS seviyesi maç öncesi TAS seviyesinden istatistiksel olarak anlamlı oranda düşük bulunmuştur (242). Demirbağ ve ark.’nın yaptığı çalışmada da Bruce protokolü kullanılarak yapılan koşu bandı egzersiz testi sonrası TAS seviyelerinde azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir (243).

HIIT egzersiz sonrası TAS seviyeleri her bir zaman için gruplar arası karşılaştırıldığında, 24. ve 72. saatlerde Core egzersiz yapılan grupta, 48. saatte ise NMES grubu TAS seviyelerinde, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu saptandı. Araştırma sonucunda ortaya koyduğumuz bulgular değerlendirildiğinde, HIIT’in TAS seviyelerini arttırdığı, NMES ve Core egzersiz toparlanma uygulamalarının oksidatif hasara karşı koruyucu etki gösterip TAS bulgularında daha fazla artış sağlayarak antioksidan mekanizmayı kuvvetlendirdiği tespit edilmiştir. Bu durumun plazmada antioksidanların bir etkileşim içinde bulunmaları ve genellikle bu maddelerin sinerjist olarak çalışmalarından kaynaklandığı, aynı zamanda total antioksidan kapasitede antrenmana bağlı olarak kısa süreli meydana gelen artışın, erken evrede oksidatif strese bir adaptasyonu yansıttığı söylenebilir. Bu

etkileşim sebebiyle, bileşenlerin tek başlarına yaptıkları etki toplamından daha fazla bir etki meydana gelmekte ve bir antioksidandaki azalma diğerindeki artışla kompanse edilebilmektedir.

Total Oksidan Seviyesi (TOS) Değerlendirmesi

Çalışmamızda katılımcıların TOS seviyeleri arasında her bir zaman için gruplar arası ve her bir grup için zamanlar arası karşılaştırılmasında, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. 2012’de yapılan profesyonel futbolcularla sedanter bireylerde akut egzersizle oluşan TOS ve TAS seviyelerinin kıyaslandığı çalışmada futbolcuların TOS değerlerinin, maç öncesi TOS seviyelerinden önemli oranda yüksek olduğu bildirilmiştir (155). Yalçinkaya’nın çalışmasında yüzücü ve sedanter bireylerin antrenman önce ve sonrasındaki TOS değerlerinin yükseldiği saptanmıştır (244). Wiecek ve ark.’nın 2015’de yaptıkları çalışmada da fiziksel olarak aktif durumdaki 10 kadın ve 10 erkek bireye maksimal şiddetli egzersiz uygulanmış, erkeklerde egzersiz sonrası TOS değerlerinde anlamlı artış olurken; kadınlarda TAS değerlerinde artış meydana geldiği belirtilmiştir (245). Yamaner’in 2010 yılında yaptığı erkek futbolcularda lipoproteinler ve oksidatif belirleyiciler adlı çalışmada ise aktivite sonrasında sporcuların toplam oksidatif durum ve oksidatif stres indekslerinin yükseldiği tespit edilmiştir (246). Algül ve Özçelik’in 2017 yılında yaptıkları çalışmada hem sedanter hem antrenmanlı deneklerde gece ve gündüz saatlerinde yapılan halı saha müsabakası sonundaki TOS seviyesinin müsabaka öncesi TOS seviyesinden istatistiksel olarak anlamlı oranda daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (242). Bu sonuçlar dönemsel (HIIT egzersiz öncesi ve sonrası) olarak bulgularımızla paralellik göstermektedir.

2015 yılında yapılan bir çalışmada yoğun egzersiz stresi meydana getirilen ratlarda, askorbik asidin oksidatif stres üzerine etkilerini inceledikleri araştırmada egzersizle oksidatif streste artış olduğu, gruplar arasında fark olmasa da askorbik asit verilen grupların TAS seviyelerinin yükseldiği, TOS seviyelerinin düştüğü rapor edilmiştir (247). 2021 yılında yapılan akut yorucu egzersiz yaptırılan ratlarda egzersiz öncesi uygulanan Ginkgo biloba yaprak özütünün oksidatif strese etkisinin incelendiği çalışmada, oksidatif strese neden olan değişikliklerin, egzersiz öncesi süreçte uygulanan Ginkgo biloba yaprak özütü ilavesi ile düzeldiği belirlendi (248). Bu sonuçlar araştırma bulgularımızla farklılık göstermektedir. Ortaya çıkan bu farklı sonuçların araştırmalara dahil edilen denek gruplarının çeşitli olması, tercih edilen metodların uygulama süre ve

şiddetindeki farklılıklar, yapılan toparlanma uygulamaları öncesinde sporcuda yorgunluğa sebep olan egzersiz yapısı gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) Değerlendirmesi

OSİ değişkeni üzerinde yapılan değerlendirmede OSİ seviyelerinin her bir zaman için gruplar arası karşılaştırılmasında, kontrol grubuna göre; 24. saatte Core egzersiz yapılan grupta, 48. saatte NMES grubunda, 72. saatte ise hem NMES hem Core egzersiz grubu OSİ değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu saptandı. Her bir grup için zamanlar arası karşılaştırıldığında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmedi.

Yapılan bilimsel çalışmalar kısa süreli veya akut şiddetli egzersizlerin oksidatif stres oranını artırdığını ortaya koymaktadır (249). 2010'da yapılan çalışmada da egzersiz sonrası sporcuların OSİ ortalamalarında artış olduğu rapor edilmiştir (246). Demirbağ ve ark.'nın Bruce protokolü kullanılarak koşu bandı egzersiz testi uyguladıkları çalışmada egzersiz sonrası OSİ seviyelerinde artış olduğu rapor edilmiştir (243). Mendes'in yaptığı çalışmada da futbolcu ve sedanterlere 90 dakikalık bir futbol maçı olarak akut egzersiz yaptırılmış, maç sonrası hem futbolcu hem de sedanterlerde OSİ değerlerinin egzersiz öncesine göre arttığı görülmüştür (155). Kürkcü ve arkadaşlarının adölesan basketbolcularda yaptıkları kısa süreli egzersiz sonrası oksidatif seviyeleri değerlendirdikleri çalışmada bazal durum ile karşılaştırıldığında TOS ve OSI değerlerinde anlamlı artış olduğunu tespit etmişlerdir (250). Mayılov'un, iyi antrene erkek sualtı ragbi oyuncularında yaptığı çalışmada, bir Sualtı Ragbi oyunu sonrasında TOS ve OSİ değerlerinin maç öncesi değerlerine göre anlamlı olarak daha düşük bulunduğu belirtilmiştir (251). Bu bağlamda egzersizle birlikte antrenmanlar esnasında oluşan antioksidan sistemdeki adaptasyonların bu süreçte meydana gelen oksidan strese cevap olarak oluştuğu düşünülmektedir. Ribeiro ve ark.'nın 2017'de Nöromusküler elektrik stimülasyonunun oksidatif stres üzerindeki akut etkisi üzerine yaptıkları çalışmada NMES kullanımının hücrel nitrik oksit (NO) seviyelerinde azalmaya neden olduğu ve oksidatif stresi azaltmada faydalı etkiler gösterdiği sonucuna varılmıştır (252). Bu bulgular, NMES'in kan perfüzyonunda artış gösterip elektro-uyarılmış olan kas gruplarında doku perfüzyonunu iyileştirme özelliği ile toplam kan akışını uyararak periferik dolaşımı ve venöz dönüşü iyileştirdiği, böylece toparlanmayı optimize ettiği ve

metabolit birikimlerin temizlenmesini hızlandırarak oksidatif stresi azaltmada potansiyel bir yararlı etkisi olduğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla çalışmamız sonucunda, yüksek şiddetli interval antrenmanın OSI düzeylerini arttırdığı, NMES ve Core egzersiz toparlanma uygulamalarının oksidatif hasara karşı koruyucu etki gösterip OSI değerlerinde düşüş sağladığı ve antioksidan mekanizmayı olumlu etkileyerek kuvvetlendirdiği ifade edilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaptığımız araştırma sonucunda;

