



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**EGZERSİZ SONRASI VÜCUT SOĞUTMANIN
TEKRARLAYAN EGZERSİZ PERFORMANSI
VE FİZYOLOJİK TOPARLANMA ÜZERİNE
ETKİSİ: GENÇ SPORCULARDA
ÇAPRAZ-GEÇİŞ TASARIMLI BİR
ARAŞTIRMA**

Bilgehan Alp MEMİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ahmet AYAR

TRABZON-2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun olarak yapıldığını ve yazıldığını, tezin akademik ve etik kurallara bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş özgün bir bilimsel araştırma eserim olduğunu, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Tarih
Bilgehan Alp MEMİŞ

İthaf

Bu yüksek lisans tezimi, hayatım boyunca bana sınırsız sevgisi, sabrı ve özverisiyle güç kaynağı olan canım anneme; her ne kadar bu günlere tanıklık edemese de varlığını her zaman kalbimde hissettiğim, bana yol gösteren rahmetli babama; her daim yanımda olup destek ve sevgisiyle bana güç veren değerli abime ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi birikimi, değerli rehberliği, hoşgörüsü ve desteğiyle bana yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ahmet AYAR'a, yardım ve akademik desteği için Dr. Öğr. Üyesi Arif Kamil SALİHOĞLU'na, bu süreçte koşulsuz sevgisi, fedakârlığı ve desteğiyle en büyük güç kaynağım olan annem Yasemin MEMİŞ'e, daima eğitimci kişiliğini ve azmini örnek aldığım babam Ali MEMİŞ'e ve her zaman yanımda hissettiğim abim Metehan Alp MEMİŞ'e sonsuz teşekkürlerini sunarım.

Bilgehan Alp MEMİŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK SAYFASI	
ONAY	
BEYAN	
İthaf	
TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kardiyopulmoner Sistem	3
2.1.1 Kalp	3
2.1.2. Pulmoner ve Sistemik Dolaşım	3
2.1.3. Akciğer	4
2.2. Egzersiz	5
2.2.1 Egzersiz Türlerinin Sınıflandırılması	6
2.3. Genç Sporcularda Büyüme, Olgunlaşma, Gelişme ve Egzersiz	7
2.4. Egzersizin Fizyolojik Sistemler Üzerindeki Etkileri	9
2.4.1. Kardiyovasküler Sistem	9
2.4.1.1. Kardiyovasküler Sistem: Nöral Kontrol Mekanizması	10
2.4.1.2. Kardiyovasküler Sistem: Kalp Hızı ve Kalp Hızı Yedeği	14
2.4.1.3. Kardiyovasküler Sistem: Kalp Debisi	17
2.4.1.4. Kardiyovasküler Sistem: Atım Hacmi	20
2.4.1.5. Kardiyovasküler Sistem: Kan Basıncı	21
2.4.1.6. Kardiyovasküler Sistem: Kan Akımı	23
2.4.1.7. Kardiyovasküler Sistem: Sporcu Kalbi ve Fizyolojisi	24

2.4.2. Solunum Sistemi	26
2.4.2.1 Solunum Sistemi: Oksijen Borcu	28
2.4.3. Kas Sistemi	29
2.5. Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri	30
2.5.1. Hazır Enerji Sistemi: ATP-Fosfokreatin Sistemi	30
2.5.2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi	31
2.5.3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi	32
2.6. Futbol	33
2.6.1. Futbolda Fiziksel Performans	33
2.6.2. Futbolda Fizyolojik Yanıtlar	34
2.7. İnsan Vücudunda Termal Sistem	35
2.7.1. İnsan Vücudundaki Isı Dengesi	35
2.7.1.2. Isı Üretimi Mekanizmaları	36
2.7.1.3. Isı Kaybı Mekanizmaları	37
2.7.2. Termoregülasyon ve Isı Dengesi	38
2.7.3. Isı Stresi ve Egzersiz Performansı	42
2.8. Sporcularda Soğutma Stratejileri	43
2.9. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi	44
2.9.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Endikasyon ve Kontraendikasyonları	47
2.9.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Genç Sporcularda Kullanımı	48
2.10. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler	50
2.10.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Oksijen Tüketimi ($\dot{V}O_2$ - VO_{2max})	50
2.10.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Pulmoner Ventilasyon (VE)	51
2.10.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı (HR) ve Kardiyak Rezervi (HRR)	52
2.10.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Solunum Değişim Katsayısı (RER)	53
2.10.5. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı Toparlanma İndeksi (KHTİ)	53
3. GEREÇ ve YÖNTEM	55
3.1. Etik Kurul Onayı	55

3.2. Çalışmaya Katılan Sporcuların Seçimi	55
3.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu	55
3.4. Bilgilendirilmiş Onam Formu	55
3.5 Çalışma Tasarımı	56
3.6. Ölçümler	57
3.6.1. Vücut Kitle İndeksi	57
3.6.2 Spirometre Testi	57
3.6.3. Vücut Sıcaklığı Ölçümü	57
3.6.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi	58
3.6.5. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri	60
3.6.6. Soğutma Uygulaması	62
3.7. Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği	63
3.8. İstatistiksel Analiz	64
4. BULGULAR	65
4.1. Tanımlayıcı Veriler (Yaş, Boy, Kilo, Vücut Kitle İndeksi)	65
4.2. Vücut Sıcaklığı Değerleri	65
4.3. Kalp Hızı ve Kardiyak Rezerv Değerleri	66
4.4. Oksijen Tüketim Değerleri	70
4.5. Pulmoner Ventilasyon Değerleri	72
4.6. İstirahat Solunum Değişim Katsayısı ve Anaerobik Faza Geçiş Süresi Değerleri	73
4.7. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri	75
4.8. Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği Değerleri	81
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	83
6. KAYNAKLAR	97
EKLER	112
Ek 1. Etik Kurul Onayı	113
Ek 2. Egzersiz Testi Bilgi ve Onam Formu	116
Ek 3. Bilgilendirilmiş Onam Formu	118
Ek 4. Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği	120
ÖZGEÇMİŞ	121

TABLolar DİZİNİ

Tablo No		Sayfa
Tablo 1.	Sporların sınıflandırılması	6
Tablo 2.	Egzersiz öncesi, sırası ve sonrasında ventilatuvar değişiklikler	28
Tablo 3.	Kardiyopulmoner egzersiz testinin endikasyon alanları	47
Tablo 4.	Kardiyopulmoner egzersiz testinin kontrendikasyon alanları	48
Tablo 5.	Yetişkinler ve çocuklar arasındaki egzersiz fizyolojik parametrelerindeki yaygın farklılıklar	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1. Afferent (yeşil) ve efferent (kırmızı) mekanizmalar ile açıklanan egzersiz pressör refleksi.	12
Şekil 2. Egzersiz sırasında kardiyovasküler sistemin düzenlenmesinde merkezi komutun ve buna bağlı olarak barorefleksin yeniden ayarlanmasının rolü	13
Şekil 3. Dinlenme ve egzersiz döneminde kardiyak otonom denge	16
Şekil 4. Kalp debisinin egzersiz ve istirahat sırasındaki dağılımı	19
Şekil 5. Sporcu kalbinde meydana gelen morfolojik değişiklikler ve fizyolojik adaptasyonlar	26
Şekil 6. İnsan termoregülasyon sistemi fizyolojisi	40
Şekil 7. Isı değişim yolları ve termoregülasyon üzerinde etkili olan faktörler	42
Şekil 8. KPET sonrasında soğutma ve kontrol gruplarının ilk uygulama ve çapraz-geçiş sonrası testlerde başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yükteki kalp hızı değerleri	68
Şekil 9. KPET sonrasında soğutma ve kontrol gruplarının ilk uygulama ve çapraz-geçiş sonrası testlerde başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yükteki oksijen tüketim değerleri.	71
Şekil 10. Toparlanma periyodunda soğutma grubuna ait ilk uygulama birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri	75
Şekil 11. Toparlanma periyodunda kontrol grubuna ait ilk uygulama birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri	76
Şekil 12. Toparlanma periyodunda soğutma grubuna ait çapraz-geçiş tasarımı sonrası birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri	76
Şekil 13. Toparlanma periyodunda kontrol grubuna ait çapraz-geçiş tasarımı sonrası birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri	77

RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa
Resim 1.	Spirometri testi gerçekleştiren örnek sporcu	58
Resim 2.	Bisiklet ergometresi üzerinde KPET uygulanan örnek sporcu	62
Resim 3.	Soğutma yeleği ve paketlerinin görüntüsü ile kardiyopulmoner egzersiz testi sonrası sporcuda uygulanması	63
Resim 4.	Soğutma yeleği uygulamasının ardından sporcunun ikinci KPET öncesinde vücut yüzeyinde oluşan görünümü	63



KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

ADP	Adenozin difosfat
AH	Atım hacmi
ATP	Adenozin trifosfat
Dk	Dakika
EKG	Elektrokardiyogram
FIFA	Federation Internationale de Football Association
H⁺	Hidrojen
HRR	Kardiyak rezervi
K⁺	Potasyum
KB	Kan basıncı
KD	Kardiyak debi
KH	Kalp hızı
KHTİ	Kalp hızı toparlanma indeksi
KHY	Kalp hızı yedeği
KPET	Kardiyopulmoner egzersiz testi
Kg	Kilogram
L	Litre
MSS	Merkezi sinir sistemi
PCr	Fosfokreatin
RER	Solunum değişim katsayısı
RPM	Dakika devir sayısı

SA	Sinoatryial
VCO₂	Karbondioksit üretimi
VE	Dakika ventilasyonu
VKİ	Vücut kitle indeksi
VO₂	Oksijen tüketimi
VO_{2maks}	Maksimal oksijen tüketimi
VS	Vücut sıcaklığı
W	Watt
Simgeler	
%	Yüzde
°C	Derece
Formüller	
CO₂	Karbondioksit
FADH₂	Flavin adenin dinükleotit
NADH + H⁺	Nikotinamid adenin dinükleotit
O₂	Oksijen

ÖZET

Egzersiz Sonrası Vücut Soğutmanın Tekrarlayan Egzersiz Performansı ve Fizyolojik Toparlanma Üzerine Etkisi: Genç Sporcularda Çapraz-Geçiş Tasarımlı Bir Araştırma

Futbol, aerobik ve anaerobik enerji sistemlerinin eşzamanlı etkinliğini gerektiren yüksek yoğunluklu bir takım sporudur. Oyuncu performansı büyük ölçüde fizyolojik kapasiteye bağlı olup, sıcak çevre koşulları performans ve toparlanma süreçlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, genç sporcularda egzersiz sonrası uygulanan soğutma yöntemlerinin tekrarlayan egzersiz performansı ve fizyolojik toparlanma üzerine etkilerini incelemektir. Araştırmaya haftada altı gün düzenli antrenman yapan 15–17 yaş arası futbolcular katıldı. Sporcular, mevkilerine göre dengeli olacak şekilde iki gruba ayrıldı. Her grup, tükenene kadar artan şiddette KPET tabii tutuldu. İlk test sonrası soğutma grubuna 15 dakika süreyle soğutma yeleği ve su, kontrol grubuna yalnızca su verildi ve ardından ikinci KPET uygulandı. Maksimal egzersiz sonrası 5 dakikalık toparlanma döneminde KHTİ ve RER değerleri incelendi, test boyunca vücut sıcaklığı ile kardiyak ve pulmoner parametreler izlendi. Egzersiz sonrası algılanan efor Borg ölçeğiyle değerlendirildi, bir hafta sonra gruplar çaprazlanarak aynı protokol tekrarlandı.

Soğutma ve kontrol grupları arasında grup içi analizlerde her iki grupta test öncesi-sonrası vücut sıcaklığı, istirahat O_2 tüketimi, VO_{2max} , pulmoner ventilasyon, RER ve KHTİ değerlerinde anlamlı değişiklikler görüldü ($p<0.05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda, ikinci test öncesi vücut sıcaklığı, istirahat O_2 tüketimi, VO_{2max} ve istirahat ventilasyon değerleri soğutma grubunda daha düşük/avantajlı bulundu ($p<0.05-0.01$). KHTİ açısından, özellikle ikinci testte soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla birçok zaman noktasında daha yüksek toparlanma değerlerine ulaştığı belirlendi ($p<0.05-0.01$). RER sonuçlarında ise soğutma grubunda özellikle ikinci testte tüm değerler kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük bulundu ($p<0.01$), Başlangıç kalp hızı değerleri kontrol grubunda daha yüksek saptandı ($p<0.05-0.01$).

Anahtar Kelimeler: Egzersiz performansı, Egzersiz testi, Soğutma yeleği, Toparlanma

ABSTRACT

Effect of Post-Exercise Body Cooling on Repeated Exercise Performance and Physiological Recovery: A Cross-Over Design Study in Young Athletes

Football is a high-intensity team sport that requires the simultaneous efficiency of aerobic and anaerobic energy systems. Player performance largely depends on physiological capacity, and hot environmental conditions can significantly affect both performance and recovery processes. The aim of this study was to investigate the effects of post-exercise cooling methods on repeated exercise performance and physiological recovery in young athletes. The study included football players aged 15–17 who trained six days a week. The athletes were divided into two groups balanced according to their positions. Each group underwent a cardiopulmonary exercise test (CPET) on a cycle ergometer with increasing intensity until exhaustion. Following the first test, the cooling group received a cooling vest and water for 15 minutes, while the control group received only water, after which a second CPET was performed. During the 5-minute recovery period after maximal exercise, heart rate recovery index (HRRI) and respiratory exchange ratio (RER) were evaluated, while body temperature as well as cardiac and pulmonary parameters were monitored throughout the test. Perceived exertion was assessed using the Borg scale, and the protocol was repeated one week later with a crossover design.

Within-group analyses revealed significant pre- and post-test changes in body temperature, resting O_2 consumption, VO_{2max} , pulmonary ventilation, RER, and HRRI in both groups ($p < 0.05$). Between-group comparisons showed that, prior to the second test, body temperature, resting O_2 consumption, VO_{2max} , and resting ventilation values were lower/more favorable in the cooling group ($p < 0.05$ – 0.01). Regarding HRRI, the cooling group achieved higher recovery values at multiple time points during the second test compared to the control group ($p < 0.05$ – 0.01). In RER results, especially during the second test, all values were significantly lower in the cooling group compared to the control group ($p < 0.01$). Baseline heart rate values were higher in the control group ($p < 0.05$ – 0.01).

Keywords: Cooling vest, Exercise performance, Exercise test, Recovery

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Futbol, dünya genelinde birçok ülkede yaygın olarak oynanan toplamda 90 dakika süren, iki 45 dakikalık yarı ve 15 dakikalık bir aradan oluşan, yüksek yoğunluklu aralıklı egzersizlerle karakterize edilen bir spordur.

Maç sırasında bir oyuncunun fiziksel performansı genellikle oyunda kat edilen toplam mesafe, toplam sprint mesafesi ve teknik becerilerin uygulanmasıyla karakterize edilir. Ayrıca oyun yavaşlamalar, şut çekme, top sürme ve mücadele gibi diğer yoğun eylemleri de gerektirir (1). Tüm bu karmaşık yapılar futbolcular üzerinde fiziksel yükü artırır ve oynanan oyunu son derece fizyolojik açıdan zorlayıcı hale getirir.

Futbolun fiziksel gereksinimleri, futbol odaklı bu aktiviteler için aerobik ve anaerobik enerji sağlanmasını destekleyen kardiyovasküler ve kas sistemlerinin karmaşık etkileşimine bağlıdır (2).

Pek çok takım sporu, sporcuların sıcak koşullarda performans göstermesini ve egzersiz performansını sürdürmesini gerektirir. Ilıman çevre koşullarıyla karşılaştırıldığında, sıcak ortamlarda core bölgesi ve cilt sıcaklıkları artar; bu durum kardiyovasküler ve metabolik yükü artırırken, termal algı yükünü yükseltir ve egzersiz performansını düşürür (3).

Yüksek hava sıcaklığının oyuncular üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen, büyük futbol şampiyonaları ve sezon öncesi antrenmanlar genellikle yaz aylarına planlanır. Örneğin 2014 Brezilya Dünya Kupası (35 °C, %80 bağıl nem), Tokyo 2020 Olimpiyatları ve Paralimpik Oyunları (33°C, %70-80 bağıl nem), 2022 Katar Dünya Kupası (40°C %70 bağıl nem) son derece sıcak ve nemli hava koşullarında düzenlenmiştir.

Sıcak hava koşullarında futbol oynamanın, yüksek vücut sıcaklıklarına yol açtığı ve bunun performans üzerinde olumsuz etkiler yaratarak maç sırasında yorgunluğun daha hızlı gelişmesine neden olduğu gösterilmiştir (4–6) .

Kardiyopulmoner egzersiz testi (KPET), bireysel organ sistemi fonksiyonunun ölçümünü yoluyla yeterince yansıtılamayan pulmoner, hematopoetik, kardiyovasküler, iskelet ve kas sistemlerinin içeren egzersiz yanıtlarının bütünleyici bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayan fonksiyonel bir egzersiz testidir (7).

KPET esnasında egzersize cevap olarak teste katılan sistemlere stres uygulamak için, büyük kas gruplarının, özellikle alt ekstremite kaslarının aktif olduğu egzersiz protokolleri uygulanmaktadır.

Bu test için koşu bandı veya bisiklet ergometresinde; vücuda uygulanan egzersiz şiddeti/yükü kademeli (inkremental) olarak artırılarak kişinin artan bu yük ile birlikte oluşan kardiyak, solunumsal ve metabolik cevapları değerlendirilmektedir (8).

Soğutma stratejileri, özellikle sıcak hava koşullarında futbolcuların performansını optimize etmek için giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tyler ve arkadaşları, bu tür stratejilerin, sporcuların vücut sıcaklığını kontrol altında tutarak, sıcaklık kaynaklı yorgunluğu azaltabileceğini ve böylece sporcuların dayanıklılıklarını artırabileceğini belirtmiştir (9).

Bu bağlamda, Faulkner ve arkadaşları, soğutma yeleklerinin, cilt sıcaklığını düşürme ve termal algıyı iyileştirme açısından etkili olduğunu, bu durumun da egzersiz sırasında seçici egzersiz yoğunluğu azalmasını baskılayarak performansı artırdığını vurgulamaktadır (10).

Literatürde soğutma uygulamalarının etkileri geniş ölçüde incelenmiş olsa da özellikle genç sporcular üzerinde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Yetişkin sporcuların termal stres altında verdikleri fizyolojik yanıtlar iyi belgelenmiş olmasına rağmen, genç sporcuların fizyolojik gelişim evrelerinde farklı termoregülasyon yanıtları verebileceği gerçeği göz önüne alındığında, bu yaş grubunda daha spesifik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışması temelde soğutma yeleği kullanarak egzersiz sonrası soğutma gibi müdahalelerin genç futbolcuların egzersiz performansı ve toparlanması üzerindeki etkilerini değerlendirerek, bu alandaki literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçları, genç futbolcuların performans optimizasyonu, rehabilitasyon stratejileri, antrenman programları ve sıcak ortamlarda müsabaka hazırlıkları için yeni stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kardiyopulmoner Sistem

2.1.1. Kalp

Kalp, ekstrasellüler sıvı hacminin damarlar içerisinde bulunan kısmı olan kanın dolaşım sistemi içinde taşınmasını sağlayan kassal bir pompadır. Kalp temel olarak sağ ve sol kulakçık (atriyum) ile sağ ve sol karıncık (ventrikül) olmak üzere dört bölümden oluşur. Yaklaşık ağırlığı 250 ila 350 gram arasında değişir. Mediastinum içerisinde yer alır ve ikinci kosta ile beşinci interkostal boşluk arasında eğik bir şekilde uzanır (11, 12).

Kalbin atriyumları, venöz dolaşımdan gelen kanı toplarken; ventriküller bu kanı arteriyel sistemlere pompalar. Sağ atriyum ile sağ ventrikül birlikte sağ kalp pompasını, sol atriyum ile sol ventrikül ise sol kalp pompasını oluşturur. Bu iki pompa, interatriyal ve interventriküler septumlarla birbirinden ayrılır. Septumlar, normal koşullarda kalbin iki tarafındaki kanın karışmasını engelleyen yapısal bariyerlerdir.

Atriyum ve ventriküller arasında yer alan bağ dokusu içinde atrioventriküler kapaklar bulunur. Sağ atriyum ile sağ ventrikül arasındaki kapak üç yaprakçıktan oluştuğu için triküspit kapak, sol atriyum ile sol ventrikül arasındaki kapak ise iki yaprakçıktan oluştuğu için biküspit (mitral) kapak olarak adlandırılır. Bu kapaklar, atriyumlardan ventriküllere kanın geçişini mümkün kılarken, ters yönde yani atriyumlara geri akışı engeller. Açılıp kapanmaları, atriyum ve ventrikül boşlukları arasındaki basınç farklılıkları ile kontrol edilir.

Kalpten çıkan büyük damarların başlangıcında ise semilunar kapaklar yer alır. Aort kapağı, sol ventrikül ile aort arasında; pulmoner kapak ise sağ ventrikül ile pulmoner trunkus arasında bulunur. Bu kapaklar, ventrikül kasılması sırasında açılarak kanın sistemik ve pulmoner dolaşıma geçmesini sağlar. Ventriküller gevşediğinde ise basınç farkı nedeniyle kapanarak, kanın ventriküllere geri dönmesini önler.

2.1.2. Pulmoner ve Sistemik Dolaşım

Sistemik dolaşım, dokulara uygun şekilde yenilenmiş arteriyel kan sağlar ve vis a tergo etkisiyle oksijenden yoksun ve karbondioksit (CO₂) yüklü kanı kalbe ve ardından pulmoner dolaşıma geri gönderir. Pulmoner dolaşımdaki değişim kılcal damarlarında, fazla CO₂ dışarı atılır ve oksijen (O₂) içeriği yeniden sağlanır (14).

Kılcal damarlarda gerçekleşen gaz değişimi sonucunda oksijen miktarı azalmış ve karbondioksit miktarı artmış kan, vena cava inferior ve vena cava superior aracılığıyla sağ atriya ulaşır. Buradan sağ ventriküle geçen kan, pulmoner trunkus ve ardından pulmoner arterler yoluyla akciğerlere gönderilir. Akciğer kılcallarında karbondioksit alveollere geçerek solunum yoluyla atılırken, oksijen alveollerden kana difüze olur. Kalpten çıkan kanın akciğerler üzerinden tekrar kalbe dönmesiyle tamamlanan bu dolaşım, pulmoner dolaşım olarak adlandırılır.

Oksijen açısından zenginleşmiş kan, akciğerlerden sol atriya gelir ve oradan sol ventriküle geçerek aorta pompalanır. Dokularda hücre solunum nedeniyle oksijen düzeyi, kılcal damarlardaki kana kıyasla daha düşük; karbondioksit düzeyi ise daha yüksektir. Bu nedenle sistemik kılcallardan toplanan venöz kanın oksijen içeriği azalırken, karbondioksit içeriği artar. Bu kan, vücudun iki ana toplardamarı olan vena cava inferior ve superiora boşalır. Kalpten organ ve dokulara oksijenli kanın gönderilmesi ve geri dönüşünü sağlayan bu süreç ise sistemik dolaşım olarak tanımlanır.

2.1.3. Akciğer

Akciğerler, solunum sisteminin temel organlarıdır ve loblar halinde bölümlere ayrılmıştır. Sağ akciğer üç loba sol akciğer ise iki loba sahiptir. Akciğerler, mediastinum adı verilen bölge ile birbirinden ayrılmıştır. Mediastinum, kalp, trakea (nefes borusu), özofagus (yemek borusu) ve birçok lenf düğümünü içerir. Akciğerler, plevra adı verilen koruyucu bir zarla kaplıdır ve karın boşluğundan diyafram adı verilen kaslı bir yapı ile ayrılır.

Solunum sistemi ve kardiyovasküler sistem, her bir hücreye O₂ açısından zengin kan, hormonlar, besinler ve diğer büyüme faktörlerini sağlayarak hücre solunum, enerji üretimi ve hayatta kalmayı mümkün kılmak için birlikte çalışır. Hücre solunumun yan ürünleri olan CO₂ gibi maddeler, dolaşım sistemi aracılığıyla hızla hücrelerden uzaklaştırılmalı ve nihayetinde solunum sistemi sayesinde vücut dışına atılarak yaşamın ve vücut fonksiyonlarının devamı sağlanmalıdır (15).

Solunum ya da gaz değişimi, diyaframın kasılmasıyla başlayan bir süreçtir. Kasılma sırasında diyafram düzleşerek karın boşluğuna doğru hareket eder ve bu da göğüs boşluğunda negatif basınç oluşturur. Bu olay, inspirasyon (nefes alma) olarak adlandırılır ve akciğerlerin genişlemesiyle hava içeri alınır. Ekspirasyon (nefes verme) sırasında ise

diyafram gevşer, göğüs boşluğundaki basınç artar ve CO₂ ile diğer gazlar akciğerlerden dışarı atılır (16).

2.2. Egzersiz

Fiziksel aktivite ile egzersiz kavramları çoğu zaman birbirinin yerine kullanılsa da, aslında farklı anlamlara sahiptir. Fiziksel aktivite, iskelet kaslarının kasılması sonucunda ortaya çıkan ve bazal seviyenin üzerinde enerji harcaması gerektiren tüm bedensel hareketleri kapsar. Bu terim günlük yaşamda gerçekleştirilen basit hareketlerden düzenli spor faaliyetlerine kadar geniş bir yelpazeyi içine alır. Egzersiz ise planlı, bilinçli ve yapılandırılmış şekilde uygulanan, kardiyovasküler uygunluk, kas gücü ve dayanıklılığı, esneklik ya da vücut kompozisyonu gibi fiziksel uygunluk bileşenlerini geliştirmeyi hedefleyen düzenli aktiviteleri ifade eder. Başka bir deyişle egzersiz, fiziksel performansı artırma, çeviklik kazanma veya kilo kontrolünü sağlama gibi belirli sağlık ve fitness amaçlarına yönelik yapılmaktadır (17).

Kardiyovasküler sistem, gerek istirahat halinde gerekse yoğun egzersiz sırasında, dokulara oksijen, besin ve hormon taşıırken aynı zamanda metabolik süreçler sonucu oluşan karbondioksit gibi atık ürünlerin uzaklaştırılmasını sağlar. Bu süreçte sistem, egzersizin oluşturduğu akut ya da kronik streslere uyum sağlayarak performans kapasitesinin artmasına katkıda bulunur. Nitekim maksimal egzersiz koşullarında aktif dokuların oksijen gereksinimi istirahat düzeyine kıyasla yaklaşık 25 kat artmakta ve kardiyovasküler sistem bu artan ihtiyaca adaptasyon göstermektedir (18).



Tüm sağlıklı bireyler, oksidatif metabolizma tarafından desteklenen belirli bir sürekli kas aktivitesini sürdürebilir. Düzenli bir egzersiz programı, adaptif tepkileri tetikleyecek kadar yeterli olduğunda bu seviyeyi önemli ölçüde artırabilir. İskelet kas liflerinin dayanıklılık egzersizine verdiği adaptif yanıt, esas olarak ilgili motor ünitelerin oksidatif metabolik kapasitesinin artmasıyla ilgilidir. Bu talep, kardiyovasküler ve solunum sistemleri üzerinde artan bir yük oluşturur ve kalp ile solunum kaslarının kapasitesini artırır. Dayanıklılık egzersizinin sağlığa faydalarının temelinde bu etkiler yatar (19).

Genç sporcularda egzersiz, yalnızca fiziksel performansı artırmakla kalmaz, aynı zamanda motor becerilerin gelişimi, kardiyovasküler sağlığın korunması, kemik ve kas dokusunun güçlenmesi gibi fizyolojik faydalar sağlar (20).

2.2.1. Egzersiz Türlerinin Sınıflandırılması

Spor türleri, egzersizin karakterine göre dinamik (aerobik, izotonik) ve statik (anaerobik, izometrik) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Egzersizin yoğunluğu ise düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılabilir (21) (Tablo 1).

Tablo 1. Sporların sınıflandırılması (Mitchell'den, 21)

 STATİK KOMPONENTTE ARTIŞ	YÜKSEK (MİK >%50)	Kızak, Atış, Vücut Geliştirme, Boks, Kano Jimnastik,Savunma Alp Disiplini, Spor,Bisiklet, Sporları, Yelken,Su Kaykay, Dekatlon, Kürek, Kayağı,Ağırlık Snowboarding, Triatlon, Sürat Pateni Kaldırma, Rüzgar Güreş
	ORTA (MİK <=%20-50)	Okçuluk, Otomobil Amerikan Futbolu, Basketbol, Buz Hokeyi, Yarışı, Dalış, Saha Yarışı, Artistik Kayaklı Koşu, Lakros, Binicilik, Motosiklet Buz Pateni, Rodeo, Koşu (Orta Mesafe), Yarışı Ragbi, Koşu (Kısa Mesafe), Sörf, Yüzme, Hentbol Senkronize Yüzme
	DÜŞÜK (MİK <=%20)	Bilardo, Bowling, Beyzbol, Eskrim, Badminton, Kayaklı Kriket, Körling, Golf, Masa Tenisi, Koşu (Klasik Teknik), Atıcılık Voleybol Çim Hokeyi, Oryantiring, Futbol, Koşu (Uzun Mesafe), Tenis, Yürüş, Squash
		A Düşük (VO ₂ maks <% 40) B Orta (VO ₂ maks % 40-70) C Yüksek (VO ₂ maks >% 70)
	DİNAMİK KOMPONENTTE ARTIŞ 	

Dinamik egzersizler, kasların daha az kuvvet uygulayarak ritmik bir şekilde çalışmasıyla gerçekleşir. Bu tür egzersizlerde kas uzunluğu artar, eklem hareketleri değişir, ancak kas gerimi sabit kalır. Koşu, dinamik egzersizlere örnek olarak verilebilir. Dinamik egzersizler sırasında kalp debisi, atım hacmi (AH), kalp hızı, O₂ tüketimi ve sistolik kan basıncında artış gözlenirken, diyastolik kan basıncı (KB) ve sistemik vasküler dirençte azalma meydana gelir.

Statik egzersizlerde ise kas uzunluğu ve eklem hareketlerinde belirgin bir değişiklik olmaz. Bu tür egzersizler, kasın gerilmesinde değişikliğe yol açan yüksek kuvvet uygulamasıyla gerçekleşir. Ağırlık kaldırma, statik egzersizlere örnek olarak gösterilebilir. Statik egzersizlerde O₂ tüketimi, kalp debisi ve kalp hızı hafifçe artar, ancak AH değişmez. Sistolik ve diyastolik kan basıncında artış görülürken, sistemik vasküler dirençte önemli bir değişiklik gözlenmez (22).

2.3. Genç Sporcularda Büyüme, Olgunlaşma, Gelişim ve Egzersiz

Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımı dikkate alındığında 10-19 yaşlar arası adolesan dönem olarak kabul edilir. Adolesan yaş, fizyolojik olarak ergenliğe girilmesi ile başlar ve yetişkin kimliğinin kazanılması ile sona erer (23).

İnsanlar bebeklikten yetişkinliğe kadar birbirine etkileşimli üç süreç yaşar. Bunlar büyüme, olgunlaşma ve gelişmedir. Bu terimler genellikle aynı anlamda kullanılsa da, aslında çocukların ve gençlerin yaklaşık ilk yirmi yılı boyunca günlük yaşamlarında gerçekleşen üç farklı periyodu ifade ederler.

Büyüme, vücudun ve parçalarının boyutlarının ölçülebilen artışlarını ifade eder. Bu süreçte küçük çocuklar zamanla daha uzun ve daha ağır hale gelir, yağ dokuları artar, organlarının hacmi büyür ve çeşitli morfolojik değişimler meydana gelir. Vücudun farklı bölümleri, değişen hızlarda ve farklı zaman dilimlerinde büyüme gösterir. Örneğin, sağlıklı bireylerde kalp hacmi ve kütlesi, vücut ağırlığına paralel bir büyüme modeli izlerken, akciğer hacmi ve kemik kütlesi, boy uzunluğuna orantılı olarak artış gösterir. Vücudun farklı bileşenlerindeki bu büyüme paternleri, vücut oranlarında belirgin değişimlere yol açar. Örneğin, çocukluk döneminde alt ekstremite büyüme hızı, gövde büyüme hızından daha yüksektir; bu nedenle çocuklar göreceli olarak daha uzun bacaklı bir morfolojiye sahip olur

Olgunlaşma, biyolojik olarak olgun duruma ulaşma sürecini ifade eder. Bu kavram işlevseldir çünkü olgunluk durumu vücudun farklı sistemlerinde değişiklik gösterir.