HIIT sonrası toparlanma sürecinde yapılan NMES ve Core egzersiz uygulamalarının, deneklerin kas hasarı parametrelerine (CK ve LDH) etkisinin olmadığı; TAS seviyelerinde artış ile MDA ve OSİ değerlerinde düşüş sağlayarak toparlanma sürecini olumlu etkilediği, SOD, CAT, GSH, GSH-Px ve TOS seviyelerinde ise etki göstermediği tespit edilmiştir.

Yaptığımız araştırma neticesinde yapılan araştırmalarda uygulanan egzersizin, türü ve niteliğine göre kas yapısında bir hasar oluşturduğu ve egzersiz yoğunluğunun oksidatif hasar belirteçleri üzerinde etkili bir parametre olduğu bilinmektedir. Yüksek şiddetteki egzersizlerin serbest radikal üretiminde daha fazla artışa yol açarak oksidatif stresi artırdığı tespit edilmiştir. Yüksek yoğunluklu bir egzersiz olan HIIT egzersiz sonrası elde ettiğimiz bulgular da alanyazındaki araştırmalarla örtüşmekte ve uygulanan yüksek şiddetli interval antrenmanın kas ve oksidatif hasarı artırdığı görülmektedir. Dolayısıyla bu tür egzersizlerde oluşabilecek oksidatif hasara karşı NMES ve Core egzersiz gibi uygulamaların yapılmasının toparlanma sürecine olumlu etki sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak HIIT egzersiz sonrası toparlanma sürecinde yapılan NMES ve Core egzersiz uygulamalarının; kas hasarı parametrelerine etkisinin olmadığı, bazı oksidan ve antioksidan parametreleri ise olumlu yönde etkilediği söylenebilir ve bu uygulamaların toparlanma sürecinde kullanılmasının faydalı olabileceği ifade edilebilir.

Öneriler

1- Araştırma bulgularımız ışığında yüksek yoğunluklu egzersizleri takiben toparlanma periyoduna Nöromusküler elektrik stimülasyonu uygulaması ve core stabilite egzersizlerinin dahil edilmesi, sporcular için hem performansı daha hızlı geri kazanmak ve yaralanmayı önlemek hem de oksidatif hasar semptomlarını hafifletmek ve antioksidan savunma sistemini iyileştirmede fayda sağlayabilir.

2- Araştırma bulgularımız yoğun egzersizi takiben NMES uygulamasının fizyolojik toparlanma göstergelerini iyileştirmede etkili olduğunu göstermektedir. NMES uygulamasının portatif ve taşınabilir olması, zaman, tesis veya alanla sınırlı

olmayan ve sıkışık fikstür dönemlerinde ve artan seyahatlerde takım sporu oyuncuları için önemli bir katkı olabilecek, kolayca uygulanan bir toparlanma stratejisi sunabilir. Bu nedenle bu uygulama, devre arası gibi kısa toparlanma dönemlerinde veya ardışık rauntlu sporlarda kullanıldığında aralık sırasında toparlanmayı hızlandırmak, artan performans ve azalan yaralanma riski açısından faydalı olabilir.

3- Çalışmamıza katılım gösteren bireylerin çalışmaya ne düzeyde bağlı kaldıkları tam anlamıyla belirlenememiştir. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak benzer çalışmalarda araştırmaya katılacak sporcuların kontrolünün sağlanabildiği (kamp vb.) ortamlarda çalışmaların yapılmasıyla araştırma sonuçlarının daha objektif sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

4. Benzer protokol örneklem sayısı artırılarak, farklı yaş ve örneklem gruplarında uygulanabilir.

KAYNAKLAR

1. Gür F. Core Antrenmanın 8-14 Yaş Grubu Tenis Sporcularının Core Kuvveti, Statik ve Dinamik Denge Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, 2015.
2. Bompa TO, Di Pasquale M, Cornacchia L. *Serious Strength Training*. Human Kinetics, 2012.
3. Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 2012, 590(5): 1077-84.
4. Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev* 2008, 36(2): 58-63.
5. İpekoğlu G, Balcı ŞS. Comparison between continuous and intermittent submaximal exercise at the intensity of maximal fat oxidation. *J Hum Sci* 2016, 13(3): 4604-12.
6. Urso ML, Clarkson PM. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. *Toxicology* 2003, 189(1-2): 41-54.
7. Ashton T, Young IS, Peters JR, Jones E, Jackson SK, Davies B. Electron spin resonance spectroscopy, exercise, and oxidative stress: an ascorbic acid intervention study. *J Appl Physiol*, 1999, 87: 2032-6.
8. Sies H. Biochemistry of oxidative stress. *Angew Chem Int Ed Engl* 1986, 25(12): 1058-71.
9. Orrenius S, Burkitt MJ, Kass GE, Dypbukt JM, Nicotera P. Calcium ions and oxidative cell injury. *Ann Neurol* 1992, 32: 33-42.
10. Villa-Caballero L, Nava-Ocampo AA, Frati-Munari AC, Rodríguez de León SM, Becerra-Pérez AR, Ceja RM. Hemodynamic and oxidative stress profile after exercise in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract* 2007, 75: 285-91.
11. Rey E, Lago-Peñas C, Casáis L, Lago-Ballesteros J. The effect of immediate post-training active and passive recovery interventions on anaerobic performance and lower limb flexibility in professional soccer players. *J Hum Kinet* 2012, 31: 121-9.

12. Hough T. Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol* 1902, 7(1): 1-17.
13. Hazır T, Gül Ş. Yüksek şiddetli egzersiz sonrasında pasif, kor egzersizleri ile kombine pasif ve aktif toparlanmanın kandan laktik asit eliminasyonu üzerine etkisi. *Spor Bilimleri Dergisi* 2015, 26 (4): 165–76.
14. Burke LM, Loucks AB, Broad N. Energy and carbohydrate for training and recovery. *J Sports Sci* 2006, 24(7): 675-85.
15. Reilly T, Ekblom B. The use of recovery methods post-exercise. *J Sports Sci* 2005, 23(6): 619-27
16. Viru A. *Adaptation in Sport Training*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995.
17. Mor A, Ipekoglu G, Arslanoglu C, Acar K, Arslanoglu E. The Effects of electrostimulation and core exercises on recovery after high-intensity exercise. *Int J Appl Exerc Physiol* 2017, 6(4): 46-53.
18. Beyazova M, Kutsal YG. *Fiziksel tıp ve rehabilitasyon*. 3. Baskı, Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri, 2016.
19. Kimura T, Kaneko F, Iwamoto E, Saitoh S, Yamada T. Neuromuscular electrical stimulation increases serum brain-derived neurotrophic factor in humans. *Exp Brain Res* 2019, 237(1): 47-56.
20. Cipryan L. IL-6, antioxidant capacity and muscle damage markers following high-intensity interval training protocols. *Journal Of Human Kinetics* 2017, 56(1): 139-48.
21. Quindry JC, Stone WL, King J, Broeder CE. The effects of acute exercise on neutrophils and plasma oxidative stres. *Med Sci Sports Exerc* 2003, 35: 1139-45.
22. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of strength training and conditioning*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008.
23. Ratamess NA. *ACSM's foundations of strength training and conditioning*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
24. Başandaç G. Adölesan Voleybol Oyuncularında İlerleyici Gövde Stabilizasyon Eğitiminin Üst Ekstremitte Fonksiyonlarına Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Fizyoterapistliği Programı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 2014.
25. Nadler SF, Malanga GA, Bartoli LA, Feinberg JH, Prybicien M, DePrince M. Hip muscle imbalance and low back pain in athletes: Influence of core strengthening. *Med Sci Sports Exerc* 2002, 34(1): 9-16.

26. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord Tech* 1992, 5(4): 390-7.
27. McGill SM, Grenier S, Kavcic N. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol* 2003, 13: 353-9.
28. Brungardt K, Brungardt B, Brungardt M. *The Complete of Book Core Training*. Harper Colins Special markets department, Newyork, 2006.
29. Fahey T, Insel P, Roth W. *Fit &Well: Core Concepts and Labs in Physical Fitness and Wellness*. 9th Ed. Active, Softcover, Canada, 2011.
30. Sever O. Statik ve Dinamik Core Egzersiz Çalışmalarının Futbolcuların Sürat ve Çabukluk Performansına Etkisinin Karşılaştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 2016.
31. Samson, KM. The Effects Of A Five-Week Core Stabilization-Training Program On Dynamic Balance İn Tennis Athletes. Master Thesis, Morgantown, WV: West Virginia Univ, 2005.
32. Crisco JJ, Panjabi MM, Yamamoto I, Oxland TR. Euler stability of the human ligamentous lumbar spine. Part II: Experiment. *Clin Biomech* 1992, 7(1), 27–32.
33. Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep* 2008, 7(1): 39-44.
34. Behm DG, Drinkwater EJ, Willardson JM, Cowley PM. The use of instability to train the core musculature. *Appl Physiol Nutr Metab* 2010, 35(1): 91-108.
35. Stephenson J, Swank AM. Core training: Designing a program for anyone. *Strength Cond J* 2004, 26(6): 34-7.
36. Jull G, Hodges P, Hides J, Panjabi MM. *Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: Scientific basis and clinical approach*. 1st Ed. Sydney, Churchill Livingstone, 1999.
37. Xue-Qiang W, Jie-Jiao Z, Zhuo-Wei Y, Xia B, Shu-Jie L, Jing L, Pei-Jie C. A meta-analysis of core stability exercise versus general exercise for chronic low back pain. *Plos One* 2012, 7(12): 1-7.
38. Fig G. Strength training for swimmers: Training the core. *J Strength Cond Res* 2005, 27(2): 40-2.
39. Hibbs AE, Thompson KG, French D, Wrigley A, Spears L. Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med* 2008, 38(12): 995-1008.

40. Axel TA. The Effects Of A Core Strength Training Program On Field Testing Performance Outcomes In Junior Elite Surf Athletes. Presented To The Department Of Kinesiology. Master Thesis, California State Univ. Long Beach, 2013.
41. Majewski-Schrage T, Evans TA, Ragan B. Development of a core stability model: A delphi approach. *J Sport Rehabil* 2014, 23(2): 95-106.
42. Açıkada C, Ergen E. *Bilim ve Spor*. Ankara, Büro-Tek Ofset Matbaacılık, 1990.
43. Willardson JM. A periodized approach for core training. *ACSMs Health Fit J* 2008, 12(1): 7-13.
44. Vanderthommen M, Makrof S, Demoulin C, Comparison of active and electrostimulated recovery strategies after fatiguing exercise. *J Sports Sci Med* 2010, 9(2): 164.
45. Weigelt M. Sample Class: Core Conditioning Camp. *IDEA Fitness Journal* 2012, 9(9): 69-70.
46. Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med* 1992, 14: 100–03.
47. Gondin J, Cozzone PJ, Bendahan D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? *Eur J Appl Physiol* 2011, 111(10): 2473-87.
48. Lehmann M, Gastmann U, Petersen KG, Bachl N, Seidel A, Khalaf AN, Fischer S, Keul J. Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle-and long-distance runners. *Br J Sp Med* 1992, 26(4): 233-42.
49. Çolakoglu FF, Cayci B, Yaman M, Karacan S, Gonulateş S, Ipekoglu G, Er F. The effects of the intake of an isotonic sports drink before orienteering competitions on skeletal muscle damage. *J Phys Ther Sci* 2016, 28(11): 3200-04.
50. Tessitore A, Meeusen R, Pagano R, Benvenuti C, Tiberi M, Capranica L. Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *J Strength Cond Res* 2008, 22(5): 1402-12
51. Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med* 2006, 36(9): 781-96.
52. Martin V, Millet GY, Lattier G, Perrod L. Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2004, 36(11): 1907-15.

53. Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J. Strength Cond Res* 2007, 21(3): 745-50.
54. Boreham C, Budgett R, Carbon R, Diaper N, Franco A, Godfrey R, Ingham S, Koutedakis Y, McConnell Ak, Metsios GS, Shave R, Stavropoulos A, Someren Kv, Whyte G. *The Physiology Of Training*. 1st Ed, Elsevier, 2006: 2.
55. Sevim Y. *Antrenman Bilgisi* 1. Baskı. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2002: 60-75.
56. Bayati M, Farzad B, Gharakhnlou R, Alnejad HA. A practical model of low-volume high intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. *J Sports Sci Med* 2011, 10: 571-6.
57. Samuel GJ, Martinez N, Campbell BI. The impact of high-intensity interval training on metabolic syndrome. *Strength Cond J* 2013, 35(2): 63-5.
58. Karabıyık H. Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman Yöntemlerinin Akut Etkileri. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Bilimleri Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, 2021.
59. Korkmaz.S. Farklı Ortamlarda Uygulanan Tabata Yüksek Şiddetli İnterval Antrenmanın Aerobik ve Anaerobik Performansa Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Bilimleri Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Antalya: Akdeniz Üniversitesi, 2017.
60. Azuma K, Matsumoto H. Potential universal application of high-intensity interval training from athletes and sports lovers to patients. *Keio J Med* 2017, 66(2): 19-24.
61. Umutlu G. Yüksek Şiddetli Interval Antrenman (HIIT) ve Devamlı Aerobik Antrenmanı Eşliğinde Kullanılan NMES Uygulamasının Oksijen Kinetiği, TLim, İzokinetik Pık Tork, IGF-1 ve IGFBP-1 Parametreleri Üzerine Etkisi. Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Mersin: Mersin Üniversitesi, 2019.
62. Akgül MŞ, Gürses VV, Karabıyık H, Koz M. The influence of 2 weeks of low-volume high - intensity interval training on aerobic indices in women. *Int JSCS* 2016, 4(1): 298-305.
63. Altınkök M. An analysis on the spheres of influence of high-intensity interval training (HIIT) practices. *ijsser* 2015, 1(2): 463 - 75.