Olgunlaşma, büyümeden farklıdır; çünkü biyolojik sistemler farklı hızlarda olgunlaşsa da, tüm bireyler nihai olarak aynı son noktaya ulaşarak tam olgun hale gelir. Buna karşılık, büyümenin son noktalarında geniş farklılıklar gözlenebilir; örneğin, yetişkin boyu ve fiziksel yapı bireyden bireye değişebilir.

Olgunlaşma sürecinin iki bileşeni vardır: zamanlama ve tempo (hız). Zamanlama, belirli olgunlaşma olaylarının ne zaman gerçekleştiğini ifade eder. Örneğin, menarş (ilk adet görme) yaşı, meme gelişiminin başlaması yaşı, pubik kılların ortaya çıkma yaşı veya ergenlik büyüme atağının en yüksek olduğu yaş gibi. Tempo ise olgunlaşmanın ilerleme hızını ifade eder; yani, bir bireyin cinsel olgunluğun ilk aşamalarından tam olgunluğa ne kadar hızlı veya yavaş geçtiğini gösterir.

Gelişim, bireyin toplumsal normlara ve beklentilere uygun davranışları öğrenme sürecini ifade eder ve kültüre özgüdür. Çocuklar, aile içinde, okulda, sporda, sosyal etkinliklerde ve diğer toplumsal alanlarda edindikleri deneyimler doğrultusunda bilişsel, sosyal, duygusal ve ahlaki açıdan gelişim gösterirler. Bu süreçte, çocuklar ve ergenler içinde buldukları kültüre uygun değerleri, tutumları ve davranışları öğrenerek toplumsal uyumlarını geliştirirler (24).

Günümüzde genç sporcularda egzersiz ve sporun önemi giderek artmaktadır. Özellikle genç sporcular için düzenli egzersiz yapmanın, sadece fiziksel sağlık açısından değil, aynı zamanda zihinsel ve sosyal gelişim açısından da birçok faydası bulunmaktadır.

Düzenli fiziksel aktivite, genç sporcularda kas kütlelerinin artmasına ve kemik yoğunluğunun güçlenmesine yardımcı olur. Bu durum, özellikle büyüme çağındaki genç sporcular için sahada veya antrenmanda yaralanmaların önlenmesi için kritik öneme sahiptir (25). Enerji dengesini sağlayarak obezite riskini azaltır. Özellikle gençlerde hareketsiz yaşam tarzı, obeziteye neden olabilirken, egzersiz bu riski önemli ölçüde düşürür (26). Kalp ve damar sağlığını koruyarak genç sporcuların ilerleyen yaşlarda kalp hastalıklarına yakalanma riskini azaltır (27). Endorfin salgılanmasını artırarak stres ve kaygı düzeylerini azaltır. Genç sporcular, düzenli egzersiz sayesinde daha mutlu ve huzurlu bir ruh haline sahip olurlar (28).

Egzersiz, gençlerin özgüvenlerini artırarak kendilerine olan inançlarını güçlendirir. Başarı hissi ve takım çalışması, genç sporcuların sosyal becerilerini de geliştirir (29). Beyin

fonksiyonlarını geliştirerek konsantrasyon ve hafıza üzerinde olumlu etkiler yaratır. Bu durum, genç sporcuların akademik performanslarını artırmalarına yardımcı olur (30).

2.4. Egzersizin Fizyolojik Sistemler Üzerindeki Etkileri

Egzersiz, başta kardiyovasküler sistem olmak üzere, solunum sistemi, kas sistemi ve sinir sisteminde belirgin fizyolojik etkiler meydana gelmektedir. Egzersizin organizma üzerindeki etkileri, akut ve kronik olarak iki şekilde ortaya çıkar. Akut etki, tek seferlik egzersiz sonucunda gözlemlenen geçici değişiklikleri ifade ederken; kronik etkiler, düzenli ve tekrarlayan egzersiz seansları sonucunda organizmada oluşan uzun vadeli adaptasyonları kapsamaktadır. Egzersize sistemlerin verdiği fizyolojik yanıtlar, egzersizin yoğunluğu, süresi ve sıklığının yanı sıra çevresel koşullara da bağlıdır (31). Bu fizyolojik sistemlerde oluşan akut ve kronik etkiler aşağıda ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

2.4.1. Kardiyovasküler Sistem

Egzersiz sırasında, vücudun istirahate kıyasla artan ihtiyaçlarını karşılamak ve homeostazisi sağlamak amacıyla kardiyovasküler sistemin fonksiyonu kritik bir rol oynar. Bu süreç, dokuların artan metabolik taleplerini karşılamayı ve egzersizle oluşan yan ürünleri uzaklaştırarak kararlı bir iç dengeyi korumayı hedefler.

Egzersiz, fiziksel formu geliştirmek amacıyla metabolik hızın artırılması eylemidir ve vücudun gerçekleştirdiği en stresli fizyolojik tepkilerden biridir. Egzersiz sırasında metabolik hız, kalp atış hızı, kan akışı (hiperemi), solunum ve ısı üretimi artar. Egzersiz sırasındaki artan metabolik gereksinim, egzersiz yapan dokuya sağlanan kan akışının (fonksiyonel hiperemi) ve O₂ tedarikinin artmasıyla karşılanır. Bu süreç, birden fazla yerel ve sistemik mekanizma tarafından düzenlenir. Yerel mekanizmalar (faktörler), kas homeostazını ve vasküler iletkenliği düzenleyerek artan metabolik gereksinimi karşılamaktan sorumluyken, sistemik mekanizmalar ise esas olarak sempatik sinir sistemi aktivasyonu tarafından kardiyak debinin artması ve yeniden dağıtılması dahil olmak üzere, kan basıncının korunması ve genel kardiyovasküler homeostazdan sorumludur (32).

Kardiyovasküler sistemdeki akut ve kronik değişiklikleri anlamak için egzersize verilen kardiyovasküler ve sempatik yanıtları düzenleyen mekanizmaları kavramak büyük önem taşımaktadır.

Kardiyovasküler sistemin temel işlevi, dokuların başta O₂ olmak üzere ihtiyaç duyduğu maddeleri taşımak ve metabolik süreçler sonucunda oluşan CO₂ gibi atık ürünleri uzaklaştırmaktır. Egzersiz, kas aktivitesinin önemli ölçüde artmasıyla karakterize edilen bir süreçtir. Bu nedenle, egzersiz sırasında kardiyovasküler sistemin en önemli görevi, çizgili kas dokusunun artan O₂ ihtiyacını karşılamak amacıyla kan akışını artıracak düzenlemeleri sağlamaktır (33).

2.4.1.1. Kardiyovasküler Sistem: Nöral Kontrol Mekanizması

Statik veya dinamik egzersizin başlangıcında, kalp fonksiyonu ve arteriyel kan basıncı, sempatik sinir aktivasyonu ve parasempatik sinir aktivitesinin azalması yoluyla hızla artar. Yoğun dinamik egzersiz, kardiyovasküler kontrol açısından en büyük zorluklardan birini ortaya koyar. Artan iş yükü ve O₂ tüketimine (örneğin, koşu bandı koşusu, bisiklet sürme) yanıt olarak, kalp atım hızı kademeli olarak maksimum değerlere doğru yükselir. Kalp atımındaki bu yükselme, sürekli veya hafifçe artmış atım volümü yani kalbin her atımda pompaladığı kan miktarı ile birleştiğinde, sistemik dolaşıma olan kan akışında büyük artışlara neden olur. Bu durum kalp debisi olarak adlandırılır. Aktif iskelet kaslarında belirgin bir vazodilatasyon meydana gelir, öyle ki bu kalp debisinin neredeyse tamamı aktif kaslara yönlendirilir. Hareketsiz bölgelere (örneğin, splanknik, renal dolaşım) olan kan akışı, sempatik sinir sisteminin önemli ölçüde aktivasyonu sonucu azalır ve bu akış da aktif iskelet kaslarına yönlendirilir.

Otonom sinir sistemi aktivitesindeki belirgin değişiklikler, kalp debisindeki artışlar ve hareketsiz damar yataklarındaki vazokonstriksiyon ile birlikte arteriyel KB yükselir. Egzersiz sırasında sempatik aktivitenin hızlı artışı, en az üç farklı sinirsel kontrol mekanizmasının eylemi ve etkileşimi ile ilişkilendirilmiştir. Bu sistemler merkezi komut, arteriyel baroreseptör refleksi ve aktif iskelet kası içindeki hem mekanik hem de kimyasal olarak hassas reseptörlerin afferentlerinin aktivasyonudur. Egzersiz sırasında artan sempatik aktiviteden sorumlu olabilecek diğer olası mekanizmalar arasında otolit organların ve vestibüler sistemin aktivasyonu ile ısı üretimi öne sürülmüştür (34, 35).

Egzersize yönelik kardiyovasküler ve hemodinamik düzenlemeler, öncelikle parasempatik ve sempatik sinirsel aktivitedeki değişikliklerle sağlanır. Egzersiz yapan kasın metabolik ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanan bu egzersiz kaynaklı otonomik sinirsel

çıkış değişiklikleri, birlikte çalışan birden fazla sinirsel mekanizma aracılığıyla gerçekteşir (36).

Egzersiz sırasında dolaşımın sinirsel mekanizmalar tarafından kontrolü, sakral omurilik bölümlerinden serebral korteksin üst bölgelerine kadar merkezi sinir sistemi içindeki birçok bölgeyi içeren karmaşık bir olgudur. Egzersiz sırasında kardiyovasküler yanıtları etkileyebilen üst beyin merkezlerinden gelen ve inen sinyaller kavramı, başlangıçta "kortikal ışınım" olarak adlandırılmış ve daha sonra "merkezi komut" olarak tanımlanmıştır (37, 38).

Merkezi komut, posterior hipotalamusta yer alır. Motor korteks veya subkortikal sinyaller, motor birimleri harekete geçirerek, kardiyovasküler yanıtı kontrol eden beyin sapındaki bölgeyi hızla aktive eder. Kas aktivasyonundaki yoğunluk, sempatik aktivitede artışa ve parasempatik aktivitede azalmaya yol açar. Geri bildirim mekanizması olan baroreseptör refleksinin aksine, merkezi komut, egzersizin başlangıcından itibaren kan basıncını ve atım hacmini düzenleyen pozitif bir ileri besleme refleksidir. Merkezi komut, egzersiz yapan kaslardan gelen sinirsel sinyallerle eş zamanlıdır ancak bu sinyallere bağımlı değildir.

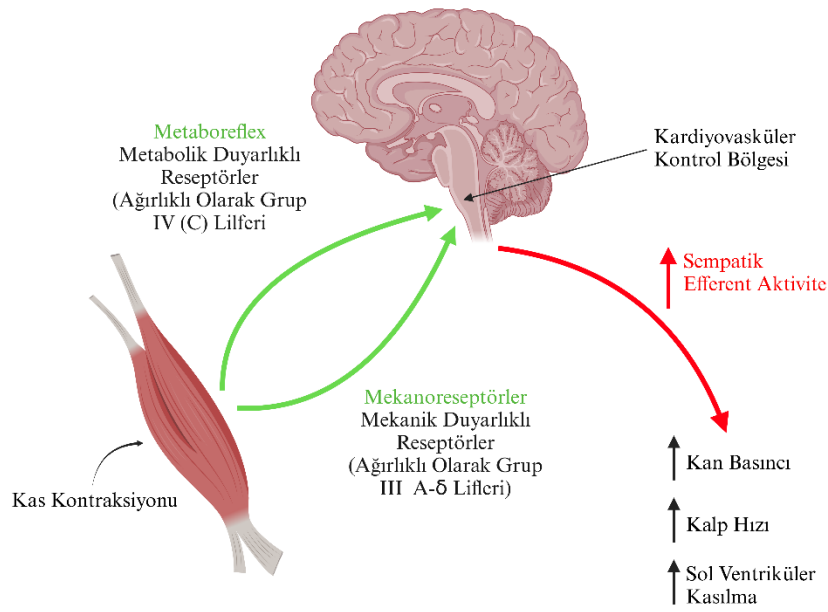
Merkezi komut, artmış HR ve vazokonstriksiyon gibi egzersize otonom uyumları doğrudan başlatmanın yanı sıra, egzersiz sırasında arteriyel baroreseptör refleksinin yeniden ayarlanmasında da kilit bir rol oynar. Merkezi komut girdisi, temel kan basıncı set noktasını ayarlayarak baroreseptör refleksinin egzersiz sırasında kan basıncındaki artışa uyum sağlmasına izin verir. Egzersiz sırasında bu operasyon noktasının ayarlanması, aşırı KB artışlarını en aza indirmek açısından önemlidir, çünkü baroreseptör refleksini hipertansif uyaranlara karşı daha optimal bir konuma yerleştirir (32).

Egzersiz presör refleksi, kalbe ve iskelet kaslarına olan sempatik aktiviteyi refleks olarak artırarak ve kalbe olan parasempatik aktiviteyi azaltarak dolaşımı uygun şekilde düzenler. Bu durum, sistemik damarların vazokonstriksiyonu yoluyla kan basıncını, kalp atış hızını ve toplam periferik direnci artırır. Tek taraflı sirengomyeli veya tetraplejisi olan hastaların elektriksel olarak uyarılan egzersize yanıt olarak yeterli kardiyovasküler düzenlemeler yapamaması, bu refleks mekanizmasının önemini desteklemektedir (39).

Egzersiz presör refleks yanıtları, grup III ve grup IV afferent nöronların aktivasyonu ile tetiklenir ve bu da sempatik sinir aktivitesinin artması ve parasempatik sinir

aktivitesinin azalması yoluyla kan basıncı ve kalp atış hızının artmasına neden olur. Özellikle, grup III lifler esas olarak kas kasılmasının mekanik etkileriyle uyarılırken, grup IV liflerin çoğu kas kasılması sırasındaki metabolik ürünler tarafından aktive edilir. Egzersize yanıt olarak iskelet kası metabolizmasının yan ürünlerindeki artış (K⁺, H⁺, laktik asit, araşidonik asit, bradikinin, adenozin ve ATP analogları gibi), esas olarak kas ve kan damarlarındaki grup IV afferent nöronları aktive eder (40).

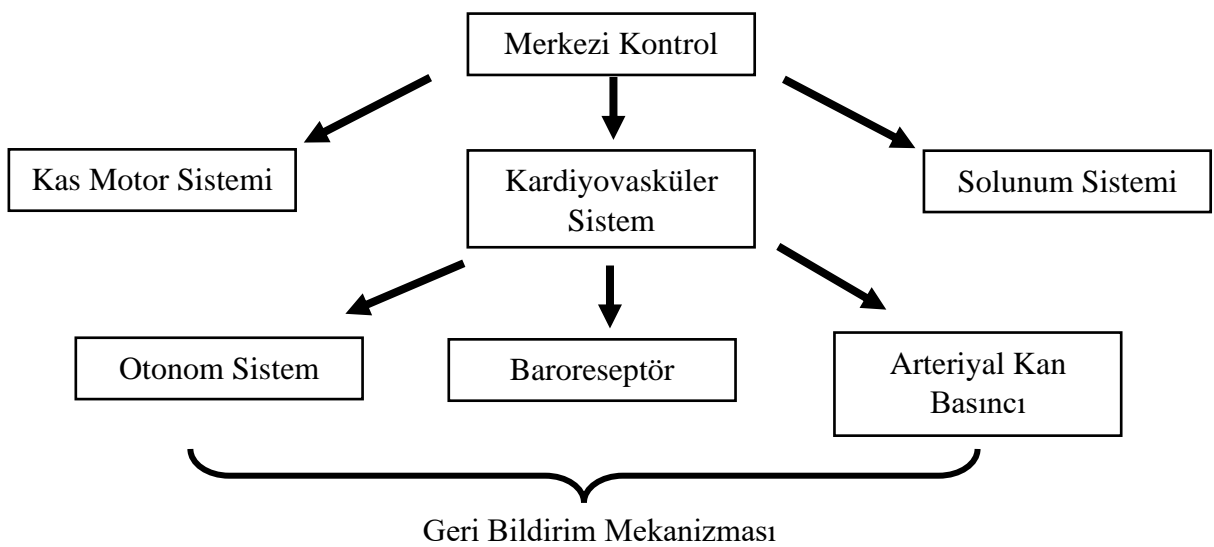
Dinamik egzersiz, hem grup III hem de grup IV kas afferentlerini hızla uyarabilir. Egzersiz başladığında, statik kasılma ve tendon gerilmesi, grup III liflerin ve mekanoreseptör refleksin (kas kasılmasının mekanik etkileriyle uyarılan) aktivasyonu yoluyla sempatik sinir aktivitesini hızla artırır. Bununla birlikte, grup III liflerin ateşleme hızı, statik kasılma devam ettikçe azalır. Grup IV lifler, kasılmanın başlamasından 10 saniye sonra ateşlemeye başlar ve kasılma süresi boyunca kademeli olarak ateşleme hızını artırır. Bu sonuçlar, mekanoreseptör refleksin egzersizin başlangıcında önemli olduğunu, buna karşın metaboreseptör refleksin (kas kasılması sırasındaki metabolitlerle uyarılan) egzersizin kararlı durumunda daha önemli olduğunu düşündürmektedir (41).



Şekil 1. Afferent (yeşil) ve efferent (kırmızı) mekanizmalar ile açıklanan egzersiz presör refleksi

Baroreseptör refleksi, belirli büyük damarların duvarlarında bulunan ve en hassas baroreseptörlerin karotid sinüsler ve aort kavisinde yer aldığı gerilme reseptörleri olan baroreseptörler tarafından başlatılır. KB yükseldiğinde, karotid ve aort sinüsleri genişler. Baroreseptörler, gerilme ile aktive olarak aksiyon potansiyelleri başlatır. Bu potansiyeller, karotid sinüsten glosofaringeal sinir ve aort kavisinden vagus siniri yoluyla beyin sapındaki nucleus tractus solitarius'a iletilir. Bu süreç, sempatik inhibisyon ve parasempatik aktivasyonu birleştirerek kan basıncını korur. Baroreseptör ateşlemesi, sempatik çıkış üzerinde inhibe edici bir etkiye sahiptir ve bu da kan basıncının düşmesine neden olur. Baroreseptörler, 0 ile 60 mm Hg arasındaki basınçlarda hiç uyarılmaz. Ancak 60 mm Hg'nin üzerinde daha hızlı yanıt verirler ve yaklaşık 180 mm Hg'de maksimum yanıt ulaşırlar (32).

Egzersiz sırasında, arteriyel baroreseptör refleksi, yoğunluğa bağlı bir şekilde yeniden ayarlanır ve kardiyak debide bir artışı kolaylaştırmak için arteriyel kan basıncındaki ve kalp atış hızında paralel artışlara olanak tanır. Egzersiz sırasında arteriyel baroreseptör refleksinin bu yeniden ayarlanması, hem merkezi komutun ileri besleme mekanizması hem de iskelet kası afferentlerinin geri besleme mekanizması yani egzersiz presör refleksi tarafından aracılık eder. Bu iki mekanizma birlikte, arteriyel kan basıncı ve kalp atış hızını artıran sempatik çıkıştaki artışı yönlendirir. Böylece egzersiz sırasında hemodinamik mekanizmaları düzenler (42).



Şekil 2. Egzersiz sırasında kardiyovasküler sistemin düzenlenmesinde merkezi komutun ve buna bağlı olarak barorefleksin yeniden ayarlanmasının rolü (Xiang'tan, 32)

2.4.1.2. Kardiyovasküler Sistem: Kalp Hızı ve Kalp Hızı Yedeği

Kalp hızı (KH) kalbin bir dakikada gerçekleştirdiği atım sayısı olarak kabul edilir ve bireyin kardiyovasküler kapasitesinin ölçülmesi, antrenman programlarının oluşturulması ve kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesi açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Egzersiz sırasında KH, vücudun artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kardiyovasküler sistemin verdiği temel fizyolojik tepkilerden biridir.

KH normalde, sağ atriyumun arka duvarında bulunan ve hem sempatik hem de parasempatik sinir lifleri tarafından innerve edilen sinoatriyal düğümün aktivitesi tarafından belirlenir. SA düğümünden gelen aksiyon potansiyeli, atriyal depolarizasyon ve kasılmaya yol açar. Ardından gelen bu aksiyon potansiyelini atriyoventriküler düğüm aracılığıyla ventriküle iletilir. Ventrikülde bulunan özelleşmiş iletim yolları olan dal demetleri ve Purkinje lifleri, depolarizasyon dalgasını hızla ileterek ventriküler kasılmayı tetikler.

Vagal etki, dinlenme halinde SA düğümü aracılığıyla kalp hızını aktif olarak düzenler. Atropin, muskarinik reseptör antagonisti olarak uygulandığında, başlangıçtaki vagal ton seviyesine bağlı olarak kalp hızını dakikada 20-40 atım artırır. Egzersiz sırasında vagal tonun azalması ve sempatik sinir liflerinden norepinefrin salınımının artması, SA düğümünün pacemaker potansiyelini artırarak pozitif kronotropi oluşturur. Egzersiz sırasında herhangi bir KB seviyesinde KH her zaman dinlenme haline göre daha yüksektir. Ancak, kan basıncındaki değişikliklere bağlı olarak kalp hızında meydana gelen değişikliklerin büyüklüğü, hem dinlenme hem de egzersiz sırasında benzerdir. Bu durum, egzersiz sırasında kalp hızının düzenlenmesine katkıda bulunan barorefleksin yeniden ayarlandığını destekler (32).

KH, nöral ve hormonal etkilerin bir sonucu olarak artar veya azalır. Egzersiz sırasında kalp hızındaki artış, azalmış parasempatik aktivite ile artmış sempatik aktivitenin bir kombinasyonundan kaynaklanır. Egzersiz başlatıldığında, motor korteks ile medullanın kardiyovasküler kontrol merkezleri paralel olarak aktive olur. Böylece, kaslar kasılmaya teşvik edilirken, medullada koordineli bir otonom yanıt başlatılır. Otonom yanıt, kalbe olan parasempatik çıkışın aniden geri çekilmesi ve ardından kalp ve kan damarlarına olan sempatik aktivitenin artmasından oluşur. Sonuç olarak kalp hızı ani bir şekilde yükselir ve bu yükseliş kalp debisindeki artışa katkıda bulunur (43).

Kas kasılmasıyla uyarılan mekanoreseptörler ve kemoreseptörler, kalp hızındaki devam eden artışa katkıda bulunur. Kas kasılması başladığında, kas içinde bulunan mekanoreseptörler kas uzunluğu ve gerilimindeki değişiklikleri algılar ve bu bilgiyi kardiyovasküler kontrol merkezlerine iletir, bu da sempatik çıkışta daha fazla artışa neden olur. Kemoreseptörler de benzer şekilde egzersiz ilerledikçe metabolik yan ürünlerin birikmesi sonucuyla kasın kimyasal ortamındaki değişiklikleri algılar ve bu bilgiyi kardiyovasküler kontrol merkezlerine iletir (44).

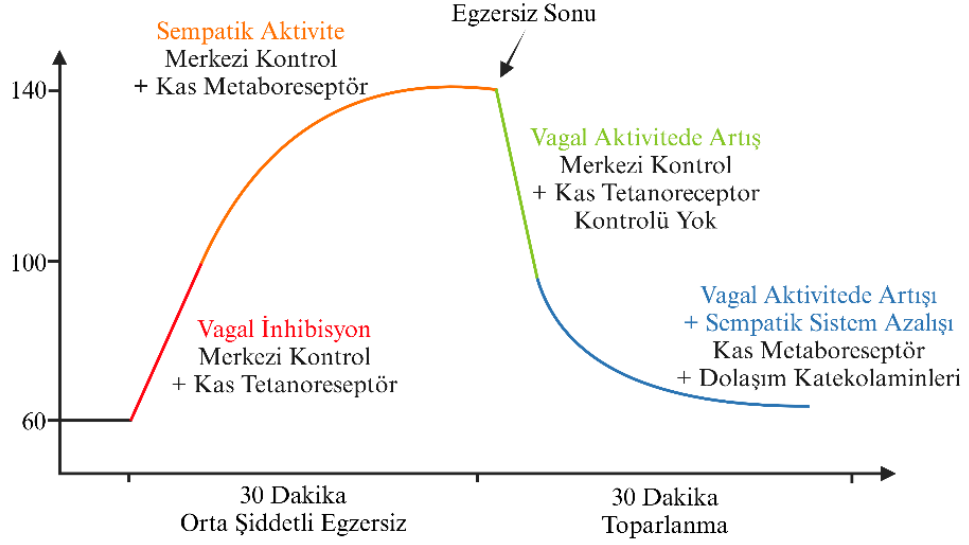
Sempatik sinirlerin kalp hızı üzerindeki doğrudan etkisini güçlendiren bir diğer olay adrenal medulladan salınan katekolaminlerin dolaylı etkisidir. Orta ile yüksek şiddetli egzersiz sırasında epinefrin ve norepinefrin gibi katekolaminlerin salınımı artar. Bu katekolaminler, kalp hızını artırıcı bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, egzersizle ilişkili kalp hızı artışı, entegre bir nörohormonal yanıtın sonucudur (45).

Egzersiz başlangıcında ve sırasında sempatik ve parasempatik aktivite arasındaki kardiyak otonomik denge şu şekilde düzenlenir;

Egzersiz başlangıcında, kalp hızındaki başlangıç artışına tamamen katkıda bulunan vagal ton aniden azalır. Egzersiz devam ettikçe parasempatik ton sürekli olarak azalır ve yaklaşık 200 atım/dakika kalp hızına ulaşıldığında neredeyse tamamen kaybolur. Kalp hızı yaklaşık 100 atım/dakikaya ulaştığında, sempatik aktivasyon baskın hale gelir (46).

Egzersiz sırasında sempatik ve parasempatik aktivite arasındaki kardiyak otonom denge, merkezi komut ve egzersiz presör refleksi tarafından düzenlenir. Ayrıca, baroreseptör refleksi daha yüksek bir çalışma noktasına ayarlanarak egzersiz sırasında kalp hızını düzenler. Egzersiz sona erdiğinde, merkezi komuttan ve egzersiz presör refleksinden gelen sinyaller kesilir ve artan vagal ton ile azalan sempatik aktivite arasındaki denge yeniden sağlanır. Kardiyak otonom dengenin hem dinlenme halinde hem de egzersiz sırasında sempatik olarak gösterimi Şekil 4'te gösterilmiştir (47).

Sağlıklı bireylerde dinlenme sırasında kalp atım hızı genellikle dakikada 60-80 atım aralığında değişir. Bununla birlikte, yüksek fiziksel kondisyona sahip ve iyi antrene olmuş sporcularda dinlenme kalp atım hızı dakikada 28-40 atım gibi daha düşük değerlerde ölçülmüştür. İstirahat kalp hızının düşük seviyelerde olması özellikle genç sporcuların iyi bir kardiyovasküler ve fiziksel uygunluğa sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Dinlenme ve egzersiz döneminde kardiyak otonom denge (Coote'dan, 47)

Yoğun sempatik aktivasyon, genç yetişkin bireylerde normalde dakikada yaklaşık 70 atım olan kalp hızını 180-200 hatta 250 atıma kadar yükseltebilir. Öte yandan, güçlü vagal uyarılar, kalp atımlarını birkaç saniye boyunca durdurabilir ve ayrıca kalbin kasılma gücünü %20-30 oranında azaltabilir (48).

Dinamik egzersiz, kalp hızını izometrik veya direnç egzersizlerinden daha fazla artırır. Egzersiz sırasında kalp hızındaki normal artış, yaklaşık olarak metabolik eşdeğer başına 10 bpm'dir. Egzersizde kalp atım hızı maksimal iş yükü dengesine ulaşınca kadar egzersiz yoğunluğundaki artış ile doğru orantılı olarak artmaya devam eder (49).

Egzersiz yoğunluğu maksimal seviyeye yaklaştıkça, iş yükü artmaya devam etse dahi kalp atım hızı maksimal noktaya ulaşma eğilimi gösterir. Bu durum, kalp atım hızının maksimum değerine yaklaştığının bir göstergesidir. Maksimum kalp atım hızı, gönüllü yorgunluk sınırına kadar yapılan tüm eforlar sonucunda ulaşılan en yüksek kalp hızı değerini ifade eder. Bu değer, matematiksel olarak basit bir formülle 220- yaş (yıl) formülü ile hesaplanır (50).

Bununla birlikte, kademeli bir egzersiz testi sırasında beklenenden daha düşük bir kalp hızı artışı, üst düzey fiziksel uygunluk ve sol ventrikül fonksiyonu ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, egzersize yetersiz kalp hızı yanıtı yalnızca sinüs düğümü disfonksiyonunun değil, aynı zamanda prognostik açıdan önemli kalp hastalığının da bir göstergesi olabilir ve bu durum kronotropik yetersizlik olarak tanımlanmıştır (49).

Kalp hızı yedeği (KHY); kişinin maksimum kalp atış hızı ile istirahat kalp atış hızı arasındaki farktır. KHY'nin bilinmesi özellikle sporcuların egzersiz programlarını düzenlerken önemlidir. Sporcuların KHY değerlerinin önceden bilinmesi ve düzenli olarak kayıt altına alınması özellikle yaralanma sonrası saha ve koşu rehabilitasyonu düzenlerken önceki seviyelerin göz önüne alınıp planlanması ve sahaya dönüşte karar vermek için önemlidir. Egzersiz reçetelendirme kılavuzlarına bakıldığında, kardiyorespiratuvar kapasitenin geliştirilmesi için kalp hızı yedeğinin belirli bir yoğunluk eşiğine sahip olduğu belirtilmiştir (51).

Egzersiz reçetelendirmesinde en kritik bileşen, egzersiz yoğunluğudur. Amerikan Spor Hekimliği Koleji (ACSM), güncel olarak haftada 3-5 gün, 20-60 dakika süreyle, maksimum kalp atış hızının %64/70-94'ü veya kalp hızı yedeğinin ya da %40/50-85'i arasında bir yoğunlukta aerobik egzersiz yapılmasını önermektedir. Minimum eşik değerlerini karşılamayan egzersiz programları, yeterli antrenman etkisi sağlamayabilirken, aşırı yüksek yoğunluk ise aşırı antrenmana yol açarak egzersiz programına devamlılığı olumsuz etkileyebilir ve sporcularda yaralanmalara yol açabilmektedir (52).

2.4.1.3. Kardiyovasküler Sistem: Kalp Debisi

Kalp debisi; kalbin ventrikülleri tarafından dakikada tüm periferik dokulara pompaladığı toplam kan hacmi olup organizmanın hemodinamik ihtiyaçlarını ve kardiyovasküler sistemin etkinliğini değerlendirmemiz açısından önemli fizyolojik parametrelerden biridir. Kalp debisini denklemsel bir eşitlik ile ifade etmek gerekirse kalp atım hızı (KH) ile atım hacminin (AH) çarpılması ile bulunur.

$$KD = KH \times AH \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Kardiyak debi (KD) yaş, cinsiyet ve uygulanan iş yükünün yoğunluğuna göre değişkenlik göstermektedir. Sırt üstü istirahat halindeki bir erkekte kalp debisi yaklaşık 5 L/dk'dır. Karaciğer, istirahat sırasında toplam kalp debisinin %27'sini alarak yaklaşık 1350 mL/dk kan akışı sağlar. Böbrekler, toplam kalp debisinin %22'sini alarak 1100 mL/dk kan

akışına sahipken, beyin %14'ünü alarak 700 mL/dk kan akışına sahiptir. Ayrıca, aktif olmayan kaslara toplam kalp debisinin %15'i, yani 750 ml/dk kan akışı sağlanırken, kalp toplam debinin %4'ünü, yani 200 mL/dk kan akımına sahiptir (53).

Egzersiz yoğunluğu arttıkça, maksimum oksijen tüketimine ulaşılan kadar oksijen tüketiminde doğrusal artışlar görülür. Egzersiz sırasında oksijen tüketiminde önemli bir artış sağlamak için, egzersiz yapan dokulara yeterli oksijen ve besin taşımak amacıyla kalp debisinde yeterli artış olması gerekir. Kalp debisi hesaplama eşitliğine göre AH veya KH'yi etkileyen herhangi bir faktör KD'yi etkileyebilir. Bu nedenle, egzersiz sırasında kalp debisindeki artış, sempatik uyarıyla HR'nin yaklaşık 180 atım/dakikaya kadar artması ve kalbin kasılma gücünün artmasıyla birlikte gerçekleşir. Ayrıca, kalp debisi koroner damarlardaki akış ve intrinsik miyokardiyal kasılma yeteneği tarafından da etkilenebilir. Submaksimal egzersiz sırasında, azalan HR ile birlikte kalp debisindeki düşüş, artmış arteriyel-venöz oksijen farkıyla telafi edilebilir. Bu şekilde metabolik gereksinimler ile oksijen ihtiyacı arasındaki denge korunur.