64. Günay M, Şıktar E, Şıktar E. *Antrenman Bilimi*, 1. Basım, Ankara, Özgür Web Ofset Matbaacılık, 2017.
65. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. *Spor ve Egzersiz Fizyolojisi*, Ankara, Spor Yayınevi ve Kitabevi, Emsal Matbaa Ofset, 2021.
66. Finsterer J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskelet Disord* 2012, 13(1): 218.
67. Burke, E. *Precision heart rate training*. Human Kinetics, 1998.
68. Günay M, Tamer K, Cicioğlu İ, Şıktar E. *Spor Fizyolojisi ve Performans Ölçüm Testleri*, 1. Basım, Ankara, Özgür Web Ofset Matbaacılık, 2017.
69. Faulkner JA, Brooks SV, Opitck JA. Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Phys Ther* 1993, 73(12): 911-21.
70. Brown S, Day S, Donnelly A. Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. *J Sports Sci* 1999, 17: 397-402.
71. Paulsen G, Mikkelsen UR, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: What role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc Immunol Rev* 2012, 18: 42-97.
72. Hody S, Rogister B, Leprince P, Wang F, Croisier JL. Muscle fatigue experienced during maximal eccentric exercise is predictive of the plasma creatine kinase (CK) response. *Scand J Med Sci Sports* 2013, 23(4): 501-7.
73. Talbot JA, Morgan DL. The effects of stretch parameters on eccentric exercise-induced damage to toad skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 1998, 19(3), 237-45
74. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer 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): 1112-8.
75. Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwel VW. *Harper'in Biyokimyası*, 24. Baskı. İstanbul, Barış Kitabevi, 1998: 24–68.
76. Aydın T, Yıldız Y, Kalyon TA. *Spor Yaralanmaları*, GATA Basımevi, Ankara, 2000.
77. Walsh B, Tonkonogi M, Malm C, Ekblom B, Sahlin K. Effect of eccentric exercise on muscle oxidative metabolism in humans. *Med Sci Sports Exerc* 2001, 33(3): 436-41.

78. Günay M, Cicioğlu İ. *Spor Fizyolojisi*. 1. Baskı. Ankara, Gazi Kitabevi, 2001: 75–87.
79. Vassilis M. Reference Intervals for serum creatine kinase in athletes. *BJSM* 2007, 41: 74-8.
80. Schumann G, Klauke R. New IFCC reference procedures for the determination of catalytic activity concentrations of five enzymes in serum: preliminary upper reference limits obtained in hospitalized subjects. *Clinica chimica acta* 2003, 327(1): 69-79.
81. Nosaka K, Clarkson PM. Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. *Int J Sports Med* 1996, 17(02): 120-7.
82. Tiidus PM. *Skeletal muscle damage and repair* 1st ed. Champaign: Human Kinetics, 2008.
83. Diplock AT. *Healthy lifestyles nutrition and physical activity: Antioxidant nutrients*. ILSI Europe concise monograph series, Belgium, 1998: 59.
84. Tamer L, Polat G, Eskandari G, Ercan B, Atik U. *Serbest Radikaller*. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi 2000, 1: 52-8.
85. Poljsak B, Jamnik P, Raspor P, Pesti M. Oxidation-antioxidation- reduction processes in the cell: impacts of environmental pollution, in: N. Jerome (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Health, Elsevier*, 2011, 300-6.
86. Holloszy, JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 1984, 56(4): 831-8.
87. Poljsak B, Suput D, Milisav I. Achieving the balance between ROS and antioxidants: When to use the synthetic antioxidants, *Oxid Med Cell Longev* 2013, Article ID 956792, 11 pages.
88. Sen S, Chakraborty R, Sridhar C, Reddy YSR, De B. Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines: Current status and future prospect. *Int J Pharm Sci Res* 2010, 3(1): 91-100.
89. Gilbert DL, Colton CA. *Reactive Oxygen Species in Biological Systems: An Interdisciplinary Approach*. Kluwer academic publishers 2002: 110,749-55
90. Venditti P, Di MS. Effect of training on antioxidant capacity, tissue damage, and endurance of adult male rats. *Int J Sports Med* 1997, 18: 497-502.
91. Karabulut H, Gülay MŞ. *Serbest Radikaller*. MAKÜ Sag Bil Enst Derg 2016, 4(1): 50-9

92. Sezer K, Keskin M. Serbest oksijen radikallerinin hastalıkların patogenezisindeki rolü. *F Ü Sağ Bil Vet Derg* 2014, 28(1): 49-56.
93. Cheeseman KH, Slater TF. An introduction to free radical biochemistry. *Br Med Bull* 1993, 49(3): 481-93.
94. Dündar Y, Aslan R. Hücre moleküler statüsünün anlaşılması ve fizyolojik önem açısından radikaller-antioksidanlar. İçinde: Dündar Y, Aslan R,(editörler). *Hekimlikte oksidatif stres ve antioksidanlar*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, 2000: 5-22.
95. Nieman DC, Williams AS, Shanely RA. Quercetin's influence on exercise performance and muscle mitochondrial biogenesis. *Med Sci Sports Exerc* 2010, 42: 338-45.
96. Davies KJ, Quintanilha AT, Brooks GA, Packer L. Free radicals and tissue damage by exercise. *Biochem Biophys Res Commun* 1982, 107: 1198-205.
97. Kurtuluş H, Eskiocak S, Tütüncüler F, Başaran ÜN, Gülen S. Deneysel sistemik hipoksi geliştirilmiş yenidoğan ratlarda N-Asetisistein uygulamasının etkileri. *Turk. J. of Biochem* 2003, 28(2): 40-4.
98. Rubbo H, Radi R, Anselmi D, Kirk M, Barnes S, Butler J, Eiserich JP, Freeman BA. Nitric oxide reaction with lipid peroxy radicals spares alpha-tocopherol during lipid peroxidation. Greater oxidant protection from the pair nitric oxide α -tocopherol than α -tocopherol/ascorbate. *Journal of Biological Chemistry* 2000, 275(15): 10812-8.
99. Özkan M, Yüksekol İ. Nitrik oksit ve akciğerler. *Toraks Dergisi* 2003, 4(1): 88-94
100. Bonnefoy M, Drai J, Kostka T. Antioxidants to slow aging, facts and perspectives. *Presse Med* 2002, 31(25): 1174-84.
101. Nobari, H, Nejad HA, Kargarfard M, Mohseni S, Suzuki K, Carmelo Adsuar J, Pérez-Gómez J. The effect of acute intense exercise on activity of antioxidant enzymes in smokers and non-smokers. *Biomolecules* 2021, 11(2): 171.
102. Pisoschi AM, Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *Eur J Med Chem* 2015, 97: 55-74.
103. Percival M. Antioxidants. *Clin Nutr Insights* 1998, 10: 1-4
104. Babior BM. Phagocytes and oxidative stress. *Am J Med* 2000, 109(1): 33-44.
105. Eberhardt, MK. *Reactive Oxygen Metabolites: chemistry and medical consequences* Florida: CRC Pres; 2001.

106. Memişoğulları R. Diyabette serbest radikallerin rolü ve antioksidanların etkisi. *Düzce Tıp Fakültesi Dergisi* 2005, 3: 30-9.
107. Öztürk EK. İn Vitro Fertilizasyon (Ivf) Olgularında Serum ve Folliküler Sıvıda Total Oksidan ve Total Antioksidan Seviyelerinin Değerlendirilmesi. Tıp Fakültesi, Kadın Hastalıkları ve Doğum Anabilim Dalı. Tıpta Uzmanlık Tezi, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, 2015.
108. Sachdev S, Davies KJ. Production, Detection and Adaptive Responses to Free Radicals in Exercise. *Free Radic Biol Med* 2008, 44(2): 215-23.
109. Young IS, Woodside JV. Antioxidants in health and disease. *J Clin Pathol* 2001, 54: 176-86.
110. Ayala A, Munoz MF, Argüelles S. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal. *Oxid Med Cell Longev* 2014, Article ID 360438, 31.
111. Revan S, Erol AE. Farklı dayanıklılık antrenmanlarının oksidatif stres oluşumu ve antioksidan düzeyleri üzerine etkisi. *S.Ü. BES Bilim Dergisi* 2008, 10(1): 11- 20.
112. Güzel EÇ, Güzel S, İlk B, Sayalı E, Ekizoğlu İ. Hipertiroidili kadın hastalarda E vitamini düzeyleri ve oksidatif stres. *Bakırköy Tıp Dergisi* 2009, 5: 58- 62.
113. Powers SK, Smuder AJ, Kavazis AN, Hudson MB. Experimental guidelines for studies designed to investigate the impact of antioxidant supplementation on exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010, 20(1): 2–14
114. Frankel EN, Neff WE. Formation of malonaldehyde from lipid oxidation products. *Biochim Biophys Acta* 1983, 754(3): 264- 70.
115. Sinaga FA, Purba PH. The influence of red fruit oil on creatin kinase level at maximum physical activity. *J Phys Conf Ser* 2018, 970(1): 012007.
116. Sies H. Oxidative stress: Oxidants and antioxidants. *Exp Physiol* 1997, 82: 291-5.
117. Serafini M, Del Rio D. Understanding the association between dietary antioxidants, redox status and disease: is the total antioxidant capacity the right tool? *Redox Report* 2004, 9(3): 145-52.
118. Kahraman MZ. Kadın Futbolcularda Yoğun İnterval Antrenman Programının Lipid Peroksidasyonu ve Bazı Antioksidan Aktiviteler Üzerine Etkisi. Kış Sporları ve Spor Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, 2020.
119. Deniz, A. Preterm ve Term Bebeklerin Anne Sütündeki Total Oksidan Seviyesi ve Total Antioksidan Kapasitenin Laktasyon Evrelerine Göre İncelenmesi. Tıp

- Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı. Tıpta Uzmanlık Tezi, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, 2018.
120. Özcan O, Erdal H, Çakırca G, Yönden Z. Oksidatif stres ve hücre içi lipit, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. *J Clin Exp Invest* 2015, 6(3): 331-6.
 121. Kafkas ME. Yapay ve Doğal Çim Saha Farklılıklarının Oksidatif Stres İle İlişkinin Araştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi, 2011.
 122. Chevion S, Moran DS, Heled Y. Plasma antioxidant status and cell injury after severe physical exercise. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003, 100: 5119-23.
 123. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol* 2007, 39: 44–84.
 124. Şener G, Yeğen BÇ. İskemi Reperfüzyon Hasarı. *Klinik Gelişim Dergisi* 2009, 22: 5-13.
 125. Adıgüzel S. Yüksek Şiddetli ve Yüksek Hacimli Antrenmanların Antioksidan Enzimleri ve Performans Cevapları Üzerine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 2020.
 126. Çelik A, Varol R, Onat T, Dagdelen Y, Tugay F. Akut egzersizin futbolcularda antioksidan sistem parametrelerine etkisi. *Sportmetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi* 2007, 4: 167-72.
 127. Winston GW. (1991). Oxidants and Antioxidants in Aquatic Animals. *Comp. Biochem. Physiol* 1991, 100(1-2): 173–6.
 128. Gambelunghe C, Rossi R, Micheletti A, Mariucci G, Rufini S. Physical exercise intensity can be related to plasma glutathione levels. *J Physiol Biochem* 2001, 57(2): 9-14.
 129. Hermes-Lima M, Storey JM, Storey KB. Antioxidant defenses and animal adaptation to oxygen availability during environmental stress. In: Storey KB, Storey JM (eds). *Cell and Molecular Responses to Stress*. Amsterdam, Elsevier Press, 2001: 263–87.
 130. Rowiński R, Kozakiewicz M, Kędziora-Kornatowska K, Hübner-Woźniak E, Kędziora J. Markers of oxidative stress and erythrocyte antioxidant enzyme activity in older men and women with differing physical activity. *Exp Gerontol* 2013, 48: 1141–6.

131. Karakan M, Nazlıkul H. Oksidatif stres ve serbest radikallerin vücut üzerindeki etkisi. *Bilimsel Tamamlayıcı Tıp Regülasyon ve Nöral Terapi Dergisi* 2017, 11(2): 7-11.
132. Sen S, Chakraborty R. The role of antioxidants in human health. In: Hepel M, Andreescu S (eds). *Oxidative stress: diagnostics, prevention and therapy*. Washington, American Chemical Society 2011: 1-37.
133. Karabulut H, Gülay MŞ. Antioksidanlar. *MAE Vet Fak Derg* 2016, 1(1): 65-76.
134. Aslankoç R, Demirci D, İnan Ü, Yıldız M, Öztürk A, Çetin M, Savran EŞ, Yılmaz B. Oksidatif stres durumunda antioksidan enzimlerin rolü - Süperoksit Dismutaz (Sod), Katalaz (Cat) ve Glutasyon Peroksidaz (Gpx). *Med J SDU* 2019; 26(3): 362-9.
135. Hallıwell B. Gutteridge JMC. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 3rd ed. New York, Oxford University Pres. Inc, 1999: 936.
136. Aydın, A, Sayal A, Işimer A. *Serbest Radikaller ve Antioksidan Savunma Sistemi*. Ankara, GATA Basımevi, 2001.
137. Finaud J, Lac G, Filaire E. Oxidative stress: Relationship with exercise and training. *Sports Med* 2006, 36: 327-58.
138. Yalçın AS. Antioksidanlar. *Klinik Gelişim* 1998, 11 (1-2): 342-6.
139. Fridovich I. Superoxide radical and superoxide dismutases. *Annu Rev Biochem* 1995, 64: 97–105.
140. Gönenç S. Çocuklarda 4 Haftalık Yüzme Egzersizinin Antioksidan Enzimler ve Lipid Peroksidasyonuna Etkisi. Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı. Uzmanlık Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 1995.
141. Akkuş İ. *Serbest Radikaller ve Fizyopatolojik Etkileri*, Konya, Mimoza Yayınları, sağlık dizisi (5), 1995.
142. Akyol Ö. Şizofrenide oksidatif stres. *Kocatepe Tıp Dergisi* 2004, 5: 15–25.
143. Burton GW. Vitamin E: Molecular and Biological Function. *Proc Nutr Soc* 1994, 53(2): 251–62.
144. Erel O. A novel automated method to measure total antioxidant response against potent free radical reactions. *Clin Biochem* 2004, 37(2): 112-9.
145. Kosecik M, Erel O, Sevinç E, Selek S. Increased oxidative stress in children exposed to passive smoking. *Int J cardiol* 2005, 100(1): 61-4.