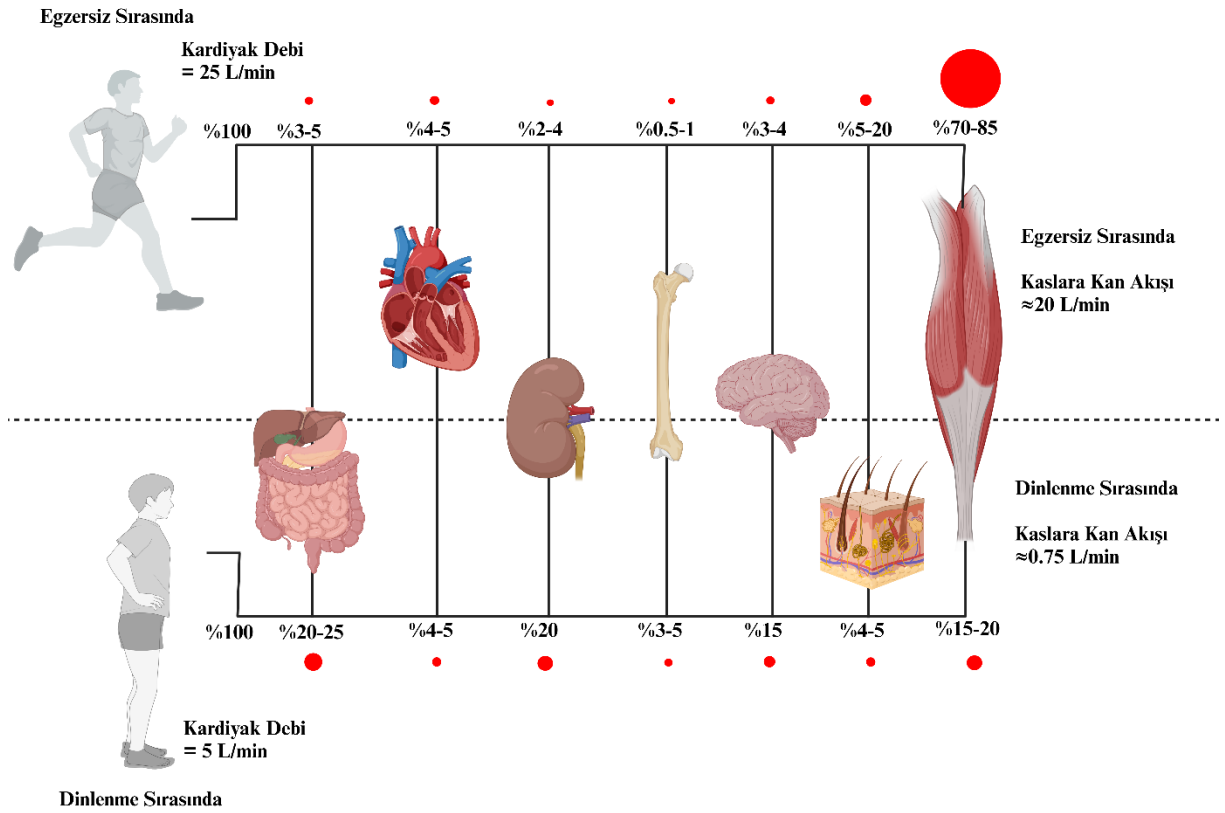
İskelet kası, toplam vücut ağırlığının yaklaşık %40'ını oluşturur, bu da yoğun egzersizin normal dolaşım sistemi için en stresli koşullardan biri olduğu anlamına gelir. Dinlenme durumunda, iskelet kası insanlarda yaklaşık %20 kalp debisini alır. Egzersiz sırasında, kalp debisi genellikle antrenmansız bireylerde dört ila beş kat veya daha fazla artar ve elit dayanıklılık sporcularında 35 L/dakikayı aşar. Egzersiz sırasında, kalp ve iskelet kasına giden kan akışı egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak artar ve kalp debisinin büyük bir kısmı iskelet kasını beslerken, egzersiz yapmayan dokulara giden kalp debisi azalır.

Ağırlık kaldırma gibi statik egzersizlerde, arteriyel kan basıncındaki nispeten büyük artış esas olarak sempatik vazokonstriksiyondan kaynaklanır ve kalp debisindeki küçük artışlar HR'deki artışlardan kaynaklanır. Koşu gibi dinamik egzersizlerde ise, sempatik vazokonstriksiyon ve HR artışı nedeniyle arteriyel kan basıncında nispeten küçük bir artış olur, ancak bu durum metabolik vazodilatasyonla dengelenir. Kalp debisi iş yüküyle doğrudan ilişkili olsa da, VO_2max 'ın ötesindeki egzersiz yoğunluklarında kalp debisi daha fazla artmaz çünkü kalbin fizyolojik sınırlarına ulaşılmıştır. Bu nedenle, VO_2max 'ın ötesindeki egzersiz yoğunluklarında, daha fazla artmayan kalp debisi birlikte metabolik vazodilatasyon, kan basıncında bir düşüşe neden olabilir (32).

Kalp debisi tarafından periferdeki dokulara sağlanan akış, besinleri, oksijeni, glikozu, yağları, proteinleri ve hormonları vücudun tüm bölgelerine iletir ve atık ürünleri akciğerler ve böbreklere taşıyarak vücuttan uzaklaştırır. Periferik dokular tarafından bir maddenin toplam alımı, periferik dokulara giden kan akışı ile maddenin arteriyel-venöz konsantrasyon farkı çarpımına eşittir. Bu nedenle, Fick prensibi, O₂ tüketimi ve arteriyel-venöz oksijen içeriği farkına dayanarak kalp debisini tek bir zaman noktasında ölçmek için geliştirilmiştir. Fick prensibine göre KD'yi denklemsel bir eşitlik ile ifade etmek gerekirse akciğerler tarafından emilen oksijenin arteriyovenöz oksijen farkına bölünmesi ile bulunur (54).

Fick Prensibine Göre Kalp Debisi = $\frac{\text{Akciğerler tarafından emilen O}_2 \text{ (ml/dk)}}{\text{Arteriyovenöz O}_2 \text{ farkı (ml/L kan) (Eşitlik 2)}}$

Kardiyopulmoner egzersiz sırasında, egzersiz şiddetinin artmasıyla birlikte atım volümü ve kalp hızı yükselir. Buna bağlı olarak, kalp debisi de doğru orantılı bir şekilde artış gösterir (55).



Şekil 4. Kalp debisinin egzersiz ve istirahat sırasındaki dağılımı (Åstrand'dan, 56)

2.4.1.4. Kardiyovasküler Sistem: Atım Hacmi

Atım volümü, kalbin her ventrikülünün tek bir vuruşta vücuda pompaladığı kan miktarını ifade eder. Bu değer, sol ventrikülün diyastol ve sistol evrelerindeki hacim farkı alınarak hesaplanır. Egzersiz sırasında atım volümü, maksimum kapasitenin %60'ına kadar yükselebilir. Bu artış dört temel mekanizmayla gerçekleşir.

1. Ön yük artması
2. Art yük azalması
3. Kasılabilirlik (kontraktibilite) artması
4. Ventrikül gerilebilirliğinin artması

Ön yükteki artışın temel nedeni, artmış kas aktivitesi ve sempatik sistem aktivasyonuna bağlı venokonstriksiyon sonucu venöz dönüşün artmasıdır. Artan venöz dönüş, her iki ventrikülde de diyastol sonu volümünün yükselmesine yol açar. Bunun yanı sıra, artmış kontraktilite ve azalmış art yük sol ventrikül sistol sonu volümünde düşüşe neden olur. Diyastol sonu volümdeki artış ile sistol sonu volümdeki azalmanın birleşik etkisi, bu iki değer arasındaki fark olan atım volümünde artışla sonuçlanır. Egzersizin başlangıç evresinde, atım volümündeki artışa diyastol sonu volüm artışının katkısı, sistol sonu volüm azalmasına göre daha belirgindir. Ancak egzersiz şiddeti arttıkça, sistol sonu volümdeki azalmanın etkisi giderek daha baskın hale gelir (33).

Egzersiz sırasında dikkate alınması gereken önemli bir faktör, vücut sıcaklığındaki artıştır. Vücut sıcaklığının yükselmesine karşılık olarak deriye giden kan akımı artar ve terleme mekanizmaları devreye girer. Terleme sonucu vücutta sıvı kaybı meydana gelir. Uzun süreli egzersizlerde bu sıvı kaybı kan hacmini azaltarak ön yükü düşürür ve sonuçta atım hacminde yetersiz artışa veya azalmaya yol açabilir. Bunun doğal sonucu erken yorulmadır. Dolayısıyla, egzersiz sırasında kaybedilen sıvıların yerine konması, atım hacminin korunması açısından hayati önem taşır (33).

Art yükteki azalma, adrenerjik beta reseptörlerin uyarılmasına ve kaslarda üretilen metabolitlerin lokal etkilerine bağlıdır. Periferik dirençteki düşüş, artan egzersiz şiddetiyle eğrisel bir ilişki gösterir. Bu azalma başlangıçta belirginken, iş yükü arttıkça etkisi giderek azalır (33).

Kalbe geri dönen venöz kan miktarının artması, ventriküler ön yükü artırarak, sonrasında daha kuvvetli bir ventriküler kasılmaya ve daha yüksek bir atım hacmine yol açar. Bu, kalbin Frank-Starling yasası olarak bilinen bir fenomenidir. Frank-Starling yasasına dayalı olarak, egzersiz sırasında kalbin dolununun artması, atım hacmini artırır.

Bu mekanizma şu adımlarla açıklanabilir;

- Egzersiz sırasında artan venöz dönüş, ventriküler hacmi artırır.
- Artan ventriküler dolum, kalp kasını gererek kasın uzunluk-gerilim eğrisindeki konumunu değiştirir.
- Miyosit kontraktıl proteinlerinin kalsiyum duyarlılığı, uzunluktaki artışla birlikte artar, bu da daha büyük bir kasılma derecesi sağlar.

Sonuç olarak, egzersiz sırasında yüksek venöz dönüş ve kalp dolum basıncı, kasılma gücünü ve atım hacmini artırır (32).

Düşük yoğunluktaki egzersizlerde Frank-Starling mekanizmasının daha fazla katkı sağladığı, ancak egzersiz maksimum yoğunluğa yaklaştıkça bu etkinin azaldığı görülmektedir. Düşük yoğunluktaki egzersizde AH yaklaşık %30 artar ve egzersiz yoğunluğu arttıkça çok az değişir. Bu, kısmen diyastol sonu hacimdeki küçük ama anlamlı bir artışa bağlıdır. Bu artış ise daha yüksek venöz dönüşten kaynaklanır (56, 57).

2.4.1.5. Kardiyovasküler Sistem: Kan Basıncı

Kan basıncı, kalbin kanı damarlar aracılığıyla pompalarken, kanın damar duvarlarına uyguladığı basınç olarak tanımlanır. Genç sporcularda egzersiz sırasında ölçülen arteriyel kan basıncı, fiziksel yüklenmeye karşı kardiyovasküler yanıtın bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu ölçüm, sporcuların kardiyovasküler sağlık durumunu değerlendirmek ve egzersiz sırasında meydana gelen fizyolojik değişimleri anlamak açısından önemli bir parametreyi temsil eder.

Egzersiz sırasında kan basıncındaki değişiklikler, kardiyovasküler sistemin fiziksel aktiviteye karşı karışık fizyolojik yanıtlarının bir parçasıdır. Egzersiz sırasında hücrelerin oksijen ihtiyacı ve asit-baz homeostazını koruyabilmek için metabolik, kardiyovasküler ve solunum yanıtlarının bu değişikliklere hızla uyum sağlaması gerekir. Bu görev, kalp hızı ve atım hacmindeki artışlar ile sistemik ve pulmoner vasküler direncin düşüşüyle gerçekleştirilir. Bu sürecin düzgün bir şekilde işlemesi için sistemik vasküler direnci

kaslardaki metabolik vazodilatasyon bağlamında dengelemek için hassas kontrol mekanizmaları gereklidir (58).

Statik egzersize karşı kardiyovasküler yanıt, dinamik egzersizde gözlemlenen yanıtın önemli ölçüde farklıdır. Statik egzersiz sırasında dinamik egzersizin aksine kaslarda izometrik kasılmalar nedeniyle intramüsküler basınç nedeniyle belirgin bir vazodilatasyon yoktur. Statik egzersiz sırasında periferik sistemik vasküler direnç düşer ancak dinamik egzersize göre o kadar fazla düşmez. Statik kasılmalar sırasında KD, kalp hızındaki artış nedeniyle artar. Periferik sistemik vasküler dirençteki belirgin bir azalma olmadan artan KD, sistolik KB, diyastolik KB ve ortalama arter basıncındaki artışlarla birlikte KB'nin artmasına neden olur. Bu değişiklikler, statik egzersiz sırasında kasların yeterli perfüzyonunun sağlanması için gereklidir (59).

Direnç egzersizlerinde, kaslar kendilerini besleyen damar ağlarına baskı uygulayarak kan akışını kısıtlar ve bu da total periferik direncin artmasına neden olur. Ardından sempatik sinir sisteminin uyarılması, kalp debisi ile kan basıncında bir artışa yol açar ve bu durum yavaşça dengeye getirilmeye çalışılır. Yüksek kan basıncının şiddeti, egzersizin yoğunluğu ve katılan kas gruplarının sayısı ile doğrusal olarak artar. Egzersiz sırasında artan vazodilatasyon, sistolik kan basıncında bir azalmaya neden olabilir, ancak diyastolik kan basıncı genellikle değişmeden kalır. Egzersiz yoğunluğu arttıkça, sistolik kan basıncı yükselirken, diyastolik kan basıncı genellikle sabit kalır veya aşırı yorucu egzersiz durumunda hafif bir azalma yaşar. Sağlıklı bireylerde, sistolik kan basıncı, total periferik direncin azalmasına rağmen normal seviyeleri aşabilir. Bu durum, bireylerin yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında yüksek aerobik kapasiteye sahip olduklarını gösterir. Aerobik egzersiz, ritmik kas kasılmaları ve gevşeme aralıkları ile tanımlanır. Aerobik egzersizler, sabit yoğunluklu veya giderek artan yoğunluklu protokollerle yapılan egzersizlerdir. Sabit yoğunluklu aerobik aktivitelerde, kas gruplarının dolaşım ağlarında meydana gelen vazodilatasyon, toplam periferik damar direncini azaltarak kanın aktif kas bölgelerine doğru akışını artırır. Bu aktivite sırasında, egzersizin ilk birkaç dakikasında kan basıncı artar (60).

Arteriyel kan basıncını belirleyen ana faktörler kalp debisi ve total periferik dirençtir. Egzersiz sırasında, özellikle aerobik egzersizde, periferik direnç azalır. Periferik direncin azalması, beta reseptörlerinin uyarılması ve prekapiller sifinkterlerin açılmasıyla sağlanan vazodilatasyona bağlıdır. Aerobik egzersiz sırasında periferik direnç azalmasına rağmen, sistolik kan basıncı artar. Bu artış, atım volümündeki yükselmeye bağlıdır. Atım

volümü plato yaptığı zaman, sistolik kan basıncı da plato yapar. Ortalama arter basıncı, sistolik ve diyastolik kan basınçlarına dayalı olarak hesaplanır, bu nedenle değişiklikler bu iki parametredeki varyasyonlarla ilişkilidir. Tüm egzersiz türlerinde, ortalama arter basıncı artar (33).

İstirahatte 120 mmHg'de başlayan sistolik basınç, sağlıklı bir bireyde maksimum egzersiz sırasında 200 mmHg'yi aşabilir. Maksimum yoğunluktaki aerobik egzersiz sırasında, sağlıklı ve düzenli antrenman yapan sporcularda sistolik basınçların 240 ile 250 mmHg arasında olduğu bildirilmiştir. Bu sistolik basınçtaki artış, artan iş yükü karşısında meydana gelen artmış kalp debisinden kaynaklanmaktadır (61).

Özellikle genç sporcularda yapılan fiziksel aktivite sırasında, periferik damar direncindeki azalma sistolik kan basıncının yükselmesine neden olur ve bu artış 200 mmHg'yi geçtiğinde egzersiz sonlandırılmalıdır (62).

Maksimum yoğunluktaki egzersizin sonlandırılmasının ardından, sistolik kan basıncı genellikle kalp debisinin hızlı bir şekilde azalması sonucu düşer. Tipik olarak, altı dakika içinde bazal seviyelere veya daha düşük seviyelere geri döner ve hatta birkaç saat boyunca egzersiz seviyelerinin altında seyretmektedir (63).

2.4.1.6. Kardiyovasküler Sistem: Kan Akımı

Egzersiz hiperemisi, fiziksel efor sırasında çalışan kaslara olan kan akımındaki artışı ifade eder. Farklı dokulara olan kan akışı genellikle metabolik aktivite ile ilişkilidir; ancak bazı organlarda egzersiz yapan kasların metabolik gereksinimlerine yanıt olarak kan akışında değişiklikler meydana gelir.

İstirahat halinde, yaklaşık 5 L/dk olan kardiyak debinin kabaca %20'si iskelet kaslarına dağıtılır. Bu, her 100 g kas başına dakikada yaklaşık 4–7 ml kan akımına karşılık gelir. Fiziksel aktivite sırasında bölgesel kan akımı egzersizin türüne, çevresel koşullara ve yorgunluk düzeyine bağlı olarak değişir. Egzersiz sırasında, artan kardiyak debinin yaklaşık %85'i çalışan kaslara yönlendirilir. Bu, her 100 g kas kütlesi için dakikada yaklaşık 50–75 ml kan akımı anlamına gelir. Aktif kaslarda kan akımı özenle düzenlenir ve büyük bir kısmı, glikolitik kapasitesinden ödün verilerek kasın oksidatif bölgelerine yönlendirilir. Egzersiz sırasındaki artmış kan akımı artmış KD ve kan akımının yeniden dağılımı gibi iki önemli faktöre bağlıdır. Lokal metabolik koşullar, sinirsel düzenleme ve hormonal vasküler kontrol, kan akımını çeşitli dokulardan aktif kaslara yönlendirir. İskelet kasındaki kan akımındaki

artış, vücudun oksijen tüketimiyle orantılıdır ve aktif kas dokusunda üretilen vazodilatör metabolitlerin artışından kaynaklanır (64).

Fiziksel aktivite sırasında parasempatik aktivite azalırken sempatik akım en yüksek seviyesine ulaşır. Bu değişiklikler, sempatik postganglionik sinir uçlarından norepinefrin salınımının artmasına yol açar. Epinefrinin plazma düzeyleri yükselir ve sonuç olarak çalışan kaslar ile koroner ve serebral dolaşım hariç, vücudun vasküler yatağının büyük kısmında vazokonstriksiyon görülür. Hafif ve orta şiddetteki egzersizlerde termoregülasyonu sağlamak için cilde giden kan akımını artırır. Ancak iş yükünün artması ve kutanöz sempatik vazomotor tonusun yükselmesi, termoregülatör vazodilatasyon yanıtını baskılayarak cilt kan akımında kademeli bir azalmaya neden olur (65).

Dinamik egzersiz vazokonstriktör ve aktif vazodilatör sistemlerin çeşitli modifikasyonlarıyla cilt kan akımını etkiler. Bu sayede metabolik olarak aktif dokuların perfüzyonunu sağlarken vücudun termal dengesini korur. Dinamik egzersiz sırasında kaslardaki ısı üretimi zirve yapar ve bu durum vücut iç sıcaklığının yükselmesine yol açar. Termal homeostazi sürdürebilmek için bu fazla ısının uzaklaştırılması gerekir. Termoregülatör refleksler kutanöz vasküler iletkenliği düzenleyerek deri kan akımını ve terleme oranını etkiler. Homeostatik düzenlemelerin derecesi egzersizin şiddeti, türü, süresi ve ortam sıcaklığından etkilenir. Nötral çevre koşullarında deri kan akımı dinlenme durumundaki 300 mL/dk değerinden egzersiz sırasında yaklaşık 7 L/dk'ya yükselir (66).

Böbrekler ve splanknik dokular kandaki mevcut oksijenin yalnızca %10-25'ini kullanır. Bu bölgelere olan kan akımındaki belirgin azalma, mevcut kan seviyesindeki oksijenin artmış aktarımı sayesinde tolere edilebilir (67).

İstirahat halindeyken kalp oksijenin yaklaşık %75'ini koroner kan akımına aktarır. Sınırlı rezervler nedeniyle, egzersiz sırasındaki artmış miyokardiyal talep öncelikle koroner kan akımında dört katlık bir artışla karşılanır. Serebral kan akımı ise egzersiz sırasında istirahat değerlerine kıyasla yaklaşık %25-30 artış gösterir (68).

2.4.1.7. Kardiyovasküler Sistem: Sporcu Kalbi ve Fizyolojisi

Sporcu kalbi düzenli atletik antrenmanların yol açtığı karmaşık yapısal, fonksiyonel ve elektriksel uyum süreçlerini ifade eder. Bu durum sporcuların fiziksel görevlerde sporcu olmayanlara kıyasla daha başarılı olmasını sağlayan önemli bir fizyolojik adaptasyonu temsil eder.

Sporcu kalbi olarak bilinen fenomen ilk kez 19. yüzyılın sonlarında İsveçli klinisyen Henschen tarafından incelenmiştir. Henschen, antrenman seviyesi üst düzeyde olan İskandinav kayakçıların büyümüş kalp boyutunu göstermek için oskültasyon ve perküsyon tekniklerini kullanmıştır. Çalışmasında sporcuların kalplerinde fizyolojik dilatasyon ve hipertrofi tespit etmiştir. Bu bulguların egzersiz kaynaklı olduğu sonucuna varmış ve atlet kalbinin normal bireylerinkinden daha fazla iş yaptığını belirlemiştir (69).

Farklı egzersiz türleri kardiyovasküler sistem üzerinde değişik yükler oluşturur. Bu ayrımı tanımlayan çeşitli terimler bulunmakla birlikte, dayanıklılık sporları çalışan kaslara yüksek izotonik yük bindirirken, kuvvet sporları kaslar üzerinde yüksek izometrik yük oluşturur. Dinamik egzersiz kalp atış hızı ve atım hacmindeki artışla kardiyak debiyi yükseltir, periferik direnci azaltır ve sistemik kan basıncında orta düzeyde bir artışa neden olur. Kalbin maruz kaldığı temel yük esasen volüm yüküdür. Buna karşılık, statik egzersizle ilişkili başlıca fizyolojik değişim sistolik ve diyastolik kan basıncında belirgin bir yükselme olup kalp atış hızı, AH ve kardiyak debide yalnızca hafif artışlar gözlenir. Bu durumda asıl yük bir basınç yüküdür (70).

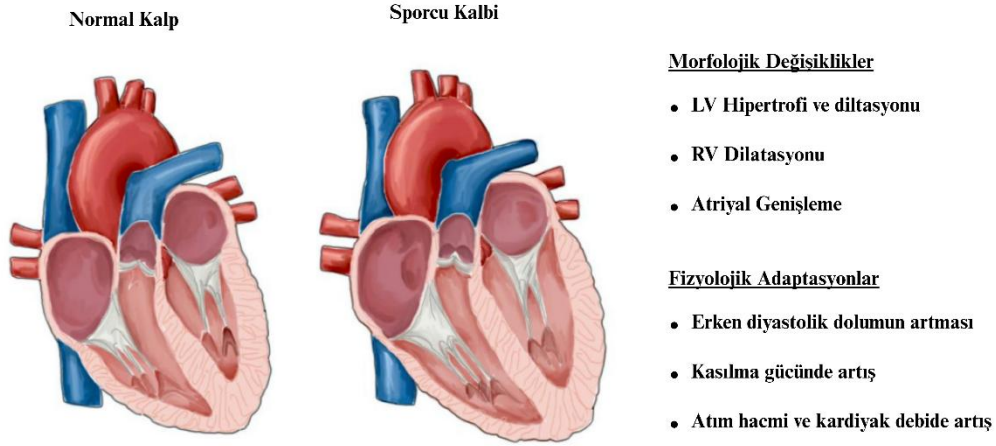
Tekrarlayan egzersizler sonucunda sporcu kalbinde yapısal değişimler meydana gelir. Bu değişimler her iki ventrikül hacminde genişleme, ventrikül duvarlarında kalınlaşma ve ventriküler büyümeyle orantılı atrial dilatasyonu içerir. Egzersiz sırasında artan KH, atım hacmi ve kan basıncı gibi hemodinamik parametreler bu adaptasyonlara yol açar (71).

Atlet kalbinde gözlenen başlıca değişiklikler, kalp odacıklarının genişlemesi ve buna bağlı atım hacmindeki artıştır. Atım hacmindeki bu artış temel olarak sol ventrikül diyastol sonu hacmindeki artıştan kaynaklanır. Sempatik aktivasyon ve azalmış sistol sonu hacmi az derecede olsa bile kardiyak debinin artmasına katkıda bulunur (72).

Elektrokardiyogram sporcu kalbindeki belirgin elektriksel değişiklikleri ortaya koyar. Yaygın görülen değişimler arasında sinüs bradikardisi, birinci derece atriyoventriküler blok, sol ve sağ ventriküler hipertrofi için voltaj kriterleri, inkomplet sağ dal bloğu ve erken repolarizasyon bulunmaktadır. Sağlıklı sporcuların yaklaşık %70'inde egzersizle ilişkili EKG değişiklikleri görülmekte olup bu bulguların çoğu asemptomatik olduğundan ileri inceleme gerektirmemektedir (73).

Egzersiz sırasında kardiyovasküler sistem, solunum kasları ve iskelet kasları gibi fizyolojik sistemlerin artan O₂ ve besin ihtiyacını karşılamak için bir dizi fizyolojik

adaptasyon gösterir. Bu dinamik düzenlemeler, sporcuların performans kapasitesini artırırken uzun vadede kalp yapısında ve fonksiyonlarında yukarıda belirtilen değişikliklere yol açar (74).



Şekil 5. Sporcu kalbinde meydana gelen morfolojik değişiklikler ve fizyolojik adaptasyonlar (Goh F'den, 74)

2.4.2. Solunum Sistemi

Egzersiz sırasında, vücudun artan O₂ ihtiyacını karşılamak ve CO₂ gibi oluşan yan ürünleri uzaklaştırmak için solunum sisteminin fonksiyonu hayati bir rol oynar. Bu süreç dört temel aşamadan oluşan etkili bir taşıma mekanizmasıyla gerçekleşir.

- Pulmoner ventilasyon: Havanın akciğerlere alınıp verilmesi
- Pulmoner difüzyon: Akciğerler ve kan arasında oksijen-karbondioksit değişimi
- Gazların kan yoluyla taşınması
- Kapiller difüzyon: Dokularla kan arasındaki gaz alışverişi

İlk iki aşama, vücut dışından gazların akciğerlere ve kana ulaşmasını sağlayan dış solunumu oluşturur. Gazlar kana geçtikten sonra dokulara taşınır ve son aşamada kan ile dokular arasındaki iç solunum gerçekleşir. Alveollerle oksijenin kana geçişi ve karbondioksitin atılması, solunum frekansı ve derinliğinin artmasıyla desteklenir. Solunum ve kardiyovasküler sistemin uyumlu çalışması, dokulara oksijen sağlanıp atık ürünlerin

uzaklaştırılmasını sağlayarak homeostazı korur ve egzersiz sırasında optimum performansın sürdürülmesine yardımcı olur.

Ventilasyon, hücrelerin oksijen ihtiyacını karşılamak ve karbondioksiti uzaklaştırmak amacıyla solunum yollarından gaz değişim alanlarına yeterli hava akışının sağlanması sürecidir. Dinlenme sırasında solunum hızı genellikle dakikada 10-12 nefes, her nefeste alınan hava miktarı (tidal volüm) yaklaşık 0.5 litre ve dakika ventilasyonu (hava akım hızı) 5-6 litre iken, egzersiz sırasındaki ventilasyon yanıtı egzersiz şiddetine bağlı olarak değişiklik gösterir. Egzersiz sırasında ventilatuvar dinamiklerde meydana gelen değişiklikler, solunum sisteminde dikkat çekici akut uyumlar ortaya çıkarır. Egzersiz sırasında bu uyumlar, maksimal egzersizde solunum hızı 50-60 nefes/dakikaya ulaşabilir. Benzer şekilde, tidal volüm de dinlenme değerlerine göre 5-7 kat artarak 3 litrenin üzerine çıkabilir. Sonuç olarak, dakika ventilasyonu dinlenme değerlerine göre 30-40 kat artış göstererek, özellikle yüksek düzeyde antrenmanlı erkek sporcularda 200 litre/dakikayı aşabilir. Antrenmansız bireylerde de egzersiz sırasında ventilatuvar dinamiklerde oldukça etkileyici değişimler gözlenmekle birlikte, bu değişimler elit sporcular kadar belirgin değildir (75).

Solunum sisteminin egzersiz sırasındaki hücresel taleplere uyumu anında gerçekleşir ve ventilasyon yanıtındaki ilk artış, egzersiz başlamadan önce ortaya çıkar. Dinlenmeden egzersize geçişte pulmoner dakika ventilasyonundaki değişimler, ventilatuvar yanıtın üç farklı evresinde özetlenebilir. Egzersiz pulmoner ventilasyon yanıtının temel düzenleyici gücü kanın kimyasal durumuyla ilişkili olsa da, diğer faktörler de ventilatuvar yanıtı katkıda bulunur (76).

İlk evre, kısa sürelidir ve egzersiz başlamadan hemen önce ile ilk 10-20 saniyelik süreçte gerçekleşir. Bu aşamada pulmoner dakika ventilasyonu hızla artar ve bu artışın ana nedeni beyin korteksinden gelen nörojenik ve mekanoreseptör uyarıdır. Kişinin egzersize hazırlanması bu artışın temel kaynağı olarak düşünülmektedir. İkinci evre, ventilasyonun daha yavaş ve sürekli olarak arttığı denge aşamasıdır. İlk fazdaki kontrol mekanizmaları devam ederken, merkezi ve periferik kemoreseptörlerden gelen geri bildirimler de ventilasyonun ince ayarını yapmak için devreye girer. Pulmoner ventilasyon, genellikle submaksimal egzersiz sırasında belirli bir seviyeye ulaşıp dengelenebilir. Ancak, egzersiz maksimal seviyeye ulaştığında, ventilasyon sürekli ve progresif bir şekilde artmaya devam eder, çünkü hava akışı ve oksijen ihtiyacı giderek artar. Submaksimal egzersizde olduğu gibi

ventilasyon belirli bir seviyede sabitlenmez ve maksimal egzersizde solunum yanıtı sürekli artış gösterir. Bu sürecin geç evresinde ventilatuvar kontrol kanın oksijen, karbondioksit, hidrojen iyonu konsantrasyonu ve sıcaklık homeostazisini koruma çabalarıyla sağlanır. Egzersiz sona erdiğinde, iyileşme sürecinde dakika ventilasyonundaki hızlı düşüş, merkezi komut ve mekanoreseptör girdilerinin azalmasına bağlıdır. Daha yavaş azalma ise, pulmoner ventilasyonun kanın kimyasal uyarılarına yeniden uyum sağlaması ve dinlenme haline dönmesi süreciyle ilişkilidir (77, 78).

Tablo 2. Egzersiz öncesi, sırası ve sonrasında ventilatuvar değişiklikler (Foss ML'den, 76)

Evre	Değişiklik	Kontrol Mekanizması
Dinlenme	—	Medulla kaynaklı solunum ritmini etkileyen kemoreseptörler
Egzersiz Öncesi	Orta Derecede Artış	Merkezi Kontrol ↑
Egzersiz Sırasında		
Başlangıç (Hızlı Artış)	Orta Evre (Durağan veya daha yavaş artış)	Son Evre (Hiperventilasyon)
Merkezi komut ↑, medullaya uyarı ↑	Kemoreseptör PCO ₂ tepkisi ↑, kanda/BOS'ta ↓	Potasyum, katekolamin, sıcaklık ve merkezi komut etkisi ↑
Egzersiz Sonrasında		
Hemen (Hızlı Azalma)	Daha Sonrasında (Yavaş Azalma)	
↓ Merkezi komut	Kemoreseptör girdileri ↓, PCO ₂ ve pH normalleşir	

2.4.2.1. Solunum Sistemi: Oksijen Borcu

Oksijen borcu, vücudun fiziksel aktivite sonrasında normal durumuna dönmek için kullandığı fazla oksijeni ifade eder. Egzersiz sonrası iyileşme dönemindeki enerji ihtiyacı, egzersiz sırasındakine kıyasla daha düşüktür. Ancak yine de vücut dinlenme durumuna dönene kadar bir süre yüksek seviyede kalır. Bu ek oksijen, vücudun hızla dinlenme durumuna dönmesini sağlar (79).

Oksijen borçlanması iki şekilde ortaya çıkar:

1. Tüklenen oksijen stoklarının yenilenmesi: Egzersiz sırasında miyoglobine (yaklaşık 0,31 ml) bağlı oksijen, kanda hemoglobine bağlı oksijen (yaklaşık 1 L) ve vücut sıvılarında

çözünmüş halde bulunan oksijen (yaklaşık 0,25 L) azalır. Egzersiz sonrası toparlanma sürecinde bu oksijen depolarının yenilenmesi gerekir.

2. Fosfojen ve glikojenin yeniden sentezlenmesi: Oksijen, fosfojenlerin ve glikojenin yeniden sentezi için gereklidir. Fosfojenlerin yenilenmesi yaklaşık 2 litre oksijen gerektirirken, glikojen-laktik asit sistemi için 8 litre civarında oksijene ihtiyaç duyulur. Maksimal egzersiz sonrasında, tükenen ATP-PC ve glikojen depolarının yenilenmesi ile miyoglobinin yeniden oksijenlenmesi aerobik sistem tarafından sağlanır (80).

Hızlı dinlenme (alaktasit oksijen borcu), oksijen kullanımının ilk birkaç dakikasını kapsar. Bu terim, laktik asit uzaklaştırılmasıyla ilişkili olmadığı için alaktasit oksijen borcu olarak adlandırılır. Oksijen borçlanmasının alaktasit evresinde, kas fosfojenlerinin yeniden sentezi için gerekli oksijen sağlanır. Bu evrede, oksijen alımı devam etmesine rağmen oksijen tüketimi hızla azalır. Sonuç olarak hızlı bir toparlanma gerçekleşir. Bu evrede, yenilenmesi gereken kas fosfojenlerinin büyük kısmı 2-3 dakika içinde eski haline döner. Yavaş dinlenme (laktasit oksijen borcu), kaslardan ve kandan laktik asidin uzaklaştırılması için gerekli oksijenin sağlanmasını içerir. Temel hedef laktik asidi ortadan kaldırmaktır ve bu süreç bir saat veya daha uzun sürebilir. Laktik asidin temizlenme yarı ömrü ise yaklaşık 15 dakikadır. Bu dönemdeki oksijen ihtiyacı, toplam oksijen borcunun önemli bir bölümünü oluşturur (80, 81).

2.4.3. Kas Sistemi

Egzersiz kaslar üzerindeki etkileri, aktivitenin türüne ve süresine bağlı olarak hem kısa hem de uzun vadeli sonuçlar doğurmaktadır. Dayanıklılık egzersizleri, uzun süreli kas kasılmaları gerektiren ve aerobik nitelikteki aktivitelerdir. Aerobik egzersizler sırasında öncelikle Tip 1 kas lifleri aktive olur. Yavaş kasılan lifler, adenzin trifosfat üretimi için temel enerji kaynağı olarak yağları kullanır. O₂ kullanımı ve laktik asidin etkin şekilde uzaklaştırılması nedeniyle belirgin kas yorgunluğu gözlenmez. Anaerobik egzersizler ise hızlı ve yüksek yoğunluklu kasılmalarla karakterizedir ve Tip 2 kas liflerini devreye sokar. Enerji, ATP, glikoz ve glikojenin parçalanması yoluyla sağlanır ve bunun sonucunda kaslarda laktik asit birikimine yol açar. Zaman içinde düzenli olarak yapılan anaerobik kuvvet ve direnç antrenmanları, kas gücünde artış, dayanıklılık ve hipertrofi gibi uzun vadeli adaptasyonlara yol açar (82).

2.5. Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri

Günlük yaşam aktivitelerini sürdürmek için gerekli enerji miktarı asgari düzeydeyken, egzersiz sırasında vücudun enerji ihtiyacı en üst seviyeye ulaşmaktadır. Egzersiz esnasında iskelet kaslarının kasılması için gerekli olan ATP, üç farklı metabolik yol tarafından sağlanmaktadır. Hangi enerji transfer sisteminin devreye gireceği yapılan egzersizin şiddeti ve süresi tarafından belirlenmektedir (83).

Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri:

1. Hazır Enerji Sistemi: ATP-Pcr Sistemi (Fosfojen Sistem)
2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi
3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi

2.5.1. Hazır Enerji Sistemi: ATP-Fosfokreatin Sistemi

Hazır enerji sistemi, ATP ve fosfokreatin (PCr) olmak üzere iki yüksek enerjili fosfat deposunu kullanır ve ATP sentezinin en basit ve en hızlı mekanizmasını temsil eder. Süreç, fosfokreatinden bir fosfat grubunun ayrılmasını ve bunun adenozin difosfata (ADP) bağlanarak adenozin trifosfat (ATP) oluşturmasını içerir. Bu reaksiyon, kreatin kinaz enzimi tarafından katalize edilir. Kas hücrelerindeki mevcut ATP tükendiğinde, ADP ve inorganik fosfat (Pi) oluşur ve fosfokreatin (PCr) reaksiyonu hızla ATP seviyelerini yeniler. Bununla birlikte, kaslarda PCr'nin sınırlı depolanması nedeniyle bu reaksiyon yoluyla ATP yeniden sentez kapasitesi de sınırlıdır. Depolanmış ATP ve fosfokreatinden (PCr) oluşan bu en basit ve en hızlı enerji üretim yolu hazır enerji sistemi veya fosfojen sistem olarak adlandırılır (84).

Egzersizin başlangıcında veya beş saniye ve daha kısa süren maksimal eforlarda gereken enerjinin büyük kısmı bu sistem tarafından sağlanır. Egzersiz şiddetine bağlı olarak, enerji üretimi başlangıçtan itibaren 15 saniyeye kadar devam edebilir. Ancak sprint gibi kısa süreli maksimal egzersizlerde bu sürenin 7,5-10 saniye arasında daha kısa olduğu bildirilmiştir. Sistem, 50 metreye kadar kısa mesafe sprintlerinde ve şut atma veya sıçrama gibi patlayıcı hareketlerde optimal performans için kritik rol oynar (85).

Kas dokusunun kilogram başına 5-7 mmol ATP ve 17-23 mmol PCr içerdiği gösterilmiştir. Bu hazır enerji sistemi, sadece birkaç saniye süren yüksek şiddetli kısa

aktivitelerde kullanılır. Halter, sprint veya tenis servisi gibi yaklaşık 4 saniye süren kısa aktivitelerde depolanmış ATP yeterli olurken, aktivitenin devamında ATP yeniden sentezi diğer yüksek enerjili fosfat bileşiği olan PCr tarafından sağlanır. 6-8 saniye süren bir sprint sırasında birey dakikada yaklaşık 10,4-12,8 L O₂ tüketir ve bu enerji temel olarak kaslarda depolanmış ATP ve PCr sağlanır. 4 ila 10 saniye arasında süren aktivitelerde gerekli ATP yeniden sentezi fosfokreatin tarafından karşılanır. Tüm spor aktivitelerinde yüksek enerjili fosfatlar kullanılmakla birlikte bazı durumlarda optimal atletik performans yalnızca bu enerji sistemine bağlıdır. Halter, sılıkla atlama, basketbol, futbol, buz hokeyi ve fırlatma hareketleri gibi aktiviteler enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde yüksek enerjili fosfatlardan karşılarlar. Kas içi yüksek enerjili fosfat seviyeleri, maksimal veya supramaksimal şiddetteki kısa süreli aktivitelerde performansı önemli ölçüde etkiler. Bu tür aktivitelerde zirve performans büyük ölçüde fosfatın mevcudiyeti tarafından belirlenir (86).

2.5.2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi

Anaerobik glikoliz olarak da bilinen bu sistem, ATP sentezi için oksijene ihtiyaç duymayan ikinci enerji üretim mekanizmasıdır ve kaslardaki glikojenin veya kandaki glikozun parçalanmasını içerir. Glikoliz süreci kas hücrelerinin sarkoplazmasında gerçekleşir ve her bir glikoz molekülü için net 2 ATP molekülü ile 2 pirüvat veya laktat molekülü üretilmesiyle sonuçlanır. Glikoliz bir dizi enzim-katalizli eşleşmiş reaksiyonlar yoluyla oksijensiz ortamda ATP üretimini sağlar. Bu sistem, 15 saniye ile 3 dakika arasında süren aktivitelerde temel enerji kaynağı olarak işlev görür. Glikolitik enerji sistemi 1500 metre sürat pateni, 800 metre koşu, 30 saniyelik Wingate testleri ve 200 metre yüzme gibi aktivitelerde enerji sağlamada aktif rol oynar (87, 88).

Anaerobik eşik laktat üretimi ve temizlenmesi arasındaki dengenin bozulduğu ve bunun sonucunda kanda laktik asit birikiminin başladığı nokta olarak tanımlanır. Bu kavram, aerobik dayanıklılıkla ilgili uygulamalı egzersiz fizyolojisi araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Anaerobik eşik egzersiz sırasında bireyin kas yanması ve rahatsızlık hissetmeye başladığı nokta olarak belirlenmiştir. Spor biliminde bu fenomen aerobik kapasiteyi değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan VO₂max testleri sırasında, CO₂ üretiminin oksijen tüketimini aştığı ve solunum değişim oranının 1'in üzerine çıktığı nokta olarak tanımlanır (84).

Artan laktik asit konsantrasyonları, kas pH'ında bir düşüşe yol açarak kas asidozuna neden olur. Bu asidik ortam, enzim fonksiyonlarını bozar, kas liflerinin kalsiyum bağlama kapasitesini azaltır ve sonuçta kasın kuvvet üretme yeteneğini engeller (53).

Uzun atlama, yüksek atlama veya halter gibi egzersiz şiddetinin aniden zirve yapıp sonlandığı spor dallarında, laktik asitin hızlı birikmesine rağmen glikoliz yoluyla ATP üretim hızının artması avantaj sağlayabilir. Tekrarlı eforlar ve uzun süreli egzersiz gerektiren sporlarda ise hem kas dokusunda hem de kanda laktat tamponlama mekanizmalarının geliştirilmesi esastır. Birçok atlet için, glikolitik enerji üretimini artıran ve etkili tamponlama sistemleri yoluyla biriken laktatın hızlı nötralizasyonunu sağlayan fizyolojik bir profile sahip olmak kritik önem taşır (89).

2.5.3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi

Aerobik sistem, uzun süreli ancak daha yavaş enerji katkısı ile karakterize edilir ve ATP sentezi için oksijene ihtiyaç duyar. ATP üretimi, Krebs döngüsü ve elektron taşıma zincirinden oluşan iki aşamalı bir süreci içerir. Krebs döngüsünün temel işlevi, NAD ve FAD olarak bilinen hidrojen taşıyıcı molekülleri kullanarak karbonhidrat, yağ ve proteinlerden hidrojenleri ayırmaktır. Krebs döngüsünde üretilen $\text{NADH}+\text{H}^+$ ve FADH_2 'nin elektron taşıma zincirine transferi oksijenin son elektron alıcısı olarak görev yaptığı bir dizi metabolik reaksiyon yoluyla enerji üretimine yol açar. Elektron taşıma zincirinde ATP üretimi, H^+ moleküllerine bağlı elektronların potansiyel enerjisinin kullanılmasıyla gerçekleşir (90).

Antrenmanlı bireyler yoğun egzersiz sırasında oksijen tüketimlerini dinlenme durumlarına kıyasla 20 kattan fazla artırabilirler. Oksijen transferine dahil olan başlıca yapılar akciğerler, dolaşım sistemi ve kaslardır. Kaslardaki artan ATP tüketimi, aerobik sistem üzerindeki talebi artırarak bu ihtiyacın karşılanması için solunumda düzenlemeler gerektirir. Yoğun egzersiz sırasında oksijen talebinin yaklaşık %90'ı iskelet kası hücrelerindeki mitokondriler tarafından karşılanmaktadır. Sonuç olarak, bu sistemin verimliliğinin temel ilkeleri; kardiyovasküler sistemin mitokondrilere yeterli oksijen sağlama kapasitesi, kas içinde sağlanan oksijeni etkili bir şekilde kullanabilecek yeterli miktarda ve hacimde mitokondrinin bulunması ve krebs döngüsü tarafından kolaylaştırılan enerji transferini engelleyebilecek enzimler veya metabolik yan ürünlerin olmamasını kapsar (84).

Egzersiz veya spor aktivitelerinin süresi 1-3 dakikayı aştığında ve dakikalar veya saatler boyunca devam ettiğinde temel enerji sistemi aerobik enerji sistemine geçiş yapar. Dayanıklılık aktivitelerinin şiddetine bağlı olarak aerobik ve anaerobik metabolizma arasındaki enerji transfer oranı değişim göstermektedir. Aerobik metabolizma ile enerji transferine %50-95'lik katkı sağlanırken, anaerobik metabolizma ile enerji transferine %5-50 oranında katkı sağlar (86).

2.6. Futbol

Futbol, küresel olarak önemli ve yaygın olarak oynanan bir spor olup, amatör seviyeden Olimpiyat yarışmalarına kadar çeşitli düzeyleri kapsar. Her yıl gerçekleştirilen ve çoğu önemli ekonomik ve politik yatırımlar gerektiren çok sayıda organizasyona sahne olmaktadır. Söz konusu organizasyonlar içerisinde Dünya Kupası, en yüksek izlenme oranlarına ulaşan spor etkinliği konumuyla ayrı bir öneme sahiptir (91).

11 kişilik iki takımın, resmi kurallar çerçevesinde rakip takıma gol atmayı ve kendi kalesine gol atılmasını engellemeyi amaçladığı bir spor dalıdır. Futbol maçları, 45'er dakikalık iki devre halinde oynanır ve bu devreler arasında 15 dakikalık bir mola verilir (92).

Futbol, fizyolojik açıdan hem anaerobik hem de aerobik enerji sistemlerine dayanan ve farklı beceri düzeyleri gerektiren bir spor olup sportif performansın geliştirilmesi için kuvvet, sürat, esneklik, dayanıklılık ve koordinasyon gibi temel motor becerilerin geliştirilmesi şarttır (93).

2.6.1. Futbolda Fiziksel Performans

Elit düzey futbolcuların maç performansı; fiziksel, zihinsel, teknik, taktik ve bilişsel becerilerin bileşiminden oluşmaktadır. Modern futbolda artan maç sayıları ve yüksek şiddetli aktiviteler, oyuncuların daha gelişmiş fiziksel kapasiteler ve fiziksel performanslar talep etmektedir (94).

Futbolcular genellikle 90 dakikalık bir maç sırasında 10-13 km arasında mesafe kat etmektedir. Bu mesafe; durma (0-0.6 km/s), yürüme (0.7-7.1 km/s), hafif koşu (7.2-14.3 km/s), koşu (14.4-19.7 km/s), yüksek hızlı koşu (19.8-25.1 km/s) ve sprint (>25.1 km/s) gibi hız kategorilerine ayrılarak analiz edilir (95).

Futbol maçları sırasında oyuncuların kat ettiği mesafenin büyük bölümü düşük ve orta şiddetteki hareketlerden oluşmakla birlikte, yüksek şiddetli koşular ve sprintler daha az

yer tutmasına rağmen maçın kilit anlarında belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle gollere yol açan pozisyonların %61'inde ve asistlerin %67'sinde sprint hareketleri öne çıkmaktadır. Ayrıca oyuncuların koşu eylemlerinin yalnızca %2'si topa sahip olduğunda gerçekleşirken %98'i topsuz olarak yapılmakta, bu da maçların büyük ölçüde topsuz hareketler ve düşük tempolu koşulardan oluştuğunu göstermektedir (96).

Performans analizleri, yüksek şiddetli koşu ve sprint mesafelerinin ikinci yarıda ilk yarıya kıyasla belirgin şekilde azaldığını göstermektedir. Ayrıca üst düzey elit futbolcuların, orta düzey elit futbolculara göre %28 daha fazla yüksek şiddetli koşu ve %58 daha fazla sprint yaptığı belirtilmiştir. Bu bulgular, yüksek hızlı koşu ve sprint performansının futbolcular için kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır (97).

Futbolun aralıklı yapısı, oyuncuların maç boyunca tekrarlı sprintler yapmasını gerektirir. Bu durum oyuncuların maç içerisinde fiziksel performansını devre arasına kadar olan süreçte düşürmektedir. Bu fiziksel performans parametrelerini geliştirmeye ve devre arasındaki düşüşü en aza indirmeye yönelik stratejiler büyük önem taşımaktadır (98).

2.6.2. Futbolda Fizyolojik Yanıtlar

Futbol maçlarının fiziksel talepleri, hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemleri için enerji sağlamak üzere kardiyovasküler ve kas sistemleri arasındaki karmaşık etkileşimden kaynaklanmaktadır. Toplam mesafenin büyük çoğunluğu düşük veya orta şiddette (>19,8 km/s) gerçekleşir ve bu da aerobik enerji sisteminin yoğun şekilde kullanıldığını gösterir. Ancak anaerobik enerji sağlanması, maçın belirleyici anlarına katkıda bulunur ve bu da her iki enerji sisteminin önemini vurgulamaktadır (1).

Aralıklı egzersiz sırasında aerobik enerji sağlanması çok önemlidir ve aerobik enerji transfer kapasitesi daha yüksek olan oyuncuların daha başarılı olma olasılığı daha yüksektir. Futbol maçları sırasında ortalama ve zirve kalp atış hızlarının sırasıyla maksimum değerlerin yaklaşık %85'i ve %98'i olması, aerobik enerji sistemine olan bağımlılığı göstermektedir. Bu da yaklaşık %70 maksimum oksijen tüketimine karşılık gelmektedir (99).

Anaerobik enerji sağlanması, başlangıçta depolanmış fosfokreatin ve adenozin trifosfatın yeniden sentezi yoluyla futbol maçı sırasındaki kısa patlayıcı sprintleri destekler. Bununla birlikte, anaerobik egzersiz 90 saniyeyi aştığında depolanmış fosfatın yenilenmesinin azalması sonucunda çalışan kaslara artan oksijen taşınması yoluyla kas metabolizmasını sürdürmek için aerobik enerji sağlanmasına daha fazla güvenilmektedir.

Aerobik enerji sağlanmasının, futbol maçının sonraki aşamalarında tekrarlanan sprint egzersizlerinde daha büyük bir rolü olabileceği vurgulanmaktadır (85).

Bununla birlikte, futbol maçları sırasında belirli fizyolojik ölçümlerin ve testlerin alınmasındaki zorluklar nedeniyle fizyolojik tepkilere ilişkin çıkarımlar yapmak güçtür. Dolayısıyla, herhangi bir müdahalenin futbol maçına verilen fizyolojik tepkiler üzerindeki etkisini değerlendirmek için, daha iyi deneysel kontrol sağlamak amacıyla iyi organize edilmiş futbol-spesifik simülasyonlar kullanılmalıdır (98).

2.7. İnsan Vücudunda Termal Sistem

Fizyolojik açıdan bakıldığında, vücut sıcaklığını izleyen kontrol merkezi beynin hipotalamus bölgesinde yer alır. Bu bölge, deri termoreseptörlerinden (deri, iç organlar ve merkezi sinir sisteminin belirli alanları) gelen duyuşal sinir aktivitesiyle uyarılır veya baskılanır. Bu reseptörler sıcaklık değişimlerini algılayarak olası homeostatik dengesizlikleri tespit eder. Bunun sonucunda hipotalamustaki ısı düzenleme merkezi olan perioptik alan, vücut sıcaklığını normale döndürmek için gerekli düzenleyici mekanizmaları harekete geçirir. Hipotalamus, bu süreçleri düzenlemek için negatif geri besleme mekanizmasını (negatif-feedback) kullanır (100).

Hipotalamus, merkezi termistörler aracılığıyla arteriyel kan sıcaklığını düzenlemede kritik bir rol oynar. Ayrıca bu reseptörler, deri, mide ve omurilik gibi çeşitli bölgelerden ısı bilgi alır. Böylelikle vücut sıcaklık dengesi genellikle 35-39°C aralığında dengede tutulur (101).

Bu otomatik fizyolojik tepkilerin yanı sıra termoregülasyonda davranışsal uyumlar da kritik rol oynar. Özellikle aşırı çevre koşullarında fizyolojik mekanizmaların sınırlarına ulaşıldığında, davranışsal adaptasyonlar hayati önem taşır. Termal algı süreci, çevresel uyaranların sinir sistemi tarafından işlenip yorumlanmasıyla şekillenir ve bireyin geçmiş deneyimlerinden etkilenir. Bu bilgiler ışığında geliştirilen termoregülasyon modelleri, ısı dengesi denklemlerinden başlayarak giderek karmaşıklaşan ve özelleşen tasarımlara evrilmiştir (102).

2.7.1. İnsan Vücudundaki Isı Dengesi

Vücudun ısı dengesi, ısı üretimi ve ısı kaybı arasındaki dengeyle korunur. Vücut sıcaklığı yükseldiğinde termoliz yoluyla ısı kaybı mekanizmaları devreye girerek fazla ısının

atılmasını sağlar. Tam tersi, vücut sıcaklığı düştüğünde ise termojenez yoluyla ısı üretimi artar ve böylece iç sıcaklık yeniden dengelenir (103).

2.7.1.2. Isı Üretim Mekanizmaları

Vücut, normal metabolik süreçler yoluyla iç ısı üretir. Dinlenme veya uyku durumunda metabolik ısı üretimi oldukça düşüktür. Buna karşılık, yoğun egzersiz sırasında ısı üretiminde belirgin bir artış görülür. Fiziksel aktivite esnasında harcanan enerjinin yaklaşık %75-80'i ısı olarak açığa çıkar. Egzersiz kapasitesinin üzerinde yapılan egzersizler önemli ölçüde ısı üretimine yol açabilir (104).

Vücut ısı üretiminin temel belirleyicileri arasında metabolik hız, kas kasılması, fiziksel aktivite ve özellikle Tiroksin (T4) gibi hormonal faktörler yer alır. Organizmalarda ısı üretimi, besinlerin metabolik kullanımı sonucu ortaya çıkar. Örneğin, glikoz metabolizması yoluyla enerji üretiminde yaklaşık %44'lük kısım ATP'ye dönüşürken, %56'sı ısı olarak açığa çıkar. Kas kasılması sırasında ATP'deki kimyasal bağ enerjisinin bir kısmı mekanik enerjiye dönüşürken, bir diğer kısmı da ısıya dönüşür. Enerji üretimi sırasında ortaya çıkan bu ısı eğer vücut tarafından dağıtılmazsa vücut sıcaklığını dakikada yaklaşık 1,5°C artırabilir. Özellikle egzersiz sırasında enerjinin yalnızca %15-40'luk kısmı mekanik işe dönüşürken geri kalanının ısıya dönüşmesi artan ısıyı uzaklaştırmak ve termal dengeyi korumak için etkili bir ısı dağıtım mekanizmasını zorunlu kılar. Normal koşullarda bir sporcu enerji depolarının %80'ine kadarını kullanabilirken sıcak ortamlarda bu seviyeye ulaşmadan tükenme görülebilir veya belirgin ölçüde daha düşük bir iş yükünde normal kapasitesine ulaşılabilir (105, 106).

Deri damarları, dış ortamla sürekli ısı alışverişini sağlar. İçsel vücut sıcaklığı optimal seviyenin altına düştüğünde, bu damarlar daralarak (vazokonstriksiyon) deriye olan kan akışını azaltır. Bunun sonucunda deri sıcaklığı düşer ve çevreyle ısı alışverişisi zayıflar. Eğer vazokonstriksiyon, ısı üretimi yoluyla içsel sıcaklığı yeterince artıramazsa, metabolik hızdaki artışa bağlı olarak kas gerginliği artar. Bu süreçte katekolaminler ve tiroid hormonları kilit rol oynar. Ancak bu mekanizmada yetersiz kaldığında, deri üzerinde kılları dikleştiren kaslar (arrector pili) devreye girerek titremeyi başlatır. Artan kas tonusu ve kısa kasılmalar, titreme termojenez yoluyla ısı üretir. Titreme önce küçük kas gruplarında başlar ve metabolik ısı üretimini hızla iki katına çıkarabilir (101, 107).

2.7.1.3. Isı Kaybı Mekanizmaları

Isı kaybı mekanizması, insan vücudunda yüksek sıcaklığa bağlı oluşabilecek hasarları önlemek için gelişmiş bir koruyucu sistemdir. Bu mekanizma, vücuttan ısı kaybı hızının metabolik ısı üretim hızının altına düşmesi durumunda devreye girer. Dinlenme halindeyken, deri sıcaklığındaki değişimler termal konfor değişikliklerine karşı birincil düzenleyici yanıtı oluşturur. Ancak egzersize bağlı artan ısı üretimi söz konusu olduğunda, içsel vücut sıcaklığının düzenlenmesi sadece deri sıcaklığı değişimleriyle sağlanamaz. Özellikle egzersiz şiddeti arttıkça, ısı kaybı mekanizmalarının yetersiz kalması içsel sıcaklıkta kaçınılmaz bir artışa yol açar (108).

Deriden dış ortama doğru ısı transferi radyasyon, konveksiyon, kondüksiyon ve buharlaşma yoluyla gerçekleşir. Radyasyon yoluyla, doğrudan moleküler temas olmadan elektromanyetik ısı dalgaları yayılır. İnsan vücudundan çevreye radyasyon yoluyla ısı kaybı pozitif, çevreden ısı kazanımı ise negatif olarak değerlendirilir. Konveksiyon, hareket halindeki gaz veya sıvıdaki ısı transfer sürecini ifade eder ve vücut yüzeyi ile çevre arasında veya vücudun çeşitli bölümleri arasında meydana gelir. Diğer bir tanımla yüzeyden ısının uzaklaştırılmasıdır. Vücut sıcaklığı hava sıcaklığını aştığında vücut yüzeyindeki hava akımı ısı dağılımını sağlar. Konveksiyonla ısı transferi rüzgâr veya vücut hareketleriyle artırılabilir. Vücutta üretilen ısının önemli bir kısmı kan dolaşımı yoluyla konveksiyonla yüzeye taşınırken dokular arasında kondüksiyonla transfer edilir. Deri sıcaklığı çevre sıcaklığını aştığında ısı deriden çevreye doğru aktarılır. Kondüksiyon yoluyla ısı transferi, soğuk yüzeylerle temas halinde (ayakta durma, oturma veya yatma) gerçekleşir. Buharlaşma, terleme olarak bilinen vücut ısısının su yoluyla transferi veya suyun sıvıdan gaz haline geçiş sürecidir. Yüksek sıcaklıklarda etkin ısı kaybı terleme yoluyla olur ve buharlaşan her litre su için 580 kcal ısı kaybı meydana gelir. Dinlenme halinde, organizmadaki ısı kaybının %61'i radyasyon, %13'ü buharlaşma ve %26'sı kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla gerçekleşir (105, 106).

İnsan vücudundaki ısı kaybının yaklaşık %10'u solunum yoluyla gerçekleşir. Solunum sırasında hem hissedilir hem de gizli ısı transferi meydana gelir. Verilen nefes, içsel vücut sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ve neredeyse su buharıyla doymuş bir halde dışarı atılır. Ortam sıcaklığı ve solunum hızındaki değişimler, bu yolla gerçekleşen ısı kaybını etkiler (107).

2.7.2. Termoregülasyon ve Isı Dengesi

İnsan vücudu, yaşamını sürdürmek için belirli sıcaklık seviyelerinde gerçekleşen çok sayıda kimyasal reaksiyona ihtiyaç duyar. Bu kimyasal süreçlerin ve mekanik vücut hareketlerinin düzgün işleyebilmesi için vücut sıcaklığının özenle düzenlenmiş bir aralıkta tutulması kritik önem taşır. Fiziksel aktivite sırasında, artan enerji ihtiyacını karşılamak için metabolizma hızı yükselir; bu da ek ısı üretimine ve vücut sıcaklığında artışa yol açar. Optimal fizyolojik işlevi korumak ve aşırı ısının yol açabileceği hasarı önlemek için vücut, fazla ısyı etkili bir şekilde uzaklaştırmalıdır. Termoregülasyon, vücutta ısı üretimi ile ısı kaybını dengede tutarak bu homeostatik süreci sağlayan mekanizmadır.

İnsanlar, çevresel koşullardaki önemli değişimlere rağmen sabit bir iç vücut sıcaklığını koruyabilen homeotermik canlılardır. Bu denge hem soğuk hem de sıcak ortamlarda ısı üretimi ve ısı kaybının titizlikle kontrol edilmesiyle sağlanır. Vücut sıcaklığı, ısı kaybı ısı üretimini aştığında düşer; buna karşılık ısı üretimi ısı kaybını geçtiğinde ise yükselir. Termoregülasyon, davranışsal mekanizmalar ve fizyolojik tepkiler yoluyla sağlanan termal dengenin düzenlenmesidir (109).

İnsan vücudu, vücut sıcaklığını düzenleyen, iki temel süreç veya kontrol sistemine ayrılan karmaşık mekanizmalara sahiptir. Bu sistemler davranışsal süreçler (tercih edilen bir ortamı koruma veya arama) ve otonomik süreçlerdir (örneğin ciltte vazodilatasyon, terleme ve titreme). Dolayısıyla, termal homeostaz hem davranışsal hem de fizyolojik tepkilerle kontrol edilir. Davranışsal termoregülasyon, insanlarda güçlü bir düzenleyici mekanizmadır. Bunun örnekleri arasında giysi giyip çıkarma, postür değiştirme, hareket etme, barınak arama gibi davranışlar sayılabilir. Davranışsal sıcaklık düzenlemesi, büyük ölçüde bilinçli ve iradeye bağlı davranışlar yoluyla mevcut tüm imkanları kullanarak işler. Bu nedenle sıklıkla bir fizyolojik değişken olarak gözden kaçırılrsa da, davranışsal sıcaklık düzenlemesi hem dinlenme hem de egzersiz sırasında termoregülasyonun kritik bir biçimidir.

İnsan vücudu aynı zamanda otonom sinir sistemi yoluyla çalışan fizyolojik bir termoregülasyon sistemine sahiptir. Bu sistem şunları kontrol eder:

- a) Metabolik ısı üretim hızı (titreme)
- b) Vazomotor fonksiyon (vücut orta hattından deriye kan yoluyla ısı akışı)
- c) Sudomotor fonksiyon (terleme)

Her iki sistem de sürekli olarak değişen çevresel koşullarla etkileşime girerek hem hayatta kalmayı hem de konforu sağlamaya çalışır (101).