146. Liu J, Yeo HC, Overvik-Douki E, Hagen T, Doniger SJ, Chyu DW, Brooks GA, Ames BN. Chronically and acutely exercised rats: Biomarkers of oxidative stress and endogenous antioxidants. *Appl Physiol* 2000, 89: 21-8.
147. Aslan R, Şekeroğlu MR, Tarakçıoğlu M, Bayıroğlu F, Meral İ. Effect of acute and regular exercise on antioxidative enzymes, tissue damage markers and membran lipid peroxidation of erythrocytes in sedentary students. *J Med Sci* 1998, 28: 411–4.
148. Ji LL, Leichtweis S. Exercise and oxidative stress: source of free radicals and their impact on antioxidant systems. *Age* 2006, 2: 278– 91.
149. Vollaard NBJ, Shearman JP, Cooper CE. Exercise induced oxidative stress: myths, realities and physiological relevance. *Sports Med* 2005, 35(12): 1045–62.
150. Bloomer RJ, Goldfarb AH. Anaerobic exercise and oxidative stres: a review. *Can J Appl Physiol* 2004, 29(3): 245-63.
151. Greathouse KL, Samuels M, Dımarco NM, Criswell DS. Effects of increased dietary fat and exercise on skeletal muscle lipid peroxidation and antioxidant capacity in male rats. *Eur J Nutr* 2005, 44: 429-35.
152. Cooper CE, Vollaard NBJ, Choueiri T, Wilson MT. Exercise, free radicals and oxidative stress. *Biochem Soc Trans* 2002, 30: 280-5.
153. Watson TA, Macdonald-Wicks LK, Garg ML. Oxidative stress and antioxidants in athletes undertaking regular exercise training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005, 15: 131-46.
154. Mercan U. Toksikolojide serbest radikallerin önemi. *YYÜ Veteriner Fakültesi Dergisi* 2004, 15: 91-6.
155. Mendeş B. Profesyonel Futbolcular ile Sedanterlerde Akut Egzersiz ile Oluşan Total Oksidan ve Total Antioksidan Kapasitenin Karşılaştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi, 2012.
156. Taş M. Sıcak Ortamda Yapılan Farklı Antrenman Metotlarının Antioksidan Düzeylerine Etkisinin Karşılaştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009.
157. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001, 31(1): 1-11.

158. Causil VLA, Herrera BYM, Pardo PE. Diversidad genética de palomas domésticas (*Columba livia*) en Ciénaga de Oro (Colombia), utilizando genes del plumaje. *Revista de Med Veterin* 2017, 35: 93-101.
159. Sönmez GT. *Egzersiz ve Spor Fizyolojisi*, 1. Baskı. Bolu, Ata Ofset Matbaacılık 2002: 61-77.
160. Alemdaroğlu U., Koz M. Egzersiz sonrası toparlanma; toparlanma çeşitleri ve yöntemleri. *Turkiye Klinikleri J Sports Sci* 2011, 3(1): 38-46.
161. Taylor T, West JD, Howatson G, Jones C, Bracken RM, Love TD, Cook CJ, Swift E, Baker JS, Kilduff LP. The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *J Sci Med Sport* 2015, 18(3): 328-32.
162. Kenttä, G., Hassmén, P. Overtraining and recovery. *Sports medicine* 1998, 26(1): 1-16.
163. Bompa TO, Haff GG. Çeviri: Bağırğan T, *Dönemleme Antrenman Kuramı ve Yöntemi*. 5. Basım, Ankara, Spor Yayınevi ve Kitabevi, 2017.
164. Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Coutts AJ. Recovery and performance in sport: Consensus statement. *Inter J of Sports Physiology and Perform* 2018, 13(2): 240-5.
165. Gümüşdağ H, Egesoy H, Cerit E. Sporda toparlanma stratejileri. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2015, 8(1): 53-70.
166. Bishop AP, Eric J, Krista W. Recovery from training: a brief review. *J Strength Cond Res* 2008, 22(3): 1015-24
167. Sporer BC, Wenger HA. Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J Strength Cond Res* 2003, 17(4): 638-44.
168. Draper N, Bird EL, Coleman I, Hodgson C. Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and rpe in climbing. *J Sports Sci Med* 2006, 5: 97-105.
169. Murray A, Cardinale M. Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta analysis. *Extrem Physiol Med* 2015, 4(1): 1-15.
170. Özdemir Ö. Sıçanlarda Tüketici Egzersizden Sonra Uygulanan Melatoninin Kas Glikojen Düzeyine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Öğretimi Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Antalya: Akdeniz Üniversitesi, 2006.
171. Ergen E. *Spor Hekimliği*. Türk Tabipler birliği, Ankara, 28-35, 60-64, 1992.

172. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of Sport and Exercise*; 2.Ed. Human Kinetics, USA, 1999: 117-8
173. Tamer K. *Sporda Fiziksel Fizyolojik Performansın Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi*, Ankara, Bağırhan Yayinevi, 2000: 86.
174. Inbar O, Bar-Or O, Skinner JS. *The Wingate anaerobic test*. Champaign IL: Human Kinetics Books, 1996.
175. Skutnik BC, Smith JR, Johnson AM, Kurti SP, Harms CA. The effect of low volume interval training on resting blood pressure in pre-hypertensive subjects: A preliminary study, *Phys Sportsmed* 2016, 44(2): 177-83.
176. Bayraktar I, Çilli M. *Pliometrik Antrenmanlar*. 1. Baskı. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık, 2017: 1-2.
177. Pind R, Mäestu J. Monitoring training load: necessity, methods and applications. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis* 2017, 23: 7-18.
178. Noble BJ, Robertson RJ. *Perceived Exertion*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 320.
179. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982, 14: 377-81.
180. Yaşlı BÇ, Karayiğit R, Karabıyık H, Koz M. Antrenman yükü ölçüm yöntemleri: Bilimsel yaklaşım. *Turkiye Klinikleri J Sports Sci* 2020, 12(3): 421-33.
181. Chen MJ, Fan X, Moe ST. Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *J Sports Sci* 2002, 20(11): 873-99.
182. Little T, Williams AG. Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2007, 21(2): 367-71.
183. Laursen P, Buchheit M. *Science And Application Of High-Intensity Interval Training*: Human kinetics, 2019.
184. Moore GE, Durstine JL, Marsh AP. Framework. In: Durstine JL, Moore GE (eds). *ACSM's Exercise management for persons with chronic diseases and disabilities*. USA: Human Kinetics, 2003: 5-15.
185. Willardson JM. *Developing the core*. United states: National Strength & Conditioning, 2014.
186. Navalta JW, Hrnacir SP. Core stabilization exercises enhance lactate clearance following high intensity exercise. *J Strength Cond Res* 2007, 21(4): 1305-9.

187. Bieuzen F, Pournot H, Roulland R, Hausswirth C. Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using venoplus sport technology for blood-flow stimulation. *J Athl Train* 2012, 47(5): 498-506.
188. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med* 2005, 35(9): 757–77.
189. Noakes TD, Durandt JJ. Physiological requirements of cricket. *J Sports Sci* 2000, 18(12): 919–29.
190. Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, Taxildaris K. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med* 2008, 18(5): 423–31.
191. Olubajo AF, Ayinla OO, Adefunke AO: Changes in stress index, blood antioxidants and lipid profile between trained and untrained young female adults during treadmill exercise test: A comparative study. *Niger J Exp Clin Biosci* 2015, 3(1): 1.
192. Bieuzen F, Borne R, Toussaint JF, Hausswirth C. Positive effect of specific low-frequency electrical stimulation during short-term recovery on subsequent high-intensity exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 2014, 39: 202–10.
193. Atan T, Kabadayı M, Elioz M, Cilhoroz BT, Akyol P. Effect of jogging and core training after supramaximal exercise on recovery. *Turk J Sport Exe* 2013, 15(1): 73–7.
194. Govus AD, Andersson EP, Shannon OM, Provis H, Karlsson M, McGawley K. Commercially available compression garments or electrical stimulation do not enhance recovery following a sprint competition in elite cross-country skiers, *Eur J Sport Sci* 2018, 18(10): 1299-1308.
195. Ferguson RA, Dodd MJ, Paley VR. Neuromuscular electrical stimulation via the peroneal nerve is superior to graduated compression socks in reducing perceived muscle soreness following intense intermittent endurance exercise. *Eur J Appl Physiol* 2014, 114(10): 2223-32.
196. Martínez-Gómez R, Valenzuela PL, Lucia A, Barranco-Gil D. Comparison of different recovery strategies after high-intensity functional training: A crossover randomized controlled trial. *Front Physiol* 2022, 13: 91.
197. Pinar S, Kaya F, Bicer B, Erzeybek MS, Cotuk HB. Different recovery methods and muscle performance after exhausting exercise: Comparison of the effects of electrical muscle stimulation and massage. *Biol Sport* 2012, 29(4): 269–75.

198. Neric FB, Beam WC, Brown LE, Wiersma LD. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J Strength Cond Res* 2009, 23: 2560–7.
199. Dillard C, Litov R, Savin W, Dumelin E, Tappel AL. Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *J Appl Physiol* 1978, 45(6): 927-32.
200. Moflehi D, Kok LY, Tengku-Fadilah TK, Amri S. Effect of single-session aerobic exercise with varying intensities on lipid peroxidation and muscle-damage markers in sedentary males. *Glob J Health Sci* 2012, 4(4): 48-54.
201. Shadab M, Islam N, Khan Z, Khan F, Hossain MM. Oxidative stress in sports persons after a bout of intense exercise: A cross sectional study. *Biomed Res* 2014, 25(3): 387-90.
202. Antoncic-Svetina M, Sentija D, Cipak A, Milicic D, Meinitzer A, Tatzber F, Andrisic L, Zelzer S, Zarkovic N. Ergometry induces systemic oxidative stress in healthy human subjects. *Tohoku J Exp Med* 2010, 221(1): 43-8.
203. Groussard C, Rannou-Bekono F, Machefer G, Chevanne M, Vincent S, Sergent O., Gratas-Delamarche, A. Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol* 2003, 89: 14-20.
204. Alfred EF, Olu AB, Joy EI, Sunday J, Dennis A. The levels of C-reactive protein, malondialdehyde and absolute lymphocyte counts in Pre and post-acute exercise. *J Sports Med Doping Stud* 2017, 7(1): 2161-0673.
205. Alessio HM, Goldfarb AH, Cutler RG. MDA content increases in fast- and slow-twitch skeletal muscle with intensity of exercise in rat. *Am J Physiol* 1988, 255: 874–7.
206. Leaf DA, Kleinman MT, Hamilton M, Barstow, TJ. The effect of exercise intensity on lipid peroxidation, *Med Sci Sports Exerc* 1997, 29: 1036-9.
207. Child RB, Wilkinson DM, Fallowfield JL. Resting serum antioxidant status is positively correlated with peak oxygen uptake in endurance trained runners. *J Sports Med Phys Fitness* 1999, 39(4): 282.
208. Dixon CB, Robertson RJ, Goss FL, Timmer JM, Nagle E, Evans RW. Effect of resistance training status on free radical production and muscle damage following acute exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003, 35: 157.

209. Demiryürek S, Babül A. Effects of vitamin E and electrical stimulation on the denervated rat gastrocnemius muscle malondialdehyde and glutathione levels. *Int J Neurosci* 2004, 114(1): 45-54.
210. Soslu R, Özer Ö, Çuvalcıoğlu İC. The Effects of Core Training on Basketball Athletes' Antioxidant Capacity. *J Educ Train Stud* 2018, 6(11): 128-34.
211. Szabo A, Mezes M, Dalle Zotte A, Szendrő Z, Romvari R. Changes of the fatty acid composition and malondialdehyde concentration in rabbit Longissimus dorsi muscle after regular electrical stimulation. *Meat Sci* 2004, 67(3): 427-32.
212. Heydari B, Ghofrani M, Bahram ME. Effects of three types of massage on serum levels of malondialdehyde, superoxide dismutase and glutathione peroxidase after one session of exhaustive exercise in female futsal players. *Complement Med J* 2021, 10(4): 328-39.
213. Hamza A. The effects of core strength training (with and without suspension) on lipid peroxidation and lunge speed for young fencers. *Science, Movement and Health* 2013, 13(2): 129-36.
214. Limon-Pacheco J, Gonsebatt ME. The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen* 2009, 674(1-2): 137-47.
215. Bulduk EÖ, Ergene N, Baltacı AK, Gümüş H. Plasma antioxidant responses and oxidative stress following a 20 meter shuttle run test in female volleyball players. *Int J Hum Sci* 2011, 8(2): 510-26.
216. Marin DP, dos Santos RdeC, Bolin AP, Guerra BA, Hatanaka E, Otton R. Cytokines and oxidative stress status following a handball game in elite male players. *Oxid Med Cell Longev*, 2011. Article ID 804873, 10 pages.
217. Korivi, M., Hou, C. W., Huang, C. Y., Lee, S. D., Hsu, M. F., Yu, S. H., Kuo, C. H. (2012). Ginsenoside-Rg1 protects the liver against exhaustive exercise-induced oxidative stress in rats. *Evid Based Complement Alternat Med* 2012, Article ID 932165, 8 pages
218. Ugras AF. Effect of high intensity interval training on elite athletes' antioxidant status. *Sci Sports* 2013, 28(5): 253-9.
219. Dağlıoğlu Ö. Elit Yüzücülerde ve Sedanterlerde Aerobik ve Anaerobik Egzersizin Oksidatif Stres Üzerine Etkisi ve Pon1 Gen Polimorfizminin Araştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Doktora Tezi, İstanbul: Marmara Üniversitesi, 2009.