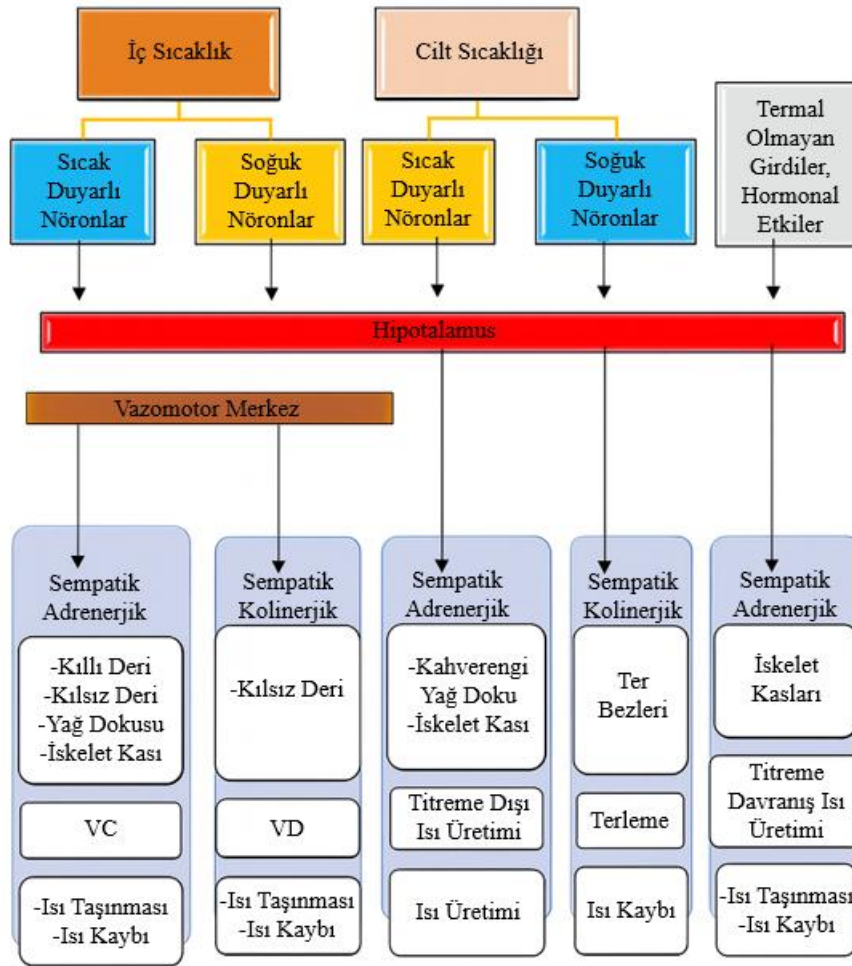
Termoregülasyon merkezi, periferik ve merkezi sinir sistemlerinde bulunan iki grup termoreseptörden gelen sinyalleri alır. Vücut sıcaklığının düzenlenmesi hiyerarşik bir düzende gerçekleşir. Yerel mekanizmalar alt düzeylerde işlev görürken, merkezi mekanizmalar üst düzeylerde faaliyet gösterir. Merkezi termoregülasyon üç temel bileşenden oluşur:

- a) Sıcaklığa duyarlı nöronlar aracılığıyla termal algılama
- b) Nöral yollar üzerinden bilgi entegrasyonu
- c) Sinir sisteminin farklı dalları yoluyla termoregülatuvar yanıtların uygulanması

Merkezi termoregülasyon uygun yanıtı belirlemek için tüm vücuttan gelen bilgileri kullanırken, yerel termoregülasyon yalnızca lokalize bilgilere dayanır (110).

Hipotalamus içerisindeki birincil ve ikincil süreçlerde ısı üretiminin ya da kaybının artmasının başlatılması için belirlenen kritik sıcaklık eşiğı 37C°'dir. Tüm ısı düzenleyici (termoregülatör) mekanizmalar, vücut sıcaklığını bu ayar noktasında tutmak üzere tasarlanmıştır (111, 112).

Dinlenme koşullarında genellikle dış ortam sıcaklığı değişkenlik gösterirken, egzersiz sırasında en belirgin sıcaklık değişikliği iç ortamda meydana gelir. Ancak, aşırı çevresel sıcaklık koşullarında egzersiz yapıldığında bu durum insanın termoregülatuvar sistemini ek olarak etkiler. Sıcaklık değişimine dair bilgi, termoreseptörler tarafından merkezi sinir sisteminde yer alan termoregülatuvar merkeze iletilir. Bu merkez, algılanan değeri "set noktası" olarak adlandırılan daha az ya da çok esnek bir referans sıcaklık değeriyle karşılaştırır ve bu farkı ortadan kaldırmak için efektör mekanizmaları devreye sokar. Böylece vücut iç ısısı yeniden set noktasına döndürülür. Ana efektörler arasında deri arteriyelleri, ter bezleri, kahverengi yağ dokusu ve iskelet kasları bulunur. Ayrıca davranışsal değişiklikler de termoregülasyona katkı sağlar (113).



Şekil 6. İnsan termoregülasyon sistemi fizyolojisi (Etain & Johnson'dan, 111)

İskelet kasları dinlenme durumunda kilogram başına dakikada yaklaşık 1.5 mL oksijen tüketirken, yoğun egzersiz sırasında bu miktar 150 mL/dak/kg'a kadar çıkabilir. Bu, egzersiz sırasında oluşan ek ısı yükünü gösterir ve bu yük 1.000 Watt'ın üzerine çıkabilir. Oysa dinlenme halinde sadece 70 Watt'tır. Bu düzeydeki bir ısı yükü hiçbir termoregülatuar mekanizma olmasaydı, iç sıcaklığını her 10 dakikada 1°C artırır. Bu nedenle, bu fazla ısının çevreye atılmasını sağlamak ve termal homeostazı korumak amacıyla termoregülatuar refleksler devreye girer (114).

Termoregülatuar merkez, merkezi ve periferik termoreseptörlerden gelen sıcaklık değişikliği bilgilerini alır ve bütünleştirir. Merkezi termoreseptörler esas olarak merkezi sinir sisteminde (beyin ve omurilik) yer alır, ancak kan damarları ve iskelet kasları gibi diğer bölgelerde de bu reseptörlerin bulunduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte en önemli merkezi termoreseptörler, preoptik alan ve anterior hipotalamustaki termoregülatuar merkezin bir parçası olanlardır. Periferik termoreseptörler ise vücudun her yerindeki deri

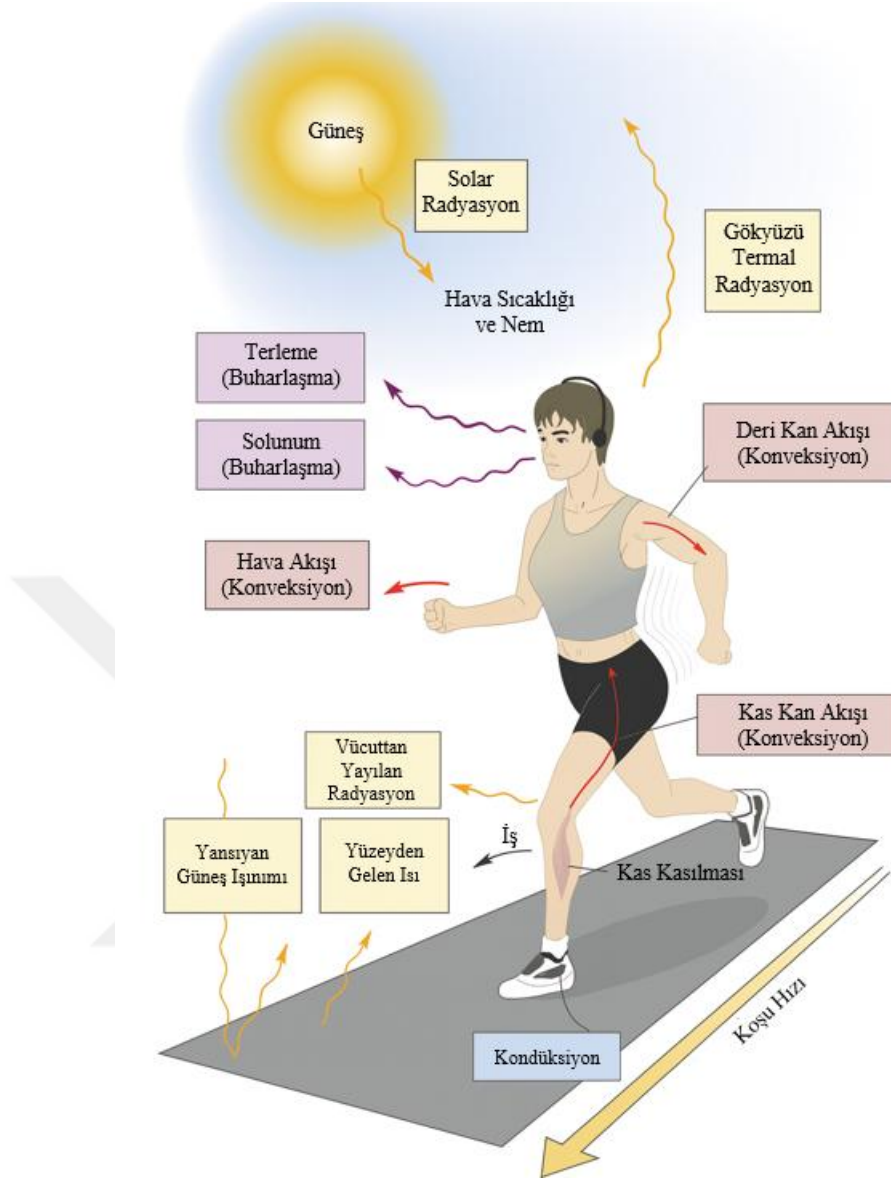
yüzeyine dağılmıştır. Merkezi reseptörlerde olduğu gibi, periferik termoreseptörler de anatomik olarak farklı iki tipe ayrılır. Bunlar ısı reseptörleri ve soğuk reseptörleridir. Bu reseptörlerin dağılımı ve yoğunluğu, derinin bulunduğu bölgeye göre farklılık gösterir (113, 114).

İnsanlarda normal termoregülasyon, çevreyle ısı alışverişini en aza indirerek ısı üretimi/kazancı ile ısı kaybı arasında dinamik bir denge sağlar ve günlük aktiviteler, vücut iç sıcaklığındaki değişiklikleri minimize etmek için ısı dağıtıcı mekanizmaları düzenleyen işlevsel bir termoregülatuar sistem gerektirir. Bu nedenle, başarılı termoregülasyonun temel taşlarından birinin ısı dengesi olduğu anlaşılmalıdır. Dinlenme, açlık ve termonötr koşullarda toplam ısı üretimi vücudun işleyişini sürdürmek için gerekli metabolik süreçlerin açığa çıkardığı kimyasal ısıya bağlıdır (101).

İnsan enerji alışverişi ve vücut iç ısısının düzenlenmesinin temelini oluşturan ısı dengesi denklemi enerjinin korunumu yasası uyarınca vücut ısı depolama oranının (S), metabolik enerji harcaması (M), dış iş (W_k), deriden iletim (K), radyasyon (R) ve konveksiyon (C) yoluyla kuru ısı alışverişi ile solunum yolundan konvektif ısı alışverişi (C_{res}) ve buharlaşmalı kayıp (E_{res}) ile deriden buharlaşmalı kaybın (E_{sk}) arasındaki farka eşit olduğunu ifade eder ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (115).

$$S = M - W_k \pm K \pm R \pm C \pm C_{res} - E_{res} - E_{sk} [W] \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Isı dengesinin (S=0) korunması için metabolik ve çevresel ısı kazançları toplamının kayıplara eşit olması gerekir; kazanç kaybı aştığında (S>0) ısı depolanır ve iç sıcaklık yükselirken, kayıpların fazla olması (S<0) durumunda ise ısı içeriği ve sıcaklık düşer. Vücut ısı içeriğindeki değişim (kJ), zaman ile net ısı alışverişi farkının çarpımıdır. Bu nedenle sabit bir iç ısı, vazomotor ve kardiyovasküler refleks yanıtlarla ısı kaybı/üretimi yoluyla sıcaklık değişiminin düzeltilmesiyle korunur (116).



Şekil 7. Isı değişim yolları ve termoregülasyon üzerinde etkili olan faktörler (Boron'dan, 113)

2.7.3. Isı Stresi ve Egzersiz Performansı

Isı stresi, bireyin egzersiz sırasında performansını doğrudan etkileyebilen önemli bir çevresel faktördür. Yüksek sıcaklık ve nem koşullarında vücudun ısı dengesini koruma çabası, kardiyovasküler ve metabolik sistemler üzerinde ek bir yük oluşturur.

Isı stresi altında egzersiz performansının korunamaması ile ilişkili temel mekanizmalar; hipertermiden kaynaklanan kardiyovasküler, merkezi sinir sistemi (MSS) ve iskelet kası fonksiyonlarındaki değişikliklerle bağlantılıdır. Bu değişikliklere eşlik eden

fizyolojik yanıtlar, algısal tepkileri de etkileyerek motivasyonu ve sıcak ortamda egzersizi sürdürme isteğini azaltarak performansı olumsuz yönde etkileyebilir (117).

Egzersiz sırasında vücut, kasların artan metabolik aktivitesiyle önemli miktarda ısı üretir. Normal koşullarda termoregülasyon mekanizmaları, terleme ve cilt kan akışını artırarak bu fazla ısıyı dışarı atmaya çalışır. Ancak sıcak ve nemli ortamlarda bu mekanizmalar yetersiz kaldığında vücut iç ısısı yükselir, bu da performansta azalmaya yol açar. Isı stresinin en önemli etkilerinden biri, kardiyovasküler sistem üzerinde oluşturduğu yükte kalp atım hızında artış, atım volümünde azalma ve “kardiyovasküler kayma” olarak bilinen durumun gelişmesidir. Bu durum, özellikle yoğun performans gerektiren dayanıklılık sporlarında performans düşüşüyle doğrudan ilişkilidir (2).

Isı stresi sadece dayanıklılık kapasitesini değil, yüksek yoğunluklu ve kısa süreli aktiviteleri de olumsuz etkiler. Yüksek sıcaklıkta yapılan egzersizlerde sprint mesafelerinde, ivmelenme ve yön değiştirme sayılarında belirgin azalmalar meydana gelmektedir. Aynı zamanda bilişsel işlevlerde de bozulmalar meydana gelir. Bunlar karar verme hızının azalması, algıda yavaşlama ve reaksiyon süresinde uzama gibi sonuçlar, özellikle takım sporlarında oyun performansını düşürmektedir. Bu nedenle, ısı stresi hem fizyolojik hem de bilişsel düzeyde çift yönlü egzersiz performansı üzerinde olumsuz bir yük oluşturur (98).

Büyük spor organizasyonlarının yaz aylarında düzenlenmesiyle oluşan ısı stresi, sporcuların performansını ve sağlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle FIFA Dünya Kupası ve UEFA Şampiyonlar Ligi gibi turnuvalarda yapılan analizler, yüksek sıcaklıklarda toplam koşu mesafesi, sprint sayısı ve yüksek hız koşularının belirgin şekilde azaldığını göstermektedir (118, 119).

Genç sporcular açısından ise risk daha fazladır. Çocuklar ve ergenler, yetişkinlere kıyasla vücut kütlelerine oranla daha fazla ısı üretir, terleme mekanizmaları daha geç devreye girer ve kardiyovasküler sistemleri sıcaklığa uyum sağlamakta daha yetersizdir. Bu nedenle, genç sporcular sıcak havada daha çabuk yorulur, performansları daha hızlı düşer ve sıcaklığa bağlı rahatsızlanmalar ve yaralanmalar daha sık görülür (120).

2.8. Sporcularda Soğutma Stratejileri

Sıcak ortam koşullarında gerçekleştirilen egzersizler, sporcularda hem fizyolojik hem de performans açısından önemli sınırlılıklar yaratabilmektedir. Bu nedenle, ısı stresinin

olumsuz etkilerini azaltmak ve optimal performansı sürdürüebilmek amacıyla soğutma stratejileri giderek daha fazla önem kazanmıştır (121).

Soğutma uygulamaları, vücut sıcaklığını düzenleyerek kardiyovasküler sistemi desteklemekte, merkezi yorgunluğu geciktirmekte ve sporcuların dayanıklılık ile güç performansını korumalarına katkı sağlamaktadır. Bu stratejiler içsel soğutma yöntemleri, dışsal soğutma yöntemleri ve kombine yöntemler şeklinde sınıflandırılmakta olup, sporcunun bulunduğu ortam, yapılan sporun özellikleri ve uygulama koşullarına göre farklılık göstermektedir.

- İçsel soğutma yöntemleri: Ağız yoluyla veya solunum durumunda burun yoluyla soğuk bir maddenin vücuda alınmasıdır. Buna soğuk hava solunumu, soğuk sıvı veya buz tüketimi dahildir.
- Dışsal soğutma yöntemleri: Soğuk bir ortam ya da materyalin vücut yüzeyine uygulanmasıdır. Buna soğuk hava, soğuk suya maruz kalma veya soğutma yeleği kullanımı örnek verilebilir.
- Kombine soğutma yöntemleri: İki veya daha fazla pratik soğutma yönteminin bir arada kullanılmasıdır. Bu, birden fazla dışsal yaklaşımın ya da içsel ve dışsal yaklaşımın birlikte uygulanmasını içerebilir

Soğutma stratejileri ayrıca uygulama zamanına göre de üç temel grupta incelenmektedir. Ön soğutma (pre-cooling), egzersiz öncesinde vücut ısısını düşürerek ısı depolama kapasitesini artırmayı hedefler. Bu yöntem sayesinde egzersiz sırasında vücut sıcaklığının kritik seviyelere ulaşması geciktirilir ve dayanıklılık performansı desteklenir. Egzersiz sırasında soğutma (per-cooling), uygulama esnasında vücut iç sıcaklığındaki artışı hafifletmeye yöneliktir ve özellikle sıcak iklimlerde uzun süreli aktivitelerde performansın korunmasına katkı sağlar. Egzersiz sonrasında soğutma (post-cooling) ise toparlanma sürecini hızlandırmak, kas hasarını azaltmak ve sıcaklığa bağlı yorgunluk semptomlarını hafifletmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu üç strateji, farklı spor dallarında ve çevresel koşullarda uygulanarak termoregülasyonu desteklemekte ve hem fizyolojik hem de algısal iyileşmelere katkı sağlamaktadır (122).

2.9. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi

KPET, gaz değişimi analizinin eşlik ettiği maksimal bir egzersiz testi olup, pulmoner, kardiyovasküler, hematopoetik, nöropsikolojik ve iskelet kası sistemlerini kapsayan

fizyolojik yanıtların bütüncül ve kapsamlı değerlendirilmesini sağlar. Tek tek organ sistemlerine yönelik fonksiyon ölçümlerinin yetersiz kaldığı durumlarda, KPET'in sunduğu non-invaziv ve dinamik yaklaşım hem submaksimal hem de maksimal egzersiz yanıtlarının incelenmesine olanak tanır (123).

KPET'in temel dayanağı, fiziksel stres sırasında solunan O₂ ve ekshale edilen CO₂ gaz değişiminin değerlendirilmesinin vücudun genel fizyolojisine dair bir bakış açısı sağlamasıdır. Egzersiz sırasında mekanik işin gerçekleştirilmesi için gereken enerji adenozin trifosfatın (ATP) hidrolizinden elde edilir. İskelet kasları çok az miktarda ATP depolar, bu nedenle sürdürülen egzersiz, ATP'nin yağlar ve karbonhidratların metabolizması yoluyla hızla yeniden sentezlenmesini gerektirir. Kardiyopulmoner egzersiz testi; kalp, akciğerler, damar sistemi ve kanın performans kapasitelerini yansıtarak, O₂'nin dokulara ulaştırılması ve CO₂'nin uzaklaştırılmasını değerlendirmekte, bu süreçlerin hücrel homeostaz için kritik rolünü ortaya koymaktadır. Eğer fonksiyonel kapasiteyi engelleyen bir patoloji mevcutsa, KPET bu fizyolojik sistemlerden hangilerinin sorumlu olduğunu belirlemeye yardımcı olur (124).

Kardiyopulmoner egzersiz testlerinde en yaygın kullanılan ergometre tipleri bisiklet ve koşu bandı ergometreleridir. Bu ergometrelerin her birinin birbirine kıyasla çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Koşu bandı ergometresiyle gerçekleştirilen kardiyopulmoner egzersiz testleri, yürüyüş ve koşu gibi günlük yaşam aktivitelerine daha yakın hareketleri içermesi nedeniyle katılımcıların teste uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, koşu bandı ergometresi daha fazla kas grubunun çalışmasına olanak tanıdığından, maksimum egzersiz şiddetine bisiklet ergometresi ile yapılan testlere kıyasla daha kısa sürede ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, koşu bandı ergometreleri laboratuvar koşullarında daha fazla yer kaplamakta, daha yüksek maliyetli olmakta ve kalibrasyonları görece zor olmaktadır (123).

Koşu bandı ergometresi ile yapılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde üst ekstremite hareketlerinin fazlalığı, elektriksel aktivite dışındaki nedenlerden kaynaklanan dalgalanmalar (artefakt) oluşturmakta ve bu durum kan basıncı ile EKG kayıtlarının sağlıklı şekilde elde edilmesini ve yorumlanmasını güçleştirmektedir (123).

Diğer yandan, bisiklet ergometreleri koşu bandı ergometrelerine kıyasla daha düşük maliyetli olup laboratuvar ortamında daha az yer kaplamaktadır. Egzersiz paternindeki

değişikliklerin daha sınırlı olması ve test sırasında vücut salınımlarının daha az görülmesi, KB ve EKG ölçümlerinin daha doğru şekilde kaydedilmesine ve yorumlanmasına olanak tanımaktadır (123).

Bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde karşılaşılan en önemli sınırlılık, kuadriseps kaslarında ortaya çıkan yorgunluktur. Alt ekstremitelerde gelişen bu yorgunluk, bireylerin VO_2 maks seviyesine ulaşmadan testin sonlandırılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle bisiklet ergometresi ile gerçekleştirilen kardiyopulmoner egzersiz testlerinde elde edilen VO_2 maks değerleri, treadmill (koşu bandı) ergometresi ile ulaşılan değerlere kıyasla yaklaşık %5–10 daha düşük olmaktadır. Bununla birlikte, treadmill ergometresine göre bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan testlerde ölçülen ventilasyon değerleri ile laktat üretimi nispeten daha yüksek düzeyde raporlanmaktadır (125).

Kardiyopulmoner egzersiz testlerinde bisiklet ve treadmill ergometreleriyle uygulanan protokoller, iş yükünün biçimine göre farklılık göstermektedir. Bu protokoller şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Çok kademeli egzersiz protokolü: Her üç dakikada bir kademeli olarak artırılan iş yükü ile her aşamada “pseudo-steady” duruma ulaşılmasını hedefleyen protokoldür.
- Sabit iş yükü protokolü: Genellikle 5–30 dakika süresince aynı iş yükünde gerçekleştirilen uygulamadır.
- Aralıklı egzersiz protokolü: 3–4 dakikalık kısa süreli egzersiz periyotları, giderek artan iş yükleri ve dinlenme aralıkları ile birbirinden ayrılmıştır.
- Süreksiz egzersiz protokolü: Sürekli sabit iş yükünde yapılan egzersizlerin kısa süreli periyotlarla uygulanması ve bunların dinlenme dönemleri ile ayrılması esasına dayanır Klinik kullanımda ise nadiren tercih edilmektedir.
- Sürekli rampa veya aşamalı egzersiz protokolü: İş yükünün her dakika düzenli olarak artırıldığı, kademeli ve sürekli ilerleyen bir uygulamadır (126).

Bisiklet ergometresi ile gerçekleştirilen kardiyopulmoner egzersiz testlerinde rampa, basamaklı ve sabit iş yükü protokolleri olmak üzere üç temel yöntem uygulanmaktadır. Klinik uygulamalarda en yaygın kullanılan protokol, basamaklı artan iş yükü protokolüdür. Bu yöntemde, bireyler başlangıçta yaklaşık üç dakikalık bir dinlenme periyodunda bazal ölçümlerin yapılabilmesi için hareketsiz bekletilir. Ardından, yine üç dakikalık bir süre

boyunca herhangi bir direnç uygulanmaksızın pedallar çevrilir. Bu aşamadan sonra iş yükü, her dakika 5 ila 25 W arasında artırılarak egzersiz sürdürülür. Test sırasında pedal çevirme hızı ideal olarak dakikada 60 rpm olacak şekilde, 40–70 rpm aralığında tutulmalıdır. Egzersizin maksimal ya da submaksimal düzeyde olduğunun değerlendirilmesinde kalp atım hızı temel belirteçlerden biridir (8).

Rampa protokolü, basamaklı protokole benzer özellikler taşımakta; ancak bu yöntemde pedala aktarılan yük egzersiz boyunca sürekli ve sabit bir hızla artırılmaktadır. Sabit iş yükü protokolü ise daha çok özel amaçlarla, örneğin gaz değişim anormalliklerinin değerlendirilmesi gibi durumlarda tercih edilmektedir (8).

2.9.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Endikasyon ve Kontraendikasyonları

KPET uygulanmasında endikasyonlar ve kontrendikasyonlar, klinik karar verme sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Endikasyonlar, testin hangi hasta gruplarında tanınal, prognostik ya da tedaviye yön verici amaçlarla uygulanabileceğini belirlerken; kontrendikasyonlar ise testin uygulanmasının hasta güvenliği açısından risk oluşturabileceği durumları tanımlar. Bu ayırım, hem testin tanınal değerinin en üst düzeye çıkarılması hem de olası komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir.

Tablo 3. Kardiyopulmoner egzersiz testinin endikasyon alanları (Dilektaşlı'dan, 127)

KARDİYOPULMONER EGZERSİZ TESTİNİN ENDİKASYONLARI	
<ul style="list-style-type: none">• Bireyin fonksiyonel kapasitesinin belirlenmesi	<ul style="list-style-type: none">• Kalp yetersizliği şiddeti ve prognozunun belirlenmesi
<ul style="list-style-type: none">• Egzersizde kısıtlanmaya yol açan faktörler ve mekanizmaların belirlenmesi	<ul style="list-style-type: none">• Akciğer veya kalp-akciğer nakli adaylarında seçim ve liste önceliğine destek verilmesi
<ul style="list-style-type: none">• Kardiyak ve pulmoner nedenlerin ayırt edilmesi	<ul style="list-style-type: none">• Kişiye özgü egzersiz reçetesi ve tedavi yanıtının izlenmesi
<ul style="list-style-type: none">• İstirahat bulguları ile semptom uyumsuzluğunun incelenmesi	<ul style="list-style-type: none">• KOAH'ta hastalık şiddeti ve egzersiz kısıtlanmasının değerlendirilmesi
<ul style="list-style-type: none">• Belirsiz dispne etyolojisinin açıklanması	<ul style="list-style-type: none">• İnterstisyel akciğer hastalıklarında restriktif ve hipoksemik etkilerin incelenmesi
<ul style="list-style-type: none">• Kistik fibroziste efor kapasitesi ve oksijenasyon takibi	<ul style="list-style-type: none">• Egzersize bağlı bronkospazmın tanısı

Tablo 4. Kardiyopulmoner egzersiz testinin kontrendikasyon alanları (Dilektaşlı'dan, 127)

KARDİYOPULMONER EGZERSİZ TESTİNİN KONTRENDİKASYONLARI	
GÖRECELİ DURUM	MUTLAK DURUM
<ul style="list-style-type: none">• Ciddi pulmoner hipertansiyon	<ul style="list-style-type: none">• Akut kalp yetersizliği
<ul style="list-style-type: none">• Aritmiler (taşiaritmi, bradiaritmi)	<ul style="list-style-type: none">• Akut pulmoner emboli
<ul style="list-style-type: none">• Hipertrofik kardiyomiyopati	<ul style="list-style-type: none">• Akut pulmoner enfarkt
<ul style="list-style-type: none">• Yüksek atriyoventriküler blok	<ul style="list-style-type: none">• Semptomatik ciddi aort darlığı
<ul style="list-style-type: none">• Alt ekstremitelerde trombotik hastalık varlığı	<ul style="list-style-type: none">• Akut endokardit, miyokardit veya perikardit varlığı
<ul style="list-style-type: none">• İş birliği/kooperasyon yetersizliği	<ul style="list-style-type: none">• Stabil olmayan anjina pectoris

2.9.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Genç Sporcularda Kullanımı

KPET, kardiyak, pulmoner ve kas-iskelet sistemlerinin entegre yanıtlarını ortaya koyması nedeniyle genç sporcularda egzersiz kapasitesinin objektif olarak değerlendirilmesinde altın standart yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (127, 128).

Çocukluk ve ergenlik dönemleri, büyüme ve gelişmenin etkisiyle fizyolojik, anatomik ve psikolojik açıdan önemli değişimlerin yaşandığı dönemlerdir. Bu süreçte fiziksel uygunluğun değerlendirilmesi hem sağlıklı popülasyonda performansın belirlenmesi hem de olası kardiyak ya da pulmoner patolojilerin erken tanısı açısından kritik öneme sahiptir (128).

KPET sırasında ölçülen maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve anaerobik eşikteki oksijen tüketimi, genç sporcularda kardiorespiratuvar dayanıklılığın en güçlü göstergeleri arasında yer almaktadır. VO_{2max} düzeyi, yalnızca performansın değil aynı zamanda uzun dönemde kardiyovasküler sağlık durumunun da öngörücüsü olarak değerlendirilmektedir (129).

Genç sporcularda KPET'in kullanımı aynı zamanda fizyolojik ve patolojik kardiyak değişimlerin ayırt edilmesine de katkı sağlar. Özellikle sporcularda görülen fizyolojik sol ventrikül hipertrofinin (atlet kalbi) hipertrofik kardiyomiyopatiden ayırımında KPET'in önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Ayrıca, bisiklet ergometresi veya koşu bandı üzerinde yapılan KPET testleri sayesinde hem antrenman programlarının bireyselleştirilmesi hem de sporcunun performans gelişiminin objektif takibi mümkün olmaktadır (129).

Tablo 5. Yetişkinler ve çocuklar arasındaki egzersiz fizyolojik parametrelerindeki yaygın farklılıklar (Takken'den, 128)

DEĞİŞKEN	YETİŞKİN BİREYE GÖRE FARKLILIK
<p><u>Kardiyovasküler</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • $\dot{V}O_2\text{peak}$, L·dak⁻¹ • $\dot{V}O_2\text{peak}$, ml·kg⁻¹·dak⁻¹ • Submaksimal Kalp Atım Hızı (HR), atım·dak⁻¹ • HRpeak, atım·dak⁻¹ • Atım Hacmi (sub)maks, ml·atım⁻¹ • Kardiyak Debi (% $\dot{V}O_2\text{peak}$'te) • Arteriyovenöz Oksijen Farkı (% $\dot{V}O_2\text{peak}$'te) • Kas Kan Akışı • Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı, mmHg • Miyokardiyal İskemi 	<ul style="list-style-type: none"> • Daha Düşük ↓ • Daha Yüksek ↑ • Daha Yüksek ↑ • Daha Yüksek ↑ • Daha Düşük ↓ • Daha Düşük ↓ • Daha Yüksek ↑ • Daha Yüksek ↑ • Daha Düşük ↓ • Nadir
<p><u>Pulmoner</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tidal Volüm, L • Solunum Frekansı, soluk·dak⁻¹ • $\dot{V}E\text{peak}$, L·dak⁻¹ • Ventilatuvar Dürtü, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ eğimi • Ventilatuvar Verimlilik, $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Daha Düşük ↓ • Daha Yüksek ↑ • Daha Düşük ↓ • Daha Yüksek ↑ • Daha Düşük ↓
<p><u>Metabolik</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Yağ Oksidasyonu • Karbonhidrat Oksidasyonu • Zirve Kan Laktatı • Glikolitik Kapasite 	<ul style="list-style-type: none"> • Daha Yüksek ↑ • Daha Düşük ↓ • Daha Düşük ↓ • Daha Düşük ↓

2.10. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler

2.10.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Oksijen Tüketimi ($\dot{V}O_2$ - VO_{2maks})

Oksijen tüketimi (VO_2), hücrel oksijen gereksinimi tarafından belirlenir ve belirli bir düzeye kadar bu durum oksijen taşınmasının maksimal hızına eşitlenir. Bu noktadan sonra ise oksijen tüketimi söz konusu maksimal taşıma kapasitesi tarafından sınırlandırılır. Dışsal iş yükü arttıkça VO_2 de artar; ancak VO_2 'nin belirleyicilerinden biri veya birkaçı (örneğin, atım hacmi, kalp hızı ya da dokuların oksijen ekstraksiyonu) sınıra ulaştığında VO_2 ile iş yükü arasındaki doğrusal artış plato yapmaya başlamaktadır. VO_2 'de gözlenen bu plato, geleneksel olarak VO_{2maks} 'ın en güçlü kanıtı olarak kabul edilmektedir (123).

Oksijen tüketimi besinlerden elde edilen enerjinin hücrel düzeyde adenozin trifosfata (ATP) dönüştürülmesi için organizma tarafından dakikada kullanılan oksijen hacmi olarak tanımlanır ve genellikle mL/dk cinsinden ifade edilir. VO_2 , vücut yüzey alanı ve vücut kütlesi ile yakından ilişkilidir; ancak vücut yüzey alanındaki artış, kütle artışına kıyasla daha sınırlı olduğundan, relatif olarak vücut kütlesi daha belirleyici olmaktadır. Sağlıklı bir bireyde dinlenme koşullarında ortalama oksijen tüketimi 3–4 mL/kg/dk'dır ve bunun yaklaşık %80'i beyin, kalp, karaciğer ve böbrek gibi yüksek metabolik aktiviteye sahip organlar tarafından kullanılır (123).

Egzersiz sırasında VO_2 'deki artış, doğrudan iskelet kaslarının artan metabolik taleplerini yansıtmaktadır. Genç ve antrenmansız bireylerde egzersiz esnasında VO_2 , dinlenme düzeyinin 10–15 katına kadar yükselebilir. Bu fizyolojik adaptasyon hem kardiyak debinin artışı hem de arteriyovenöz oksijen farkının genişlemesi yoluyla sağlanarak sistemik oksijen kullanımının etkinliğini artırır (123).