220. Abdellaoui A, Préfaut C, Gouzi F, Couillard A, Coisy-Quivy M, Hugon G, Hayot M. Skeletal muscle effects of electrostimulation after COPD exacerbation: a pilot study. *Eur Respir J* 2011, 38(4): 781-8.
221. Mancinelli R, Toniolo L, Di Filippo ES, Doria C, Marrone M, Maroni CR, Fulle S. Neuromuscular electrical stimulation induces skeletal muscle fiber remodeling and specific gene expression profile in healthy elderly. *Front Physiol* 2019, 10: 1459.
222. Powers SK, Lennon SL. Analysis of cellular response to free radicals focus on exercise and skeletal muscle. *Proc Nutr Soc* 1999, 58: 1025-33.
223. Fielding RA, Meydanî M. Exercise, free radical generation, and aging. *Aging Clin Exp Res* 1997, 9(1-2): 12-8.
224. Kiyici F, Kishali NF. Acute effect of intense exercises on serum superoxide dismutase, catalase and malondialdehyde levels in soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2012, 52(1): 107-11.
225. Qrtenblad N, Madsen K, Djurhuus MS. Antioxidant status and lipid peroxidation after short-term maximal exercise in trained and untrained humans. *Am J Physiol* 1997, 272(4): 1258-63.
226. Eroglu Y, Daglioglu O. The effect of submaximal exercise on oxidant and antioxidant mechanisms in judokas and sedentary. *Int J Sport Stud* 2013, 3(5): 480-6.
227. ESD Filippo, Mancinelli R, Marrone M. Neuromuscular electrical stimulation improves skeletal muscle regeneration through satellite cell fusion with myofibers in healthy elderly subjects. *J Appl Physiol* 2017, 123(3): 501-12.
228. Pimenta Ada S, Lambertucci RH, Gorjão R, Silveira Ldos R, Curi R. Effect of a single session of electrical stimulation on activity and expression of citrate synthase and antioxidant enzymes in rat soleus muscle. *Eur J Appl Physiol* 2007, 102: 119-26.
229. Ceci R, Duranti G, Di Filippo, ES, Bondi D, Verratti V, Doria C, Pietrangelo T. Endurance training improves plasma superoxide dismutase activity in healthy elderly. *Mech Ageing Dev* 2020, 185: 111190.
230. Aksoy Y. Antioksidan mekanizmada glutatyonun rolü. *Türkiye Klinikleri J Med. Sci* 2002, 22: 442-8.
231. Gürdöl F, Ademoğlu E. *Biyokimya*, 1. Baskı, İstanbul, 2006: 829-35.

232. Berzosa C, Cebrián I, Fuentes-Broto L, Gómez-Trullén E, Piedrafita E, Martínez-Ballarín E, López-Pingarrón L, Reiter RJ, García JJ. Acute exercise increases plasma total antioxidant status and antioxidant enzyme activities in untrained men. *J Biotechnol Biomed* 2011, 10: 1155-6.
233. Aguilo A, Tauler P, Fuentespina E, Tur JA, Córdova A, Pons A. Antioxidant response to oxidative stress induced by exhaustive exercise. *Physiol Behav* 2005, 84: 1-7.
234. Revan S, Balci SS, Pepe H, Kurtoğlu F, Erol AE, Akkuş H. Short duration exhaustive running exercise does not modify lipid hydroperoxide glutathione peroxidase and catalase. *J Sports Med Phys Fitness* 2010, 50(2): 235-40.
235. Deminice R, Sicchieri T, Payao PO, Jardim AA. Blood and salivary oxidative stress biomarkers following an acute session of resistance exercise in humans. *Int J Sports Med* 2010, 31(9): 599-603.
236. Gohil K, Viguie C, Stanley WC, Brooks GA, Packer L. Blood glutathione oxidation during human exercise. *J Appl Physiol* 1988, 64: 115-9.
237. Andersson H, Karlsen A, Blomhoff R, Raastad T, Kadi F. Plasma antioxidant responses and oxidative stress following a soccer game in elite female players. *Scand J Med Sci Sports* 2010, 20(4): 600-8.
238. Dong Y, Zhao X, XU X. Effects of the electrical stimulation on the free radicals and nrf2/are signaling pathway in c2c12 cells of skeletal muscles. *Chin J Sports Med* 2017, 6: 1066-71.
239. Zalavras A, Fatouros IG, Deli CK, Draganidis D, Theodorou AA, Soulas D, Jamurtas AZ. Age-related responses in circulating markers of redox status in healthy adolescents and adults during the course of a training macrocycle. *Oxid Med Cell Longev* 2015, Article ID 283921: 17.
240. Gravina L, Ruiz F, Lekue JA, Irazusta J, Gil SM. Metabolic Impact of a Soccer Match on Female Players. *J Sports Sci Sep* 2011, 29(12): 1345-52.
241. Ascensao A, Rebelo A, Oliveira E, Marques F, Pereira L, Magalhaes J. Biochemical Impact of a Soccer Match Analysis of Oxidative Stress and Muscle Damage Markers Throughout Recovery. *Clin Biochem* 2008, 41: 841-51.
242. Algül S, Özçelik O. Günün farklı zamanlarında yapılan futbol maçlarında oksidan-antioksidan dengeninin incelenmesi. *Genel Tıp Derg* 2017, 27(4): 129-35.

243. Demirbağ R, Yılmaz R, Güzel S, Çelik H, Koçyigit A, Ozcan E. Effects of treadmill exercise test on oxidative/antioxidative parameters and DNA damage. *Anadolu Kardiyol Derg* 2006, 6(2): 135-40.
244. Yalçınkaya B. Elit Yüzücü ve Sedanterlerde Maksimal Aerobik Yüklenmenin Total Oksidan ve Total Antioksidan Seviyelerine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 2010.
245. Wiecek M, Maciejczyk M, Szymura J, Szygula Z. Changes in oxidative stress and acidbase balance in men and women following maximal-intensity physical exercise. *Physiol Res* 2015, 64: 93-102.
246. Yamaner F. Oxidative predictors and lipoproteins in male soccer players. *Turk J Med Sci* 2010, 40 (3): 427-34.
247. Ağırbaş, Öztürk, Necip Fazıl Kishali, and Fatih Kiyici. Yoğun egzersizle oluşan oksidatif stres ve DNA hasarı üzerine askorbik asidin etkisi. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi* 2015, 13(1): 65-72.
248. Çınar Y. Akut Yorucu Egzersiz Yaptırılan Ratlarda Ginkgo Biloba'nın Bazı Kan Parametreleri ve Oksidatif Stres Üzerine Etkisi. Sağlık Bilimler Enstitüsü, Fizyoloji (Veteriner) Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi, 2021.
249. Thirumalai T, Viviyana Therasa SV, Elumalai EK, David E. Intense and exhaustive exercise induce oxidative stress in skeletal muscle. *Asian Pac J Trop Dis* 2011, 1(1): 63-6.
250. Kurkcu R, Cakmak A, Zeyrek D, Atas A, Karacabey K, Yamaner F. Evaluation Of Oxidative Status In Short-Term Exercises Of Adolescent Athletes. *Biol. Sport* 2010, 27: 177-80.
251. Mayıloğlu H. Bir Sualtı Ragbi Müsabakasının Kan Nitrik Oksit Düzeyleri Üzerine Etkisi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Sağlık Bilimleri Anabilim Dalı. Yüksek Lisans, İzmir: Ege Üniversitesi, 2014.
252. LC Ribeiro, TCN Amaral, AF Vilaça, MJC Costa, UFE Júnior, MAVC Júnior, CMM Barbosa de Castro, MA Andrade, EE Tenório de França. Acute effect of neuromuscular electrical stimulation on oxidative stress and hematological parameters in critical patients. *J Immuno Biol* 2017, 2(131): 2476-1966.

EKLER

EK-1. Özgeçmiş

EK-2. Etik Kurul Onayı

EK-3. İzin Yazısı

EK-4. Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