VO_{2maks} , şiddeti kademeli olarak artırılan egzersiz testi sırasında iskelet kasları tarafından kullanılabilen en yüksek oksijen hacmi olarak tanımlanmakta ve fizyolojik açıdan pulmoner, kardiyovasküler ve nöromusküler sistemlerin bütünleşik işlevlerini yansıtmaları nedeniyle aerobik kapasitenin en temel göstergesi olarak kabul edilmektedir. VO_{2maks} düzeyi, bu sistemlerin entegrasyonuna ek olarak, oksijenin alveollerden dolaşıma, dolaşımdan ise periferik dokulara difüzyon hızı; oksijenin miyogloblin aracılığıyla kas hücresi mitokondrilerine taşınması ve mitokondriyal enzim aktivitesi gibi çok sayıda

fizyolojik sürece bağlıdır. Dolayısıyla, bu süreçlerin kapasite ve etkinliklerinin artması, bireyin VO_2 maks değerinin de daha yüksek olmasını sağlamaktadır (86).

Artan iş yükleriyle gerçekleştirilen kademeli egzersiz sırasında VO_2 , aktif iskelet kaslarının metabolik gereksinimlerini karşılamak üzere doğrusal bir artış gösterir ve bu artış VO_2 maks değerine ulaşıncaya kadar devam eder. VO_2 maks, yalnızca pulmoner, kardiyovasküler ve kas-iskelet sistemlerinin oksijen taşıma ve kullanım kapasitesinin bütüncül bir göstergesi olmakla kalmaz, aynı zamanda genel sağlık durumunun güvenilir bir biyobelirteci olarak da kabul edilmektedir (53).

İyi antrene sporcularda, VO_2 maks düzeyleri, sedanter bireylerde gözlemlenen değerlere kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olabilir; bu durum artmış atım hacmi, gelişmiş miyokard fonksiyonu ve iskelet kaslarında oksidatif metabolizma kapasitesinin artışı ile ilişkilidir. Buna karşılık, pulmoner, kardiyovasküler veya periferik vasküler hastalıklara sahip bireylerde VO_2 maks değerlerinin belirgin şekilde düşük olduğu görülmektedir (53).

2.10.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Pulmoner Ventilasyon (VE)

Pulmoner ventilasyon dakikada litre cinsinden ifade edilir ve akciğerlere girip çıkan hava hacmini gösterir. Solunum hızının her solunum döngüsünde (tidal hacim) solunan hava hacmi ile çarpılmasıyla hesaplanır. Dinlenme halinde 7 ila 9 L/dak arasında havalandırma sağlanır, ancak sporcularda bu değer maksimum efor sırasında 200 L/dakikaya kadar ulaşabilir. Ventilasyon, KPET sırasında sürekli olarak artar ve laktik asit birikimi sonucunda oluşan anaerobik metabolizmadan etkilenerek ek artışlar gösterir (130).

Bu süreçte, iki önemli ventilatuvar eşik (birinci ve ikinci ventilatuvar eşik) tanımlanır;

- Birinci ventilatuvar eşik (VT1): Anaerobik eşiğin başladığı nokta olup, vücut enerji ihtiyacını karşılamak için oksijenin yanı sıra laktik asit üretmeye başlar. Bu, ventilasyonda ilk belirgin artışa neden olur.
- İkinci ventilatuvar eşik (VT2): Laktik asit birikimi daha da hızlanır ve vücut bu asidi tamponlamaya çalışırken ventilasyon hızında daha keskin bir artış meydana gelir. Bu eşik, genellikle yoğun ve sürdürülebilir aerobik egzersizin sınırını belirtir (130).

2.10.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı (HR) ve Kardiyak Rezervi (HRR)

Egzersize karşı kardiyovasküler sistemin en hızlı yanıtı, vagal tonusun azalmasına bağlı olarak kalp atım hızındaki artışla ortaya çıkmaktadır. Kalp hızındaki bu yükselişi, kalp ve sistemik damarlar üzerinde sempatik uyarının artışı takip etmektedir. Dinamik egzersiz sürecinde kalp atım hızı, uygulanan iş yükü ve oksijen tüketimi (VO_2) ile doğrusal bir artış göstermektedir. Düşük şiddetteki egzersizlerde ve sabit çalışma hızında, kalp atım hızı birkaç dakika içerisinde dengeye ulaşırken, artan iş yüküyle birlikte bu dengeye ulaşma süresi kademeli olarak uzamaktadır (49).

Kalp atım hızı, bireyin yaşıyla ters orantılı bir özellik göstermektedir. Egzersizin başlamasıyla birlikte kalp hızı, uygulanan egzersiz şiddeti doğrultusunda belirli bir düzeye kadar artış göstermektedir. Ancak bu düzeyin ötesinde, egzersiz yoğunluğu artsa dahi kalp hızında ek bir yükselme meydana gelmemektedir. Bu noktada ulaşılan değer, maksimal kalp hızı olarak tanımlanmaktadır. Maksimal kalp hızının tahmini ise genellikle “ $220 - \text{yaş}$ ” formülü kullanılarak yapılmaktadır (83).

Kalp hızını etkileyen faktörler çeşitli başlıklar altında değerlendirilebilir. Bu faktörler arasında bireyin vücut pozisyonu, uygulanan egzersizin türü, mevcut fiziksel koşullar, sağlık durumu, dolaşımdaki kan hacmi, sinüs düğümü fonksiyonları, kullanılan ilaçlar ve çevresel etmenler yer almaktadır (83).

Kalp rezervi, kalp debisinin istirahat düzeyinin üzerine çıkabileceği en yüksek yüzde oranı olarak tanımlanmaktadır. Sağlıklı genç bireylerde bu değer genellikle %300–400 civarında iken, düzenli antrenman yapan elit sporcularda %500–600’e kadar ulaşabilmektedir. Buna karşın kalp yetersizliği olan bireylerde rezervin bulunmadığı kabul edilmektedir. Yoğun egzersiz sırasında kalp debisinin yaklaşık beş kat artması, yaklaşık %400’lük bir artışa karşılık gelmekte ve bu da kalp rezervinin %400 seviyelerine ulaştığını göstermektedir (130).

Kalbin yeterli miktarda kan pompalamasını engelleyen her durum, kalp rezervinde azalmaya yol açmaktadır. Bu durum; iskemik kalp hastalıkları, primer miyokardiyal bozukluklar, vitamin eksiklikleri, miyokard hasarları, kapak hastalıkları ve benzeri birçok patolojik nedenden kaynaklanabilmektedir. Kalp rezervi düşük olan bireyler, istirahat hâlinde genellikle herhangi bir belirti göstermediklerinden kardiyak yetersizliklerinin

farkına varmayabilirler. Ancak kalbin iş yükü arttığında, sınırlı rezerv hızla tükenmekte ve kalp debisi, organizmanın yeni aktivite düzeyini sürdürebilmesi için gerekli olan seviyeye ulaşamamaktadır (130).

2.10.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Solunum Değişim Katsayısı (RER)

Solunum değişim katsayısı, metabolik süreçler sonucunda üretilen CO₂ hacmi ile tüketilen oksijen hacmi arasındaki ilişkiyi gösteren bir parametredir. Matematiksel olarak $RER = VCO_2/VO_2$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bu parametrenin ölçülmesi, organizmanın enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla hangi substratı (örneğin, karbonhidrat veya yağ) metabolize ettiğini ortaya koyan solunum katsayısının dolaylı olarak tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır (131).

RER, egzersiz veya metabolik süreçlerde baskın olarak kullanılan enerji substratına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. RER değerinin 0.7 olması, yağların başlıca enerji kaynağı olarak kullanıldığını; 1.0 değerinin karbonhidratların baskın substrat olduğunu; 0.7 ile 1.0 arasındaki değerlerin ise yağ ve karbonhidrat metabolizmasının birlikte katkı sağladığını göstermektedir. Genel olarak, karma bir diyetin enerji metabolizmasına karşılık gelen RER değeri yaklaşık 0.8'dir (132).

Yoğun egzersiz sırasında solunum değişim oranı (RER) 1.0 değerini aşabilir ve bu eşik üzerindeki değerler substrat metabolizmasına değil, bikarbonat tamponlanması ile ilişkili faktörlere atfedilir (83).

2.10.5. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı Toparlanma İndeksi (KHTİ)

Kalp hızı toparlanması, egzersizin sonlandırılmasını takiben ilk birkaç dakika içerisinde kalp atım hızında meydana gelen azalma hızı olarak tanımlanmaktadır. Bu toparlanma süreci, hızlı ve yavaş olmak üzere iki ayrı fazdan oluşmaktadır. Egzersizin bitirilmesiyle birlikte kalp hızında keskin bir düşüş gerçekleşir ve bu evre hızlı faz olarak adlandırılır. Ardından kalp hızı, başlangıç seviyesine ulaşmaya kadar kademeli bir şekilde azalmaya devam eder; bu süreç ise yavaş faz olarak tanımlanmaktadır (133).

Sağlıklı bireylerde maksimal egzersizi takiben gerçekleşen kalp hızı toparlanması, submaksimal egzersizden sonraki toparlanmaya kıyasla daha yavaş ilerlemektedir. Bu

durum, maksimal egzersiz sırasında sempatik sinir sisteminin baskın rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, egzersiz sonrası KHTİ süreci yalnızca otonom sinir sistemi ile çeşitli hormonal faktörler arasındaki karmaşık etkileşimi yansıtmakla kalmayıp, aynı zamanda egzersizle indüklenen otonomik kontrol bozuklukları hakkında da önemli veriler sunmaktadır (134).

KPET ile elde edilen veriler, egzersizin sonlandırılmasını takiben ilk dakika içerisinde gerçekleşen kalp atım hızı düşüşünün bireyler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Egzersiz sonrası hızlı KHTİ, yalnızca bireyin atletik performansı hakkında önemli ipuçları sunmakla kalmaz; aynı zamanda kardiyak fonksiyonların farklı yoğunluk ve aralıklardaki fiziksel aktivitelere uyumunu değerlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Buna ek olarak, söz konusu ölçümler antrenman düzeyi, egzersize bağlı yorgunluk, aşırı yüklenme ve dehidratasyon hakkında da değerli bilgiler sağlamaktadır (135).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulunun 07.03.2025 tarih ve 24237859-168 sayılı yazısı ile onaylanmıştır (Ek 1).

3.2. Çalışmaya Katılan Kişilerin Seçimi

Çalışmaya Trabzonspor Özkan Sümer Futbol Akademisi'nde aktif olarak antrenman yapan, 15-17 yaş aralığında 20 (erkek) genç sporcu katıldı. Sporcular üzerinde gerçekleştirilecek KPET uygulaması için katılımcı seçiminde, sporcu kimlikleri ile birlikte saha içerisindeki pozisyonları da dikkate alındı.

Çalışmaya dâhil edilen genç sporculara, uygulamalara başlanmadan önce uygunluk değerlendirmesi yapıldı ve bilgilendirilmiş onam formları imzalatıldı. Böylelikle olası risk durumlarının bulunmadığı teyit edilerek gönüllü katılımları sağlandı.

3.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu

Çalışmada kardiyopulmoner egzersiz testi, sporcuların parametrelerini belirlemek amacıyla maksimal düzeyde uygulandı. Testin yüksek yoğunlukta gerçekleştirilmesi nedeniyle, olası riskleri en aza indirmek amacıyla katılımcılardan ayrıntılı sağlık ve yaşam alışkanlıklarına ilişkin bilgiler toplandı. Bu kapsamda, bireylerin kardiyovasküler veya genetik kökenli hastalık öyküsü, astım gibi kronik rahatsızlıkları, düzenli antrenman geçmişi, fiziksel ya da zihinsel engel durumu, sigara, alkol, uyuşturucu veya sedatif madde kullanımı ile birlikte kullandıkları ilaçlara dair bilgiler sorgulandı ve bu bilgileri içeren bir form doldurmaları sağlandı. Bu form Ek 2'de mevcuttur. Katılımcılar, formu kendi rızalarıyla imzalayarak herhangi bir risk grubunda olmadıklarını beyan ettikten sonra sporcular egzersiz testine alındı.

3.4. Bilgilendirilmiş Onam Formu

Egzersiz testine katılacak sporculara, uygulanacak test protokolü, yapılacak ölçümler ve süreç boyunca karşılaşılabilecek olası riskler hakkında kapsamlı bilgi sağlandı. Katılımcıların haklarını korumak ve sürece bilinçli olarak dâhil olmalarını temin etmek amacıyla, bilgilendirilmiş onam formu kendilerine sunuldu ve teste başlamadan önce dikkatlice okumaları istendi. Bu form hem çalışmanın amacını ve yöntemlerini hem de test

esnasında ortaya çıkabilecek potansiyel risk ve yararları ayrıntılı şekilde açıklamaktadır. Sporcular, içerik hakkında gerekli bilgilendirmeyi aldıktan sonra formu imzalayarak çalışmaya gönüllü olarak katılım gösterdi. Bilgilendirilmiş onam formu Ek 3'te sunulmaktadır.

3.5. Çalışma Tasarımı

Çalışmaya başlanmadan önce, araştırmanın amacı ve kapsamı sporculara ayrıntılı biçimde açıklandı. Laboratuvar ortamı, uygulanacak test protokolleri ve kullanılacak ekipmanlar hakkında detaylı bilgilendirme yapılarak olası endişelerin en aza indirilmesi sağlandı. Ayrıca sporcular, çalışmanın olası faydaları ile birlikte karşılaşılabilecek potansiyel riskler ve yan etkiler konusunda kapsamlı biçimde bilgilendirildi. Egzersiz testlerinin gerçekleştirildiği laboratuvar ortamında sıcaklık 20–22 °C aralığında, bağıl nem ise %40–60 aralığında sabit tutuldu.

Sporcular, sahadaki oynadıkları pozisyonlar dikkate alınarak her biri 10'ar kişiden oluşan “soğutma grubu” ve “kontrol grubu” olmak üzere iki gruba ayrıldı. Egzersiz testine başlamadan önce tüm katılımcıların vücut sıcaklıkları ölçülerek kayıt altına alındı. Sporcular belirlenen çalışma dizaynına uygun olarak önce spirometri testine daha sonrasında ise KPET testine alındı. Testin tamamlanmasını takiben, her iki gruptaki sporcuların vücut sıcaklıkları yeniden ölçülerek kaydedildi ve 15 dakikalık bir dinlenme periyodu uygulandı.

Dinlenme sürecinde, soğutma grubundaki sporculara önceden soğutulmuş bir soğutma yeleği giydirilerek oda sıcaklığında bekletilen su içmeleri sağlanırken, kontrol grubundaki sporculara yalnızca su içme imkânı verildi. Egzersiz sırasında sporcuların algıladıkları efor düzeyini belirlemek amacıyla Borg skalası kullanılarak veriler kaydedildi.

Dinlenme süresi sonrasında sporcular ikinci bir KPET için hazırlanarak teste alınmadan önce vücut sıcaklıkları tekrar ölçülüp kaydedildi. Aynı protokol doğrultusunda ikinci KPET gerçekleştirildi ve testin tamamlanmasının ardından sporcuların vücut sıcaklıkları bir kez daha ölçülerek kayıt altına alındı. Çalışmanın çapraz tasarım özelliği kapsamında, bir hafta sonra gruplar yer değiştirerek (çaprazlanarak) aynı laboratuvar koşullarında ve aynı test protokolleri uygulanmak suretiyle yeniden ölçümler gerçekleştirildi ve sonuçlar sistematik biçimde kaydedildi.

3.6. Ölçümler

3.6.1. Vücut Kitle İndeksi

Vücut kitle indeksi, bireyin kilogram cinsinden vücut ağırlığının metre cinsinden boy uzunluğunun karesine oranı olarak tanımlanmakta olup çalışmada VKİ ölçümleri Tanita Body Composition Analyzer TBF-300 (FEED) marka cihaz kullanılarak hesaplandı.

Ölçümlerin doğruluğunu sağlamak amacıyla katılımcıların testten en az üç saat önce yemek yememeleri, mesanelerinin mümkün olduğunca boş olması ve üzerinde metal içerikli takı ya da aksesuar bulundurmamaları sağlandı. Ölçüm esnasında cihazın metal aksamı temizlenmiş olup, katılımcıların çoraplarını çıkarmaları ve ayaklarının topuk ile parmak uçlarının cihazın metal yüzeyine tam temas etmesi sağlanarak gerekli uyarılar yapıldı. Katılımcıların yalın ayak cihaz üzerinde sabit durmaları istendi ve bu koşullar altında vücut kompozisyonuna ilişkin ölçümler standart prosedürlere uygun biçimde gerçekleştirildi.

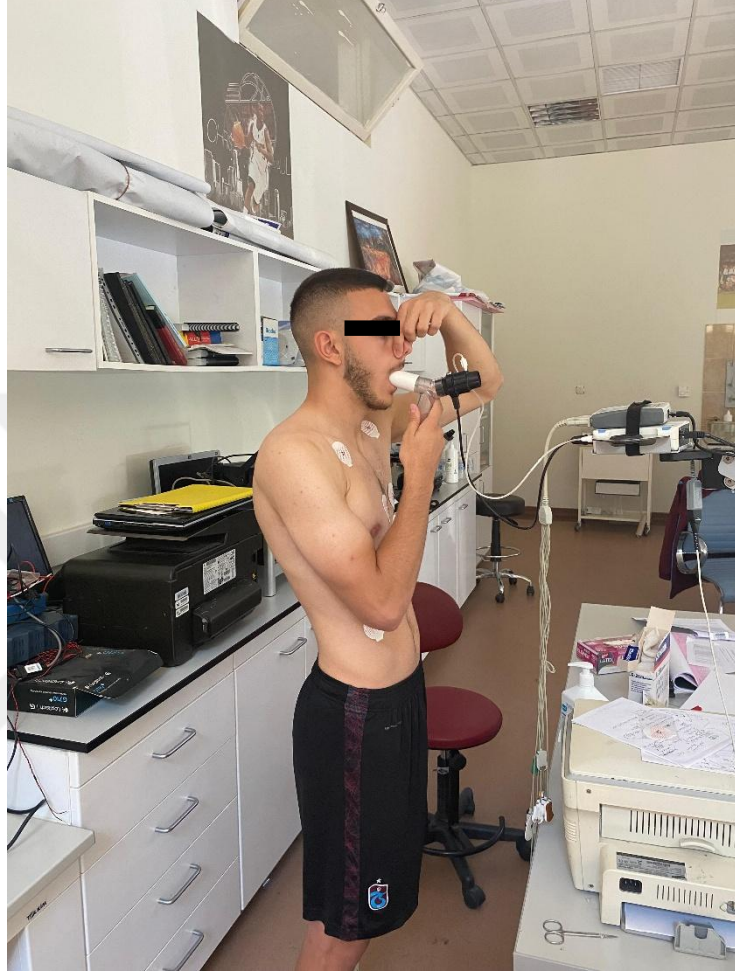
3.6.2 Spirometre Testi

Spirometre testi, “Masterscreen” marka (O_2 ve CO_2) gaz analizatörü ile Lab Manager 4.0 yazılım programının spirometre modülü kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçüm öncesinde katılımcılardan birkaç kez yüzeysel solunum yapmaları istendi. Ardından, maksimum düzeyde soluk alıp akciğerlerinde hiç hava kalmayacak şekilde hızlı ve güçlü bir biçimde ekspirasyon yapmaları talep edildi. Testin doğruluğunu ve katılımcının performansını artırmak amacıyla sözlü teşvik uygulanarak sporcuların motivasyonu sağlandı. Ek olarak, ölçüm sırasında hava kaçağını önlemek için sporculardan kullanmadığı eliyle burun deliklerini kapatması istendi. Uyum sağlamakta güçlük çeken bazı katılımcılara ise test, güvenilir sonuç elde edilebilmesi amacıyla 2–3 kez tekrar ettirildi.

3.6.3. Vücut Sıcaklığı Ölçümü

Vücut sıcaklığı ölçümü, her egzersiz testi öncesinde ve sonrasında olmak üzere iki farklı zaman noktasında gerçekleştirildi. Ölçümlerde, gövde vücut ısısının tahmini için Braun ThermoScan ExacTemp IRT 4520 (Braun, South Boston, MA) marka timpanik termometre tercih edildi. Bu yöntem, non-invaziv, hızlı ve uygulama kolaylığı sağlaması nedeniyle sporcularda egzersiz öncesi ve sonrası karşılaştırmalar için tercih edildi. Ölçümler, katılımcıların her test protokolüne başlamadan hemen önce ve testin tamamlanmasının

ardından derhal yapılarak kaydedildi. Böylece, uygulanan egzersiz protokollerinin ve soğutma stratejilerinin vücut sıcaklığı üzerindeki etkileri sistematik olarak takip edildi.



Resim 1. Spirometri testi gerçekleştiren örnek sporcu

3.6.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi

Kardiyopulmoner egzersiz testi öncesi katılımcılara laboratuvar ortamı, uygulanacak test protokolleri ve kullanılacak tüm ekipmanlar hakkında ayrıntılı bilgilendirme yapılarak olası kaygılar en aza indirildi ve katılımcıların teste uyum sağlamaları kolaylaştırıldı. Egzersiz testlerinin gerçekleştirildiği laboratuvar koşulları standartlaştırılmış olup ortam sıcaklığı 20–22°C aralığında sabit tutuldu. Ayrıca, çevresel faktörlerin test sonuçları üzerindeki potansiyel etkilerini kontrol altına almak amacıyla, laboratuvarın bağıl nem oranı %40–60 aralığında korundu ve sıcaklık ile nem değerleri her test günü düzenli olarak ölçülerek kayıt altına alındı.

Etik kurulun önerileri doğrultusunda, çalışmanın tüm aşamaları ve amacı katılımcılara ayrıntılı olarak açıklandıktan sonra, 18 yaşın altındaki sporcuların ailelerinden bilgilendirilmiş onam formları alındı. Sporculardan, test öncesinde metodolojik standardizasyonun sağlanabilmesi amacıyla, en az 24 saat süreyle ağır fiziksel aktiviteden kaçınmaları, düzenli olarak devam ettikleri antrenman programına test öncesi ara vermeleri, egzersizden 3 saat öncesine kadar yemek tüketmemeleri, rahat ve egzersize uygun kıyafetler giymeleri ve test günü öncesinde en az 6 saatlik uyku uyumaları istendi. Testler 4 gün süreyle sabah 10:00 ile öğleden sonra 16:00 arasında yapıldı ve çapraz geçiş tasarımını uygulamak için gruplar çaprazlandıktan sonra 1 hafta sonra birinci ölçümlerdeki aynı ortam sağlanarak test tekrar edildi.

Çalışmaya dahil edilecek kişilerin 15-17 yaş arasında olup haftanın 6 günü düzenli olarak antrenmanlara devam etmesi çalışmaya dahil edilme kriteri olarak kabul edilirken, sporcuların yaralanma nedeniyle antrenmana katılım sağlayamaması, kardiyovasküler ve solunum sistemi rahatsızlığı olması (unstabil angina pectoris, 2-3. derece blok, atriyum ve ventriküllerde gelişen ani ritim bozuklukları, fiziksel engel, ciddi aort stenozu, konjestif kalp yetmezliği vb.), aile öyküsünde kardiyovasküler geçmişe sahip olması, eforla birlikte artan şikâyet bulgusu olması, soğuk uygulamalara karşı alerjik reaksiyon veya hassasiyet gösteren sporcular dahil edilmeme kriteri olarak belirlendi.

Kardiyopulmoner egzersiz testi, kardiyopulmoner egzersiz ünitesinde gerçekleştirildi. Test sırasında VIA Sprint 150P marka bisiklet ergometresi, bilgisayara entegre edilebilen QRS-card sistemi, 12 derivasyonlu EKG cihazı (Cardinal Health, Norristown, ABD), pulse oksimetre, ergospirometre, kardiyopulmoner egzersiz test ünitesi ve Lab Manager 4.0 yazılım programı kullanıldı. Egzersiz süresince her iki dakikada bir kan basıncı ölçümü Ergoline marka tansiyon aleti ve Ergoline monitör aracılığıyla yapıldı. Ayrıca EKG kayıtları anlık olarak izlenerek, herhangi bir patolojik bulgunun varlığı sürekli olarak kontrol edildi. Egzersiz testinde kullanılacak gaz maskesi sporculara özel olarak test öncesi ve testin hemen ardından sterilize edildi. Bunun yanı sıra, her ölçüm öncesinde gaz analizatörlerinin doğruluğunu sağlamak amacıyla cihazlar hem atmosfer havası hem de bileşimi önceden bilinen standart gaz karışımları ile kalibrasyona tabi tutuldu.

Kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında, testi sonlandırmayı gerektirecek herhangi bir klinik bulgu ortaya çıkmadığı sürece, protokol sporcuların bireysel dayanıklılıklarının ulaştığı en yüksek seviyeye kadar devam ettirildi. Uygulanan test protokolü, her katılımcı

için iş yükünün kademeli olarak artırıldığı ve ventilatuvar ile gaz değişim parametrelerinin “Breath-by-breath” yöntemi ile kaydedildiği şekilde yapılandırıldı. Testin başlangıç aşamasında, 5 dakika süreyle 20 Watt’lık sabit iş yükünde bir ısınma evresi gerçekleştirildi.

Sporculardan, pedal direnci elektronik olarak ayarlanabilen bir bisiklet ergometresinde, maksimal kardiyopulmoner egzersiz testini tamamlamaları istendi. Test, 30 W/dk yük artışıyla şiddeti kademeli olarak artırılan rampa protokolünde, dakikada 60 devir hızında pedal çevirerek uygulandı. Katılımcılar, pedal çevirme hızının >40 rpm seviyesinde sürdürülemez düzeyde yorgunluğa ulaşana kadar egzersize devam ettiler.

Tükenme noktasına ulaşan sporcu, elini kaldırarak daha fazla testi devam ettiremeyeceğini belirtince test sonlandırıldı. Maksimum egzersiz sonrası, sporcuların toparlanma ve soğuma süreci için 5 dakika boyunca dakikada 30 devir hızında ve 20 W gücünde pedal çevirmeye devam etmeleri sağlandı. Toparlanma periyodu RER değeri 1.00’in altına ve/veya kalp atımı 100 atım/dk’nın altına inene kadar devam ettirildi. Testin tamamlanmasının ardından, soğutma grubundaki sporculara önceden ayarlanmış soğutma yeleği giydirildi ve oda sıcaklığında su içmeleri sağlanarak 15 dakikalık bir dinlenme periyodu uygulandı. Kontrol grubundaki sporcular ise yalnızca oda sıcaklığında su içerek aynı süre boyunca dinlendirildi. Dinlenme süresinin bitiminde ikinci bir KPET gerçekleştirildi. Çapraz geçiş tasarımının uygulanabilmesi için, bir hafta sonra gruplar yer değiştirilerek aynı protokol ve laboratuvar koşulları altında testler yeniden tekrarlandı.

3.6.5. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri

Maksimal yükte uygulanan kardiyopulmoner egzersiz testinin tamamlanmasının hemen ardından katılımcılara dirençsiz bir şekilde pedal çevirmeleri istenerek 5 dakikalık aktif toparlanma süreci sağlandı. Bu süre boyunca kalp atım hızı, 12 derivasyonlu elektrokardiyogram (VIASYS Healthcare, Norristown, ABD) aracılığıyla sürekli ve anlık olarak kaydedildi. Toparlanma dönemindeki kalp hızı ölçümleri 30 saniyelik aralıklarla yapıldı. Kalp hızı toparlanma indeksi (KHTİ), zirve egzersiz kalp hızından, toparlanma periyodunda 30’ar saniyelik aralıklarla kaydedilen toparlanma kalp hızı (TKH) değerlerinin çıkarılmasıyla hesaplandı (KHTİ₁, KHTİ₂, ..., KHTİ₁₀). Bu şekilde 5 dakikalık toparlanma süreci 10 ayrı bölüm halinde değerlendirildi.

$KHT\dot{I}_1 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 1}$

$KHT\dot{I}_2 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 2}$

$KHT\dot{I}_3 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 3}$

$KHT\dot{I}_4 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 4}$

$KHT\dot{I}_5 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 5}$

$KHT\dot{I}_6 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 6}$

$KHT\dot{I}_7 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 7}$

$KHT\dot{I}_8 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 8}$

$KHT\dot{I}_9 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 9}$

$KHT\dot{I}_{10} = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı Değeri 10}$

Toparlanma dönemindeki solunum değişim katsayısı (RER) değerleri, kalp hızı ölçümlerinde olduğu gibi 30'ar saniyelik aralıklarla ölçüldü. Maksimal egzersiz testinin sonlanmasında elde edilen değer RER_1 olarak, 30. saniyede ölçülen değer RER_2 olarak adlandırıldı ve bu şekilde devam ederek ölçümler 300. saniyeye kadar yapıldı. Bu şekilde toparlanma periyodu toplamda 11 bölüm halinde değerlendirildi.

$RER_1 = \text{Maksimal Yükte Egzersizin Sonlandırılmasının Ardından RER Değeri}$

$RER_2 = \text{Toparlanma Periyodunun 30. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_3 = \text{Toparlanma Periyodunun 60. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_4 = \text{Toparlanma Periyodunun 90. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_5 = \text{Toparlanma Periyodunun 120. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_6 = \text{Toparlanma Periyodunun 150. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_7 = \text{Toparlanma Periyodunun 180. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_8 = \text{Toparlanma Periyodunun 210. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_9 = \text{Toparlanma Periyodunun 240. Saniyesinde RER Değeri}$

$RER_{10} = \text{Toparlanma Periyodunun 270. Saniyesinde RER Değeri}$

RER₁₁ = Toparlanma Periyodunun 300. Saniyesinde RER Değeri



Resim 2. Bisiklet ergometresi üzerinde KPET uygulanan örnek sporcu

3.6.6. Soğutma Uygulaması

Soğutma uygulaması, ön yüzeyinde iki ve arka yüzeyinde dört olmak üzere toplam altı soğutma paketi yerleştirmeye uygun özel cepleri bulunan Cooling Vest (Pangtiku, ABD) marka soğutma yeleği ile geręekleřtirildi. Her biri 14.5 × 32 cm boyutlarında olan bu soğutma paketleri, uygulamadan önce -20 °C sıcaklıktaki soğutma kabında muhafaza edildi. Testin güvenilirliğini ve standardizasyonunu sağlamak amacıyla, her uygulama öncesinde kullanılan paketler daha önce aynı koşullarda bekletilmiş altı yedek soğutma paketi ile değiştirildi. Bu yöntem, soğutma protokolü boyunca yeleğin her zaman aynı sıcaklıkta kalmasını ve tüm katılımcılara eşit koşulların sağlanmasını mümkün kıldı.



Resim 3. Soğutma yeleği ve paketlerinin görüntüsü ile kardiyopulmoner egzersiz testi sonrası sporcuda uygulanması



Resim 4. Soğutma yeleği uygulamasının ardından sporcunun ikinci KPET öncesinde vücut yüzeyinde oluşan görünümü

3.7. Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği

Katılımcıların egzersiz sonrası algılanan yorgunluk düzeylerini değerlendirmek için İsveçli araştırmacı Gunnar Borg tarafından geliştirilen Borg Algılanan Efor Derecelendirme Ölçeği (RPE, 6–20) kullanıldı. Bu ölçek, bireylerin egzersiz sırasında hissettikleri çaba, nefes darlığı ve kas yorgunluğunu öznel olarak ifade etmelerine olanak tanıdı. Sporcular, KPET sonrasında hissettikleri yorgunluğu bu skala üzerinden değerlendirdi.

3.8. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler; kategorik değişkenler için frekans ve yüzde değerleri, sayısal değişkenler için ise ortalama, standart sapma, medyan ve persantil değerleri ile sunulmuştur. Çalışmadaki gözlem sayısı $n=20 < 30$ olduğundan parametrik test varsayımı sağlanmamaktadır. Parametrik testlerin uygulanabilmesi için normal dağılım varsayımının karşılanması ve gözlem sayısının en az 30 olması gerekmektedir. Bu nedenle, araştırmada ilişkili iki ölçüm grubuna ait test sonuçları arasındaki farkın anlamlılığını değerlendirmek amacıyla parametrik olmayan testlerden Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi kullanılmıştır. Bağımsız iki grupta sayısal değişkenlerin (gruplar arası) karşılaştırılmasında non-parametrik test olan Mann-Whitney U Testi uygulandı.

Analiz sonucunda elde edilen partial eta squared (η^2) değerleri etki büyüklüğünün belirlenmesinde kullanıldı. Partial eta squared değerleri $\eta^2 > 0.06$ için orta, $\eta^2 > 0.14$ için ise geniş etki büyüklüğü olarak yorumlandı. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde %5'in altında tip 1 hata düzeyi anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1. Tanımlayıcı Veriler (Yaş, Boy, Kilo, Vücut Kitle İndeksi)

Soğutma grubu ve kontrol grubunda yer alan sporcuların tanımlayıcı özellikleri yaş, boy, vücut ağırlığı ve vücut kitle indeksi (VKİ) parametreleri üzerinden değerlendirildi. Söz konusu ölçümler, kardiyopulmoner egzersiz testi uygulanmadan önce her bir sporcudan yalnızca bir kez alınarak kaydedildi.

Bu tez çalışmasında soğutma grubu sporcularına (n=10) ait yaş, boy, kilo, VKİ verileri ölçüldü. Elde ettiğimiz verilere göre soğutma grubuna ait yaş, boy, kilo, VKİ verileri sırasıyla 15.6 ± 0.7 yıl, 177.1 ± 5.6 cm, 64.5 ± 6.2 kg, 20.5 ± 1.2 kg/m² olarak belirlendi.

Bu tez çalışmasında kontrol grubu sporcularına (n=10) ait yaş, boy, kilo, VKİ verileri ölçüldü. Elde ettiğimiz verilere göre soğutma grubuna ait yaş, boy, kilo, VKİ verileri sırasıyla 15.5 ± 0.7 yıl, 178.2 ± 3.4 cm, 67.1 ± 4.4 kg, 21.1 ± 0.9 kg/m² olarak belirlendi.

Yaş ortalamaları bakımından soğutma ve kontrol grubundaki sporcular arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. Boy uzunlukları açısından soğutma ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadı. Kilo değerleri bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Vücut kitle indeksi değerleri açısından soğutma ve kontrol grubundaki sporcular arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

4.2. Vücut Sıcaklığı Değerleri

Çalışmaya katılan sporcuların vücut sıcaklığı ölçümleri, birinci ve ikinci KPET öncesi ve sonrası olmak üzere dört farklı zaman noktasında kaydedildi.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.8 ± 0.2 °C, birinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 37.8 ± 0.3 °C olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.9 ± 0.3 °C, ikinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 37.7 ± 0.4 °C olarak tespit edildi.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.8 ± 0.2 °C, birinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 37.9 ± 0.4 °C olarak tespit edildi. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 37.4 ± 0.4 °C, ikinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 38.3 ± 0.3 °C olarak tespit edildi.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubundaki sporcular için (n=10) birinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.8 ± 0.1 °C, birinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 38.0 ± 0.1 °C olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.8 ± 0.2 °C, ikinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 37.8 ± 0.3 °C olarak tespit edildi.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 36.9 ± 0.2 °C, birinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 38.1 ± 0.3 °C olarak tespit edildi. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test öncesi vücut sıcaklığı değeri 37.5 ± 0.3 °C, ikinci test sonrası vücut sıcaklığı değeri 38.5 ± 0.1 °C olarak tespit edildi.

Bu tez çalışmasında birinci test için grup içi karşılaştırmalar incelendiğinde, hem soğutma grubunda hem de kontrol grubunda sporcuların birinci ve ikinci KPET testleri öncesi ile sonrası vücut sıcaklığı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda ise soğutma ve kontrol grubundaki sporcuların birinci test öncesi ve sonrası ile ikinci test sonrası vücut sıcaklığı değerleri arasında anlamlı bir fark görülmezken; ikinci test öncesi vücut sıcaklığı değerlerinin soğutma grubunda, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edildi ($p<0.05$).

Gruplar çapraz-geçiş tasarımı kapsamında yer değiştirdikten sonra grup içi karşılaştırmalar incelendiğinde hem soğutma grubunda hem de kontrol grubunda sporcuların birinci ve ikinci KPET testleri öncesi ile sonrası vücut sıcaklığı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda ise soğutma ve kontrol grubundaki sporcuların birinci test öncesi ve sonrası vücut sıcaklığı değerleri arasında anlamlı bir fark görülmezken; ikinci test öncesi ve sonrası vücut sıcaklığı değerlerinin soğutma grubunda, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edildi (sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.01$).

4.3. Kalp Hızı ve Kardiyak Rezerv Değerleri

Çalışmaya katılan sporculara ait kalp hızı ve kardiyak rezerv değerleri (HRR) test başlangıcında, anaerobik eşikte ve maksimum iş yükünde hesaplandı.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında kalp hızı değeri 77.3 ± 7.9 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 165.3 ± 3.1 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 190.6 ± 2.9 atım/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından

yapılan ikinci test başlangıcında kalp hızı değeri 79.7 ± 7.7 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 165.6 ± 2.8 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 191.0 ± 2.2 atım/dk olarak bulundu.

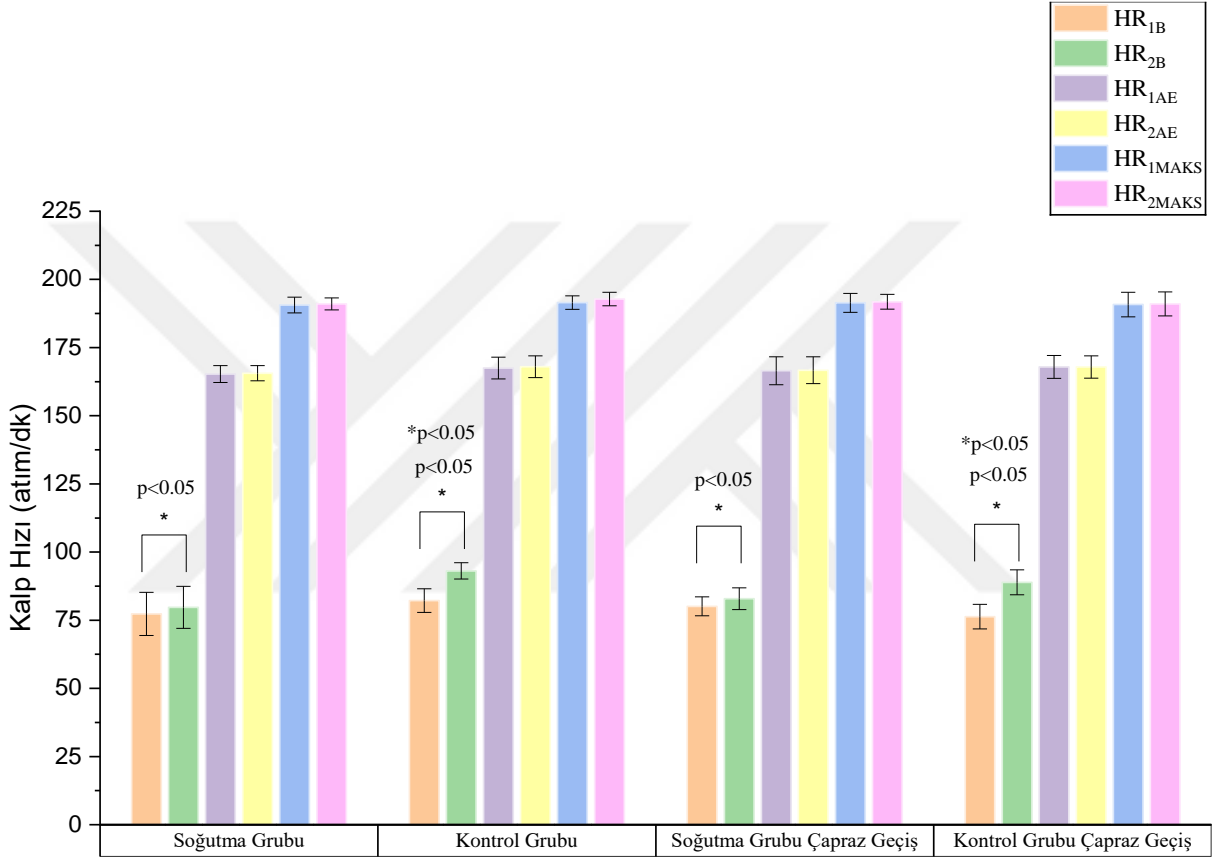
Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında kalp hızı değeri 82.2 ± 4.3 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 167.5 ± 4.0 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 191.5 ± 2.5 atım/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcında kalp hızı değeri 93.1 ± 3.0 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 168.0 ± 4.0 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 192.8 ± 2.5 atım/dk olarak bulundu.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubundaki sporcular (n=10) için birinci test başlangıcında kalp hızı değeri 80.1 ± 3.5 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 166.5 ± 5.1 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 191.4 ± 3.5 atım/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test başlangıcında kalp hızı değeri 82.9 ± 4.0 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 166.7 ± 4.9 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 191.8 ± 2.7 atım/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında kalp hızı değeri 76.3 ± 4.5 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 167.9 ± 4.2 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 190.8 ± 4.5 atım/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcında kalp hızı değeri 88.9 ± 4.6 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 167.9 ± 4.1 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 191.0 ± 4.4 atım/dk olarak bulundu.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, hem soğutma hem de kontrol grubunda sporcuların birinci ve ikinci test başlangıç kalp hızı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı ($p < 0.05$). Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra yapılan değerlendirmelerde de benzer şekilde her iki grupta birinci ve ikinci test başlangıç kalp hızı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı ($p < 0.05$). Anaerobik eşikteki kalp hızı değerleri ile maksimal yükteki kalp hızı değerleri açısından ise hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Gruplar arası karşılaştırmalarda ise hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrası uygulamada, birinci test başlangıç kalp hızı değerleri ile her iki testteki anaerobik eşik ve maksimal yük kalp hızı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken her iki uygulamada ikinci test başlangıç kalp hızı değerleri bakımından kontrol grubunun, soğutma grubuna kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi (ilk uygulamada $p<0.01$, çapraz-geçiş sonrası $p<0.05$).



Şekil 8. KPET sonrasında soğutma ve kontrol gruplarının ilk uygulama ve çapraz-geçiş sonrası testlerde başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yükteki kalp hızı değerleri. HR_{1B}: 1.Test başlangıç kalp hızı. HR_{2B}: 2.Test başlangıç kalp hızı. HR_{1AE}: 1.Test anaerobik eşik kalp hızı. HR_{2AE}: 2.Test anaerobik eşik kalp hızı. HR_{1MAKS}: 1.Test maksimal kalp hızı. HR_{2MAKS}: 2.Test maksimal kalp hızı. * $p<0.05$: Gruplar arası değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında HRR değeri 107.4 ± 22.9 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 34.9 ± 5.1 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 14.7 ± 6.0 atım/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test başlangıcında HRR değeri 96.7 ± 10.8 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 33.2 ± 6.4 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 13.6 ± 5.2 atım/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında HRR değeri 110.0 ± 7.0 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 35.4 ± 5.0 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 14.4 ± 5.2 atım/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcında HRR değeri 94.4 ± 12.4 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 28.4 ± 4.8 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 10.9 ± 3.7 atım/dk olarak bulundu.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubundaki sporcular (n=10) için birinci test başlangıcında HRR değeri 107.9 ± 7.9 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 35.4 ± 5.0 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 14.4 ± 5.2 atım/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test başlangıcında HRR değeri 101.4 ± 10.9 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 35.1 ± 5.2 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 13.1 ± 3.7 atım/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcında HRR değeri 109.0 ± 12.6 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 34.9 ± 5.1 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 14.7 ± 6.0 atım/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcında HRR değeri 101.2 ± 8.0 atım/dk, anaerobik eşikte HRR değeri 28.2 ± 3.9 atım/dk, maksimal yükte HRR değeri 11.8 ± 2.6 atım/dk olarak bulundu.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında kontrol grubunda sporcuların birinci ve ikinci test başlangıç HRR değerleri ile anaerobik eşikteki HRR değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı (sırasıyla $p < 0.05$ ve $p < 0.05$). Bununla birlikte, her iki uygulamada da kontrol grubunda maksimal yükteki HRR değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Soğutma grubunda hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrası uygulamada birinci ve ikinci test arasında anaerobik eşikte ve maksimal yükteki HRR değerli açısından anlamlı fark tespit edilmezken; soğutma grubunda çapraz-geçiş sonrası birinci ve ikinci test başlangıç HRR değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptandı ($p < 0.05$).

Gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada soğutma ve kontrol grupları arasında başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yükte HRR değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. Çapraz-geçiş tasarımı sonrasında ise başlangıç ve maksimal yükteki HRR değerleri bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmazken, ikinci test anaerobik eşik HRR değerleri açısından soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi ($p < 0.05$).

4.4. Oksijen Tüketim Değerleri

Çalışmaya katılan sporculara ait oksijen kullanım değerleri istirahat halinde, anaerobik eşikte, maksimal iş yükünde (VO_2 maks) hesaplandı.

Soğutma grubu sporcuları ($n=10$) için istirahat halinde oksijen tüketim değeri 8.2 ± 2.1 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 29.5 ± 3.2 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 47.8 ± 4.8 mL/kg/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test istirahat halinde oksijen kullanım değeri 10.2 ± 1.6 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 29.1 ± 3.4 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 52.4 ± 4.0 mL/kg/dk olarak bulundu.

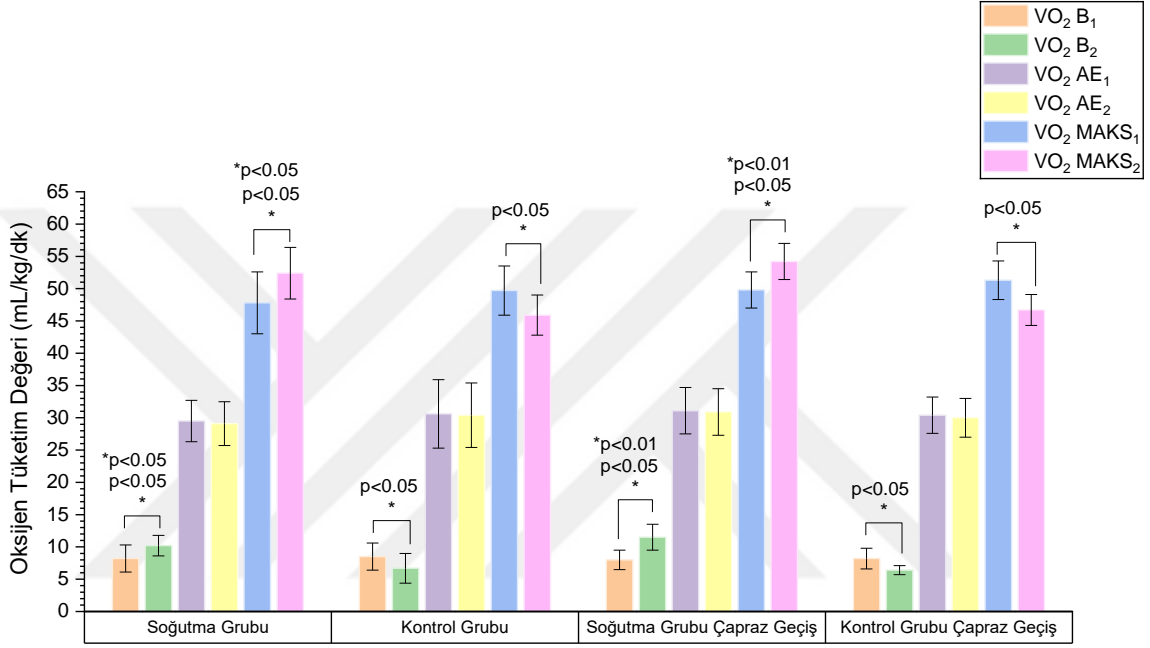
Kontrol grubu sporcuları ($n=10$) için istirahat halinde oksijen tüketim değeri 8.5 ± 2.1 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 30.6 ± 5.3 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 49.7 ± 3.8 mL/kg/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test istirahat halinde oksijen kullanım değeri 6.7 ± 2.3 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 30.4 ± 5.0 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 45.9 ± 3.1 mL/kg/dk olarak bulundu.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubundaki sporcular ($n=10$) için istirahat halinde oksijen tüketim değeri 8.0 ± 1.5 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 31.1 ± 3.6 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 49.8 ± 2.8 mL/kg/dk olarak bulundu. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test istirahat halinde oksijen kullanım değeri 11.5 ± 2.0 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 30.9 ± 3.6 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 54.2 ± 2.8 mL/kg/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları ($n=10$) için istirahat halinde oksijen tüketim değeri 8.2 ± 1.6 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 30.4 ± 2.8 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 51.3 ± 3.0 mL/kg/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test istirahat halinde oksijen kullanım değeri 6.4 ± 0.7 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 30.0 ± 3.0 mL/kg/dk, VO_2 maks değeri 46.7 ± 2.4 mL/kg/dk olarak bulundu.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, soğutma grubunda sporcuların birinci ve ikinci test istirahat halinde oksijen tüketim değerleri ile VO_2 maks değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı ($p<0.05$). Benzer şekilde kontrol grubunda da birinci ve ikinci test istirahat halinde oksijen tüketim değerleri ile VO_2 maks değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlendi ($p<0.05$).

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra yapılan değerlendirmelerde hem soğutma hem de kontrol grubunda birinci ve ikinci test istirahat halinde oksijen tüketim değerleri ile VO₂maks değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı (p<0.05). Buna karşın, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında birinci ve ikinci test anaerobik eşikte oksijen kullanım değerleri bakımından her iki grup için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi.



Şekil 9. KPET sonrasında soğutma ve kontrol gruplarının ilk uygulama ve çapraz-geçiş sonrası testlerde başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yükteki oksijen tüketim değerleri. VO₂B₁: 1.Test başlangıç oksijen tüketimi. VO₂B₂: 2.Test başlangıç oksijen tüketimi. VO₂AE₁: 1.Test anaerobik eşik oksijen tüketimi. VO₂AE₂: 2.Test anaerobik eşik oksijen tüketimi. VO₂MAKS₁: 1.Test maksimal oksijen tüketimi. VO₂MAKS₂: 2.Test maksimal oksijen tüketimi. *p<0.05 ve *p<0.01: Gruplar arası değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık.

Gruplar arası karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrası uygulamada ikinci test istirahat halinde oksijen tüketim değerleri bakımından soğutma grubunun, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi (sırasıyla p<0.05 ve p<0.01). Benzer şekilde, VO₂maks değerleri açısından da her iki uygulamada soğutma grubunun kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi (sırasıyla p<0.05 ve p<0.01). Buna karşılık, anaerobik eşikteki oksijen

tüketim değerleri bakımından ise her iki uygulamada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi.

4.5. Pulmoner Ventilasyon Değerleri

Çalışmaya katılan sporculara ait pulmoner ventilasyon değerleri istirahat halinde, anaerobik eşikte, maksimal iş yükünde hesaplandı.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 15.0 ± 2.7 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 75.2 ± 8.5 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 120.8 ± 5.6 L/dk olarak bulundu. Soğutma yeleşği uygulamasının ardından yapılan ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 18.8 ± 1.9 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 83.4 ± 9.2 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 128.2 ± 4.3 L/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 16.2 ± 5.4 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 83.0 ± 5.1 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 119.4 ± 9.7 L/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 13.3 ± 3.9 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 84.7 ± 5.9 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 119.3 ± 7.6 L/dk olarak bulundu.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubundaki sporcular (n=10) için istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 15.4 ± 2.5 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 81.1 ± 4.4 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 117.1 ± 9.4 L/dk olarak bulundu. Soğutma yeleşği uygulamasının ardından yapılan ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 22.1 ± 2.8 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 89.3 ± 4.3 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 125.8 ± 5.4 L/dk olarak bulundu.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 18.5 ± 2.3 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 74.8 ± 3.7 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 120.8 ± 5.6 L/dk olarak bulundu. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değeri 16.0 ± 2.7 L/dk, anaerobik eşikte pulmoner ventilasyon değeri 77.1 ± 3.6 L/dk, maksimal yükte pulmoner ventilasyon değeri 123.5 ± 3.4 L/dk olarak bulundu.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, soğutma grubunda hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında birinci ve ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değerleri, anaerobik eşik pulmoner ventilasyon değerleri ve maksimal yükte pulmoner ventilasyon değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$ ve $p<0.05$). Kontrol grubunda ise ilk uygulamada birinci ve ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değerleri, anaerobik eşik pulmoner ventilasyon ve maksimal pulmoner ventilasyon değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmezken; çapraz-geçiş sonrası kontrol grubunda birinci ve ikinci test başlangıç ventilasyon değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlendi ($p<0.05$).

Gruplar arası karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrası uygulamada ikinci test istirahat halinde pulmoner ventilasyon değerleri bakımından soğutma grubunun, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.01$). Ek olarak, çapraz-geçiş sonrası uygulamada soğutma grubunun ikinci testte anaerobik eşik pulmoner ventilasyon değerlerinin kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu saptandı ($p<0.01$). Buna karşılık, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrası uygulamada maksimal pulmoner ventilasyon değerleri açısından ve ilk uygulamada anaerobik eşik pulmoner ventilasyon değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi.

4.6. İstirahat Solunum Değişim Katsayısı ve Anaerobik Faza Geçiş Süresi Değerleri

Çalışmaya katılan sporcuların istirahat halindeki solunum değişim katsayısı (RER) değerleri birinci ve ikinci testlerin başlangıç aşamalarında kaydedilmiş, anaerobik faza geçiş süreleri ise RER değerinin 1,00 eşiğini aştığı zaman noktası temel alınarak hesaplandı.

Soğutma grubu sporcuları ($n=10$) için birinci test başlangıcındaki istirahat RER değeri 0.83 ± 0.6 olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test başlangıcındaki RER değeri 0.70 ± 0.3 olarak tespit edildi. Kontrol grubu sporcuları ($n=10$) için birinci test başlangıcındaki istirahat RER değeri 0.76 ± 0.7 olarak tespit edildi. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcındaki RER değeri 0.84 ± 0.6 olarak tespit edildi.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubu sporcuları ($n=10$) için birinci test başlangıcındaki istirahat RER değeri

0.76±0.4 olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test başlangıcındaki RER değeri 0.69±0.2 olarak tespit edildi. Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test başlangıcındaki istirahat RER değeri 0.80±0.4 olarak tespit edildi. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test başlangıcındaki RER değeri 0.85±0.4 olarak tespit edildi.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, soğutma ve kontrol grubunda hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında birinci ve ikinci test istirahat RER değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.05$ ve $p<0.05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında soğutma grubunun istirahat RER değerlerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede düşük olduğu belirlendi (sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.01$).

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test anaerobik faza geçiş süresi 14.52±1.61 dakika olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test anaerobik faza geçiş süresi 15.03±5.02 dakika olarak tespit edildi. Kontrol grubu sporcuları (n=10) için test anaerobik faza geçiş süresi 13.16±4.43 dakika olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test anaerobik faza geçiş süresi 12.78±1.28 dakika olarak tespit edildi.

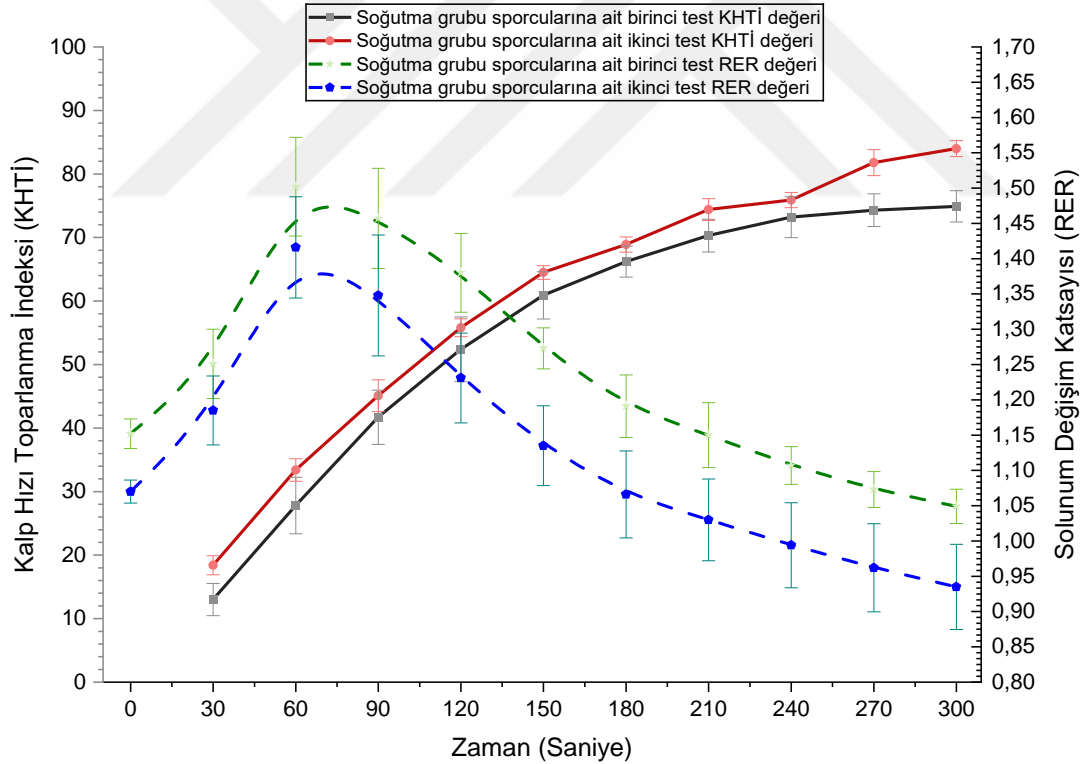
Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test anaerobik faza geçiş süresi 13.32±1.04 dakika olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test anaerobik faza geçiş süresi 15.83±1.39 dakika olarak tespit edildi. Kontrol grubu sporcuları (n=10) için test anaerobik faza geçiş süresi 14.51±2.10 dakika olarak tespit edildi. Soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test anaerobik faza geçiş süresi 13.03±1.81 dakika olarak tespit edildi.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, soğutma ve kontrol grubunda ilk uygulamada birinci ve ikinci test anaerobik faza geçiş süreleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Çapraz-geçiş sonrası hem soğutma hem de kontrol grubunda birinci ve ikinci test anaerobik faza geçiş süreleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada soğutma ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmazken; çapraz-geçiş sonrasında soğutma grubundaki sporcuların

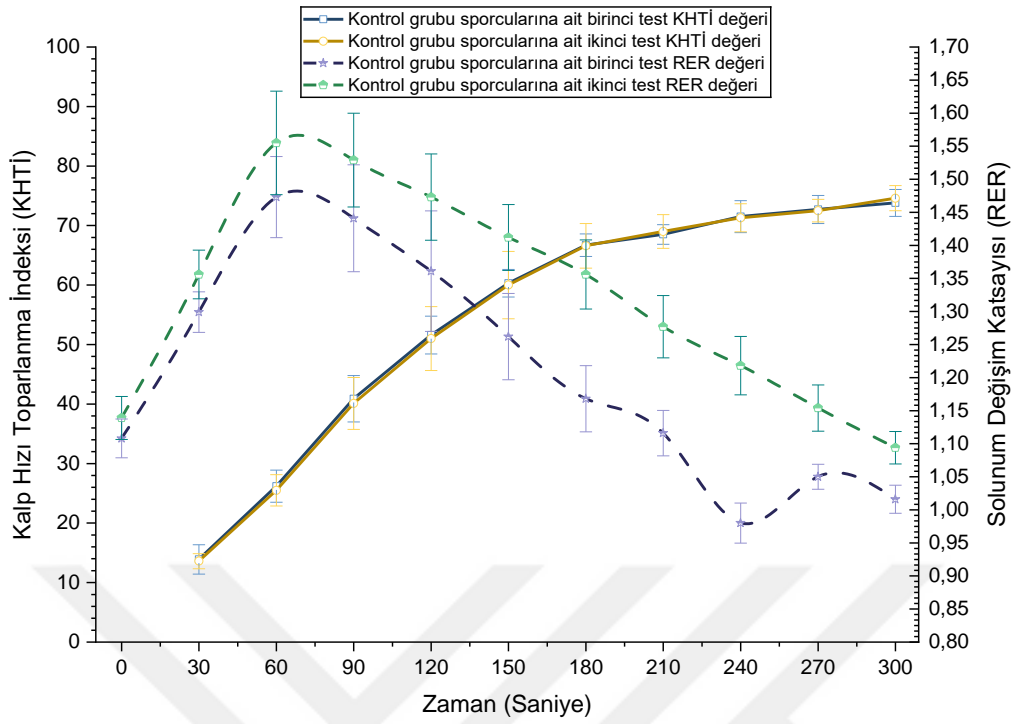
anaerobik faza geçiş süresinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha uzun olduğu belirlendi ($p<0.05$).

4.7. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri

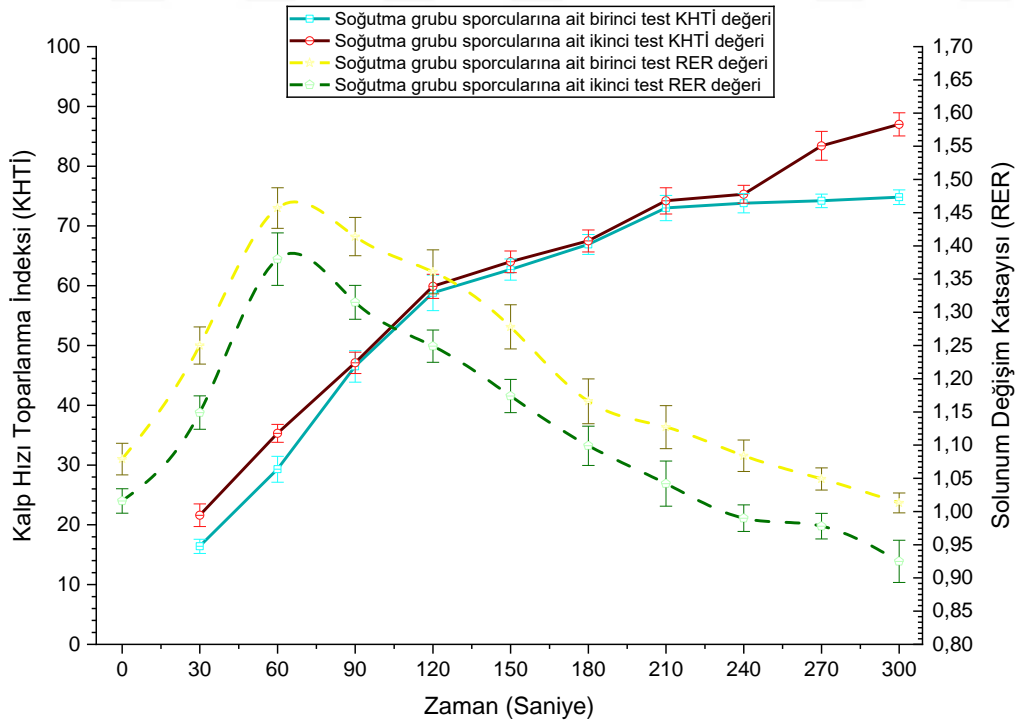
Çalışmaya katılan sporcuların egzersiz sonlanmasının ardından 5 dakikalık toparlanma periyodunda KHTİ ve RER değerleri 30'ar saniyelik aralıklarla kaydedildi. Çalışmaya katılan soğutma ve kontrol grubundaki sporculara ait ilk uygulama sonrası kalp hızı toparlanma indeksi ve solunum değişim katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de, çapraz-geçiş tasarımı sonrası gruplara ait değerler ise Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir.



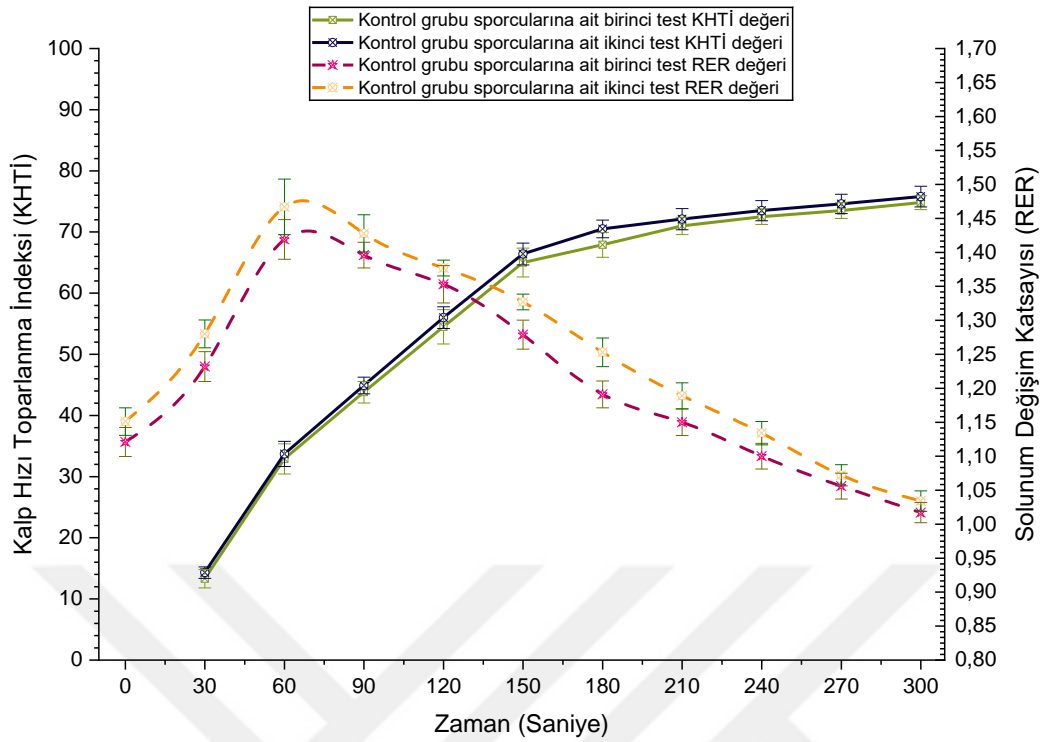
Şekil 10. Toparlanma periyodunda soğutma grubuna ait ilk uygulama birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri



Şekil 11. Toparlanma periyodunda kontrol grubuna ait ilk uygulama birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri



Şekil 12. Toparlanma periyodunda soğutma grubuna ait çapraz-geçiş tasarımı sonrası birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri



Şekil 13. Toparlanma periyodunda kontrol grubuna ait çapraz-geçiş tasarımı sonrası birinci ve ikinci test KHTİ ve RER değerleri

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 13±2.5, KHTİ₂ değeri 27.8±4.4, KHTİ₃ değeri 41.7±4.2, KHTİ₄ değeri 52.4±5.1, KHTİ₅ değeri 60.9±3.7, KHTİ₆ değeri 66.2±2.4, KHTİ₇ değeri 70.3±2.5, KHTİ₈ değeri 73.2±3.2, KHTİ₉ değeri 74.3±2.5, KHTİ₁₀ değeri 74.9±2.4 olarak saptandı. Soğutma yeleşği uygulamasının ardından yapılan ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 18.4±1.5, KHTİ₂ değeri 33.4±1.7, KHTİ₃ değeri 45.1±2.5, KHTİ₄ değeri 55.8±1.3, KHTİ₅ değeri 64.5±1, KHTİ₆ değeri 68.9±1.1, KHTİ₇ değeri 74.4±1.7, KHTİ₈ değeri 75.9±1.1, KHTİ₉ değeri 81.8±2.0, KHTİ₁₀ değeri 84±1.2 olarak saptandı.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.15±0.02 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.25±0.04, RER₃ değeri 1.50±0.06, RER₄ değeri 1.45±0.07, RER₅ değeri 1.38±0.05, RER₆ değeri 1.27±0.02, RER₇ değeri 1.19±0.04, RER₈ değeri 1.15±0.04, RER₉ değeri 1.10±0.02, RER₁₀ değeri 1.07±0.02, RER₁₁ değeri 1.04±0.02 olarak saptandı. Soğutma yeleşği uygulamasının ardından yapılan ikinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.07±0.01 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.18±0.04, RER₃ değeri

1.41±0.07, RER₄ değeri 1.34±0.08, RER₅ değeri 1.23±0.06, RER₆ değeri 1.13±0.05, RER₇ değeri 1.06±0.06, RER₈ değeri 1.03±0.05, RER₉ değeri 0.99±0.06, RER₁₀ değeri 0.96±0.06, RER₁₁ değeri 0.93±0.06 olarak saptandı.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 13.9±2.4, KHTİ₂ değeri 26.2±2.6, KHTİ₃ değeri 40.9±3.9, KHTİ₄ değeri 51.6±3.1, KHTİ₅ değeri 60.3±2.3, KHTİ₆ değeri 66.7±1.8, KHTİ₇ değeri 68.5±1.6, KHTİ₈ değeri 71.5±2.6, KHTİ₉ değeri 72.7±2.3, KHTİ₁₀ değeri 73.8±2.2 olarak saptandı. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 13.6±1.2, KHTİ₂ değeri 25.5±2.6, KHTİ₃ değeri 40.1±4.3, KHTİ₄ değeri 51±5.3, KHTİ₅ değeri 60±5.6, KHTİ₆ değeri 66.6±3.7, KHTİ₇ değeri 69±2.8, KHTİ₈ değeri 71.3±2.3, KHTİ₉ değeri 72.5±1.9, KHTİ₁₀ değeri 74.6±2.1 olarak saptandı.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.10±0.02 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.29±0.03, RER₃ değeri 1.47±0.06, RER₄ değeri 1.44±0.08, RER₅ değeri 1.36±0.09, RER₆ değeri 1.26±0.06, RER₇ değeri 1.16±0.05, RER₈ değeri 1.11±0.03, RER₉ değeri 0.98±0.03, RER₁₀ değeri 1.05±0.01, RER₁₁ değeri 1.01±0.02 olarak saptandı. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.13±0.03 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.35±0.03, RER₃ değeri 1.55±0.07, RER₄ değeri 1.52±0.07, RER₅ değeri 1.47±0.06, RER₆ değeri 1.41±0.04, RER₇ değeri 1.35±0.05, RER₈ değeri 1.27±0.04, RER₉ değeri 1.21±0.04, RER₁₀ değeri 1.15±0.03, RER₁₁ değeri 1.09±0.02 olarak saptandı.

Çalışmanın çapraz-geçiş tasarımı kapsamında gruplar yer değiştirdikten sonra, soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 16.4±1.1, KHTİ₂ değeri 29.3±2.1, KHTİ₃ değeri 46.5±2.6, KHTİ₄ değeri 58.8±2.9, KHTİ₅ değeri 62.7±1.7, KHTİ₆ değeri 66.9±1.6, KHTİ₇ değeri 73±2.1, KHTİ₈ değeri 73.8±1.6, KHTİ₉ değeri 74.2±1.1, KHTİ₁₀ değeri 74.8±1.2 olarak saptandı. Soğutma yeleş uygulamasının ardından yapılan ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 21.6±1.8, KHTİ₂ değeri 35.3±1.4, KHTİ₃ değeri 47.1±1.7, KHTİ₄ değeri 59.4±2, KHTİ₅ değeri 64±1.8, KHTİ₆ değeri 67.5±1.8, KHTİ₇ değeri 74.2±2.2, KHTİ₈ değeri 75.3±1.4, KHTİ₉ değeri 83.4±2.4, KHTİ₁₀ değeri 87±1.9 olarak saptandı.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.07±0.02 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.25±0.02, RER₃ değeri 1.45±0.02, RER₄ değeri 1.41±0.02, RER₅ değeri 1.36±0.03, RER₆ değeri 1.27±0.03, RER₇ değeri 1.16±0.03, RER₈ değeri 1.12±0.03, RER₉ değeri 1.08±0.02, RER₁₀ değeri 1.04±0.01, RER₁₁ değeri 1.01±0.01 olarak saptandı. Soğutma yeleşği uygulamasının ardından yapılan ikinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.01±0.01 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.14±0.02, RER₃ değeri 1.38±0.03, RER₄ değeri 1.31±0.02, RER₅ değeri 1.24±0.02, RER₆ değeri 1.17±0.02, RER₇ değeri 1.09±0.02, RER₈ değeri 1.04±0.03, RER₉ değeri 0.99±0.02, RER₁₀ değeri 0.97±0.01, RER₁₁ değeri 0.92±0.03 olarak saptandı.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 13.3±1.4, KHTİ₂ değeri 32.9±2.4, KHTİ₃ değeri 43.8±1.7, KHTİ₄ değeri 54.5±2.7, KHTİ₅ değeri 65±2.3, KHTİ₆ değeri 67.9±2, KHTİ₇ değeri 71±1.4, KHTİ₈ değeri 72.5±1.2, KHTİ₉ değeri 73.5±1.2, KHTİ₁₀ değeri 74.8±1.1 olarak saptandı. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁ değeri 14.3±0.9, KHTİ₂ değeri 33.7±2, KHTİ₃ değeri 44.±1.3, KHTİ₄ değeri 56±1.7, KHTİ₅ değeri 66.4±1.7, KHTİ₆ değeri 70.5±1.4, KHTİ₇ değeri 72.1±1.7, KHTİ₈ değeri 73.5±1.6, KHTİ₉ değeri 74.6±1.5, KHTİ₁₀ değeri 75.8±1.6 olarak saptandı.

Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.12±0.02 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.23±0.02, RER₃ değeri 1.41±0.02, RER₄ değeri 1.39±0.01, RER₅ değeri 1.35±0.01, RER₆ değeri 1.27±0.02, RER₇ değeri 1.19±0.01, RER₈ değeri 1.15±0.01, RER₉ değeri 1.10±0.01, RER₁₀ değeri 1.05±0.01, RER₁₁ değeri 1.01±0.02 olarak saptandı. Belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER₁ değeri 1.15±0.02 olarak ölçülmüştür. RER₂ değeri 1.28±0.02, RER₃ değeri 1.46±0.04, RER₄ değeri 1.42±0.02, RER₅ değeri 1.37±0.01, RER₆ değeri 1.32±0.01, RER₇ değeri 1.25±0.02, RER₈ değeri 1.18±0.01, RER₉ değeri 1.13±0.01, RER₁₀ değeri 1.02±0.01, RER₁₁ değeri 1.03±0.01 olarak saptandı.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, soğutma ve kontrol grubunda hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında birinci ve ikinci test toparlanma periyodunda tüm RER değerleri arasında (RER₁, RER₂, ..., RER₁₁,) istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi (tüm değerler için p<0.05). Soğutma ve kontrol grubunun

KHTİ değerleri açısından grup içi karşılaştırmalarda ise soğutma grubunun ilk uygulamada birinci ve ikinci test toparlanma periyodunda 120. saniyedeki kalp hızı toparlanma indeksi değeri (KHTİ₄) hariç diğer tüm KHTİ değerleri arasında (KHTİ₁, KHTİ₂, ..., KHTİ₁₀) istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi (tüm değerler için $p < 0.05$). Kontrol grubunun ilk uygulamada birinci ve ikinci test toparlanma periyodunda 300. saniyedeki kalp hızı toparlanma indeksi değeri (KHTİ₁₀) istatistiksel olarak anlamlı tespit edilirken ($p < 0.05$); diğer tüm KHTİ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara rastlanmadı.

Çapraz-geçiş sonrası uygulamada soğutma grubunun birinci ve ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₁, KHTİ₂, KHTİ₅, KHTİ₇, KHTİ₈, KHTİ₉, KHTİ₁₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilirken (tüm değerler için $p < 0.05$); diğer KHTİ değerleri açısından anlamlı farklılığa rastlanmadı. Kontrol grubunda birinci ve ikinci test toparlanma periyodunda KHTİ₂, KHTİ₃, KHTİ₄, KHTİ₆, KHTİ₇, KHTİ₈, KHTİ₉, KHTİ₁₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilirken (tüm değerler için $p < 0.05$); diğer KHTİ değerleri açısından anlamlı farklılığa rastlanmadı.

Gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci test KHTİ değerleri açısından tüm KHTİ değerleri arasında soğutma ve kontrol grubu arasında anlamlı fark bulunmazken; ikinci test KHTİ değerleri açısından soğutma grubunun tüm KHTİ (KHTİ₁, KHTİ₂, KHTİ₃, KHTİ₄, KHTİ₅, KHTİ₆, KHTİ₇, KHTİ₈, KHTİ₉, KHTİ₁₀) değerleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi (sırasıyla KHTİ₃, KHTİ₆, KHTİ₇, KHTİ₈, KHTİ₉, KHTİ₁₀ değerleri için $p < 0.01$, diğer değerler için $p < 0.05$).

İlk uygulamada birinci test RER değerleri açısından soğutma grubunun RER₁, RER₂, RER₉, RER₁₀, RER₁₁ değerleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi (tüm değerler için $p < 0.05$). İkinci test RER değerleri açısından soğutma grubunun tüm RER (RER₁, RER₂, RER₃, RER₄, RER₅, RER₆, RER₇, RER₈, RER₉, RER₁₀, RER₁₁) kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlendi (tüm değerler için $p < 0.01$).

Çapraz-geçiş sonrası uygulamada, birinci test KHTİ değerleri açısından soğutma grubunun KHTİ₁, KHTİ₂, KHTİ₃, KHTİ₄, KHTİ₅, KHTİ₇ değerleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi (KHTİ₁ için $p < 0.01$, diğer değerler için $p < 0.05$). İkinci test KHTİ değerleri açısından toparlanma periyodunda 60. saniyedeki kalp hızı toparlanma indeksi değeri (KHTİ₂) hariç diğer tüm KHTİ değerleri arasında (KHTİ₁, KHTİ₃, ..., KHTİ₁₀) soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla KHTİ değerlerinin anlamlı

düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi (sırasıyla KHTİ₁, KHTİ₄, KHTİ₉, KHTİ₁₀, değerleri için $p<0.01$, diğer değerler için $p<0.05$).

İlk uygulamada birinci test RER değerleri açısından soğutma grubunun RER₁, değerinin kontrol grubuna göre kıyasla anlamlı derecede daha düşük, RER₃ değerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi (sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$). İkinci test RER değerleri açısından soğutma grubunun tüm RER (RER₁, RER₂, RER₃, RER₄, RER₅, RER₆, RER₇, RER₈, RER₉, RER₁₀, RER₁₁) kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlendi (tüm değerler için $p<0.01$)

4.8. Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği Değerleri

Çalışmaya katılan sporcuların yorgunluk düzeyleri, birinci ve ikinci testlerin her biri için maksimal egzersiz testinin tamamlanmasının ardından yorgunluk ölçeği kullanılarak değerlendirildi.

Soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test sonrası yorgunluk düzeyi 12.7 ± 1.8 puan, soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test yorgunluk düzeyi 9.8 ± 0.7 puan olarak belirlendi. Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test sonrası yorgunluk düzeyi 11.1 ± 1.1 puan, belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test yorgunluk düzeyi 13.1 ± 1.1 puan olarak belirlendi.

Çapraz-geçiş sonrası uygulamada, soğutma grubu sporcuları (n=10) için birinci test sonrası yorgunluk düzeyi 12.3 ± 1.5 puan, soğutma yeleği uygulamasının ardından yapılan ikinci test yorgunluk düzeyi 9.8 ± 1.3 puan olarak belirlendi. Kontrol grubu sporcuları (n=10) için birinci test sonrası yorgunluk düzeyi 10.8 ± 1.0 puan, belirlenen dinlenme süresi sonrasında yapılan ikinci test yorgunluk düzeyi 13.7 ± 0.9 puan olarak belirlendi.

Bu tez çalışmasında grup içi karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz-geçiş sonrasında kontrol grubu sporcularının birinci ve ikinci test sonrası yorgunluk düzeyi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptandı (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.05$ ve $p<0.05$).

Gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci test sonrası yorgunluk düzeyleri açısından soğutma ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmazken; ikinci test sonrası yorgunluk düzeyleri açısından ise soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu belirlendi ($p<0.01$).

Çapraz-geçiş sonrasında ilk uygulamada birinci test sonrası yorgunluk düzeyi değerleri açısından soğutma ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmazken; ikinci test sonrası yorgunluk düzeyi değerleri açısından soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edildi ($p<0.01$).



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Futbol, uzun süreli ve yoğun rekabetin yaşandığı bir spor dalıdır. Bu branşta sporculardan yıl boyunca sürdürülebilir ve yüksek performans sergilemeleri beklenmektedir. Bu gereklilik yalnızca fiziksel kapasiteyle sınırlı olmayıp, futbolcuların odaklanma, algılama, öngörü ve hızlı karar verme gibi bilişsel becerilere de sahip olmalarını gerektirir. Maçların çoğunlukla çevresel koşulların kontrol edilemediği açık stadyumlarda oynanması, sporcuların sık sık yüksek sıcaklık yüklenmesine maruz kalmasına yol açmaktadır. Bu tür durumlarda vücut iç sıcaklığını dengeleyebilmek için terleme mekanizmasını artırarak yanıt oluşturur. Fakat yeterli sıvı desteği sağlanmadığında aşırı terleme hem fiziksel performansı hem de bilişsel işlevleri olumsuz etkileyebilmektedir (136, 137).

Küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle sıcaklığa bağlı zorlanmanın sporcularda yarattığı riskler günümüzde daha da belirgin hale gelmiş; artan ısı stresi hem performans kayıplarına hem de ciddi sportif yaralanmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle elit futbol kulüpleri, oyuncularını olumsuz çevresel koşullardan koruyacak pratik ve uygulanabilir stratejiler geliştirmeye yoğun ilgi göstermektedir. Bu bağlamda, sıcak ortamlarda performans ve sporcu sağlığının korunabilmesi için ısıya maruziyetin futbolcular üzerindeki etkilerinin anlaşılması kritik öneme sahiptir (138).

Bu çalışmada, 15–17 yaş arası düzenli antrenman yapan genç futbolcularda egzersiz sonrası soğutma yeleği kullanımının fizyolojik yanıtlar, performans parametreleri ve toparlanma süreçlerine etkileri, çapraz geçiş tasarımı kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda, soğutma uygulamasının ardından kardiyak, solunumsal parametreler ve vücut sıcaklığı değerlendirilmiş; ayrıca maksimal egzersiz sonrasında 30 saniyelik aralıklarla toplam beş dakikalık aktif toparlanma periyodunda yapılan ölçümlerde solunum değişim katsayısı ve kalp hızı toparlanma indeksi incelenerek toparlanma süreçleri analiz edilmiştir.

Bu tez çalışmasında tanımlayıcı değişkenler (yaş, boy, kilo) bakımından soğutma grubu ve kontrol grubu arasında istatistiksel anlamlı düzeyde farklılık saptanmamıştır. Yılmaz ve arkadaşlarının erkek futbolcularda yapmış oldukları çalışmada yüksek VKİ değerlerinin solunum performansında düşüşe ve azalmış FVC, FEV1 değerlerine sahip olduğunu bildirmiştir (139). Bu çalışmada her ne kadar vücut kitle indeksinin solunum değişim oranına etkisi incelenmese bile RER değeri solunumsal parametrelerden etkilendiği için artmış VKİ oranının RER üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Lins ve arkadaşları, yüksek VKİ'nin kardiyovasküler sağlık açısından önemli bir risk faktörü olduğunu ve vagal otonomik disfonksiyonun erken dönemde kardiyovasküler risk göstergesi olabileceğini vurgulamışlardır. Bu bağlamda, egzersiz sonrasında obez bireylerin, normal VKİ'ye sahip olanlara kıyasla daha düşük KHTİ değerleri sergilediği bildirilmiştir (140). Gondoni ve arkadaşları, egzersiz sonrası normal ve yüksek VKİ'ye sahip bireyler arasında KHTİ değerlerinin farklılık gösterdiğini; özellikle yüksek VKİ grubunda KHTİ değerlerinin belirgin şekilde düşük olduğunu ortaya koymuşlardır (142). Arujo ve arkadaşlarının çalışmasında ise, erkeklerde egzersiz sonrası farklı VKİ grupları karşılaştırılmış ve KHTİ değerlerinde anlamlı bir farklılık saptanmadığı rapor edilmiştir (144).

Bu tez çalışmasında, gruplar arasında tanımlayıcı değişkenler (yaş, boy, kilo, VKİ) açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadığından, egzersiz performansı ve fizyolojik toparlanma süreçlerinde gözlenen farklılıkların bu değişkenlerden kaynaklanma olasılığı düşüktür.

Vücut sıcaklığı değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci testin öncesi ve sonrası ile ikinci testin sonrası ölçümlerinde anlamlı bir fark saptanmadı. Ancak soğutma yeleği uygulamasının ardından gerçekleştirilen ikinci test öncesinde, soğutma grubunun vücut sıcaklığı kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük bulundu. Çapraz geçiş tasarımı sonrasında yapılan karşılaştırmalarda ise, birinci testin öncesi ve sonrası değerlerinde gruplar arasında anlamlı bir farklılık gözlenmezken; ikinci testin hem öncesi hem de sonrası vücut sıcaklığı ölçümleri soğutma grubunda kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük saptandı. Bu farklılığın, soğutma yeleği uygulaması ile tekrarlanan egzersizler arasında vücutta oluşan ısı birikiminin azaltılması ve termal homeostazın daha etkin biçimde sürdürülmesi ile ilişkili olabileceği düşünülebilir.

Egzersiz sonrası soğutma yeleğinin vücut sıcaklığı üzerindeki etkisine ilişkin yapılan çalışmalar, başlangıç değerlerine kıyasla anlamlı düşüşler olduğunu ve nispeten küçük sıcaklık düşüşlerinin dahi performans gelişimine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (143, 144). González ve arkadaşlarının soğutma yeleği kullanarak yapmış oldukları çalışmada, uygulamanın özellikle toparlanma döneminde vücut sıcaklığı üzerinde belirgin etkiler yarattığı bildirilmiştir. Soğutma yeleği kullanan sporcularda cilt ve timpanik sıcaklık değerleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük seyretmiş, bu durum egzersiz

sonrası soğuma sürecinin hızlanmasına katkı sağlamıştır (145). Laia ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, soğutma yeleği kullanılan ve kullanılmayan protokollerde vücut sıcaklığının toparlanma sonrasında düşüş gösterdiği bildirilmiştir. Karşılaştırmalarda, soğutma yeleği giyildiğinde sıcaklık düşüşünün yelek kullanılmadığı duruma göre daha belirgin olduğu ve toparlanma sonrasında vücut sıcaklığının anlamlı düzeyde daha düşük bulunduğu ifade edilmiştir (146). Söz konusu bulgular bu tez çalışmasının bulgularıyla uyum göstermektedir. Luomala ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, soğutma yeleği uygulaması ve kontrol koşulları arasında vücut sıcaklığı benzer şekilde yükselme eğilimi göstermiş, ancak soğutma yeleği uygulamasında katılımcıların daha yüksek sıcaklıkları tolere edebildiği bildirilmiştir (147).

Ayrıca literatürde, egzersiz sırasında artan vücut sıcaklığının antrenman sonrasında sempatik aktiviteyi artırarak parasempatik yanıtı baskıladığı ve bu durumun fizyolojik toparlanma süreçlerini olumsuz etkilediği, buna ek olarak farklı spor branşlarında performans düşüşlerine yol açtığı rapor edilmiştir (148, 149). Egzersiz öncesi ve sonrasında vücut sıcaklığında gözlenen istatistiksel olarak anlamlı farklılığın, soğutma yeleği uygulamasının deri sıcaklığını düşürerek vazodilatasyon mekanizması aracılığıyla periferik düzeyde ısı kaybını kolaylaştırmasından ve bu yolla toplam ısı yükünü azaltarak otonom sinir sistemi üzerindeki baskıyı hafifletmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (149).

Kalp atım hızı, takım sporları da dahil olmak üzere birçok branşta antrenman yükünü takip etmek amacıyla kardiyovasküler yanıtın önemli bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Takım sporlarında kalp hızı değerleri, oyuncuların sahadaki pozisyonlarına göre farklılık gösterebilmektedir. Literatürde yapılan çeşitli araştırmalar, maksimal kalp hızının bireyin kondisyon düzeyinden bağımsız olduğu; genetik faktörler ve yaşla yalnızca sınırlı ölçüde ilişkili bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yorgunluk, motivasyon ve stres gibi etkenlerin maksimal kalp hızı üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir (150).

Sıcak ortamda yapılan egzersizin kardiyovasküler sistem üzerinde ciddi bir zorlanma oluşturduğunu, artan cilt kan akımı talebi ve yükselen iç vücut sıcaklığının kalp atım hızında belirgin artışa yol açtığı görülmektedir. Özellikle sıvı kaybı ve hipertermi ile birlikte kardiyak debide azalma, atım volümü düşüşü ve kalp hızında yükselme görülmekte; bu durum performansın sınırlandırılmasında temel etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir (114).

Kalp hızı değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci test başlangıcı ile her iki testin anaerobik eşik ve maksimal yük değerlerinde fark görülmedi. Ancak ikinci test başlangıcında kontrol grubunun kalp hızı, soğutma grubuna kıyasla daha yüksek bulundu. Çapraz geçiş sonrasında da benzer şekilde, birinci test ve diğer aşamalarda fark izlenmezken ikinci test başlangıç kalp hızı kontrol grubunda yine daha yüksek saptandı.

Eijsvogels ve arkadaşlarının soğutma yeleğinin performans üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, başlangıçta kalp atım hızı iki koşul arasında farklılık göstermemiş, her iki koşulda da 5 km deneme koşusu süresince anlamlı şekilde artış göstermiştir. Bununla birlikte, ortalama kalp atım hızı soğutma yeleği kullanılan koşullarda kontrol koşuluna kıyasla daha düşük bulunmuştur. Maksimal kalp atım hızı ise kontrol grubunda 180 ± 9 atım/dk, soğutma yeleği grubunda 177 ± 9 atım/dk olarak ölçülmüş ve bu değerler arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bu sonuçlar, soğutma uygulamasının özellikle ortalama kalp hızı üzerinde etkili olduğunu, ancak maksimal değerlere yansımadığını göstermektedir (151).

Bongers ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, başlangıç kalp atım hızı soğutma ve kontrol koşulları arasında farklılık göstermemiştir. 5 km deneme koşusu sırasında kalp atım hızı kontrol ve soğutma koşulları arasında benzer bulunmuş, ilk 2 kilometrede yükselerek plato seviyesine ulaşmıştır. Koşu boyunca kalp atım hızındaki değişim koşullar arasında farklılık göstermemiştir. Maksimal kalp atım hızı ise kontrol koşulunda 178 ± 16 atım/dk, soğutma koşulunda 175 ± 13 atım/dk olarak ölçülmüş ve bu değerler arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır (152).

Yanaoka ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, kısa bir mola süresince (15 dakika) soğutma yeleği kullanarak uygulanan soğutmanın kalp hızı üzerinde belirgin etkiler yarattığı bildirilmiştir. Araştırmada, 15 dakikalık mola sonunda soğutma grubunda kalp hızı kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük bulunmuş ve toparlanmanın daha etkili gerçekleştiği gösterilmiştir. Ayrıca, ikinci egzersiz periyodunda da kalp hızı değerlerinin soğutma koşulunda kontrol koşuluna göre daha düşük seyrettiği belirtilmiştir (153).

Bizim çalışmamızda başlangıç ve maksimal kalp hızı değerlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmaması, Eijsvogels ve Bongers'in çalışmalarında bildirilen sonuçlarla örtüşmektedir. Buna karşılık, ikinci test başlangıcında kontrol grubunun kalp hızının soğutma grubuna göre daha yüksek saptanması, toparlanma döneminde kalp hızının soğutma

koşullarında daha düşük olduğunu gösteren Yanaoka ve arkadaşlarının bulgularıyla paralellik göstermektedir. Bu benzerlikler, farklı protokollerde dahi soğutma uygulamasının kalp hızı üzerinde etkisinin özellikle toparlanma ve tekrar egzersiz başlangıcı dönemlerinde ortaya çıktığını düşündürebilir.

Kalp hızı rezervi açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada başlangıç, anaerobik eşik ve maksimal yük değerlerinde fark bulunmadı. Çapraz geçiş sonrasında da başlangıç ve maksimal yük değerlerinde fark gözlenmezken, ikinci testin anaerobik eşik değerlerinde soğutma grubu kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlendi.

Literatürde, soğutma uygulamalarının kalp hızı ve toparlanma süreçlerine etkileri genel olarak ortalama kalp hızı veya toparlanma hızı üzerinden incelenmiş, ancak farklı yüklenme basamakları (başlangıç, anaerobik eşik, maksimal yük) düzeyinde HRR karşılaştırmalarına ilişkin çalışmalara rastlanmamıştır. Bu açıdan, çalışmamızın bulguları literatüre özgün bir katkı sunmakta ve soğutma stratejilerinin yalnızca genel toparlanmayı değil, aynı zamanda anaerobik eşik düzeyinde kalp hızı rezervi açısından olumlu yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Maksimum oksijen tüketimi (VO_{2maks}), aerobik kapasitenin güvenilir bir göstergesi olup, pulmoner, kardiyovasküler ve nöromusküler sistemlerin bütüncül işlevlerini yansıtan önemli bir fizyolojik parametre olarak kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalar, sıcak ortamlarda egzersiz sırasında VO_{2maks} değerlerinin belirgin biçimde düştüğünü ve bunun egzersiz performansını sınırlayan önemli bir etken olduğunu göstermektedir (154, 155).

Oksijen tüketim değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz geçiş sonrasında ikinci test istirahat oksijen tüketimi ve VO_{2maks} değerleri soğutma grubunda kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulundu. Buna karşın, anaerobik eşik düzeyindeki oksijen tüketiminde gruplar arasında her iki uygulamada da anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Luomala ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, kontrol koşulunda maksimal oksijen tüketimi 36.7 ± 2.4 ml/kg/dk olarak bulunurken, soğutma yeleği kullanılan koşulda bu değer 39.0 ± 2.5 ml/kg/dk'ye yükselmiş, fark istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte soğutma koşulunda VO_2 değerlerinin daha yüksek seyretme eğiliminde olduğu bildirilmiştir (147). Gutiérrez-Arroyo ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada,

maksimal oksijen tüketim değeri ($VO_{2\text{maks}}$) açısından karşılaştırma yapıldığında, pasif soğutma uygulamasında 62.1 ± 6.0 iken, soğutma yeleşği kullanımında 64.6 ± 4.5 olarak bulunmuş ve bu fark anlamlı bulunmuştur (156).

Zhao ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, kontrol koşulunda maksimal oksijen tüketimi 54.3 ± 4.5 mL/kg·dk olarak bulunmuştur. Buna karşın sıcak-kuru koşulda $VO_{2\text{maks}}$ 50.1 ± 6.8 mL/kg·dk, sıcak-nemli koşulda ise 51.0 ± 4.1 mL/kg·dk olarak ölçülmüş ve her iki sıcak ortamda da kontrole kıyasla anlamlı düşüşler saptanmıştır. Ancak sıcak-kuru ile sıcak-nemli koşullar arasında $VO_{2\text{maks}}$ açısından ek bir farklılık rapor edilmemiştir (154).

Bizim çalışmamızda istirahat oksijen tüketimi ve $VO_{2\text{maks}}$ değerlerinin soğutma grubunda daha yüksek bulunması, literatürde bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Nitekim Lorenzo ve arkadaşları, ısıya uyumlanma sonrasında plazma hacminde artış, maksimal kardiyak debide yükselme ve çekirdek–cilt sıcaklık gradyanının genişlemesi ile $VO_{2\text{maks}}$ değerlerinde yaklaşık %5 oranında artış olduğunu bildirmiştir (157). Bu tür fizyolojik adaptasyonların, bizim çalışmamızda soğutma grubunda saptanan daha yüksek $VO_{2\text{maks}}$ değerlerini açıklayan olası mekanizmalar arasında yer aldığı düşünülebilir.

Anaerobik eşik düzeyinde anlamlı bir farklılık saptanmamış olması, literatürde görece az incelenmiş bir noktaya işaret etmektedir. Mevcut çalışmaların çoğu, soğutma uygulamalarının daha çok $VO_{2\text{maks}}$ ya da genel oksijen tüketimi üzerindeki etkilerine odaklanmış, farklı yüklenme basamakları ise ayrı ayrı değerlendirilmemiştir. Bu bağlamda, çalışmamızın bulguları literatüre özgün bir katkı sunmakta ve soğutma stratejilerinin yalnızca genel kapasiteyi değil, aynı zamanda farklı egzersiz basamaklarında ortaya çıkan oksijen tüketim yanıtlarını da etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Sporcularda istirahat halinde ventilasyon (solunum), düşük oksijen gereksinimi ve düşük metabolik aktivite nedeniyle genellikle yavaş ve derin bir şekilde gerçekleşir. Ancak egzersizle birlikte oksijen ihtiyacı ve karbondioksit atılımı arttığından solunumun hem hızı hem de derinliği yükselir. İstirahat sırasında dakikada yaklaşık 4–6 L olan ventilasyon hacmi, egzersizle birlikte 20–40 L/dakikaya çıkabilir ve yoğun egzersizlerde 100 L/dakikanın üzerine ulaşabilir (83).

Literatürde, hem sıcak hem de soğuk ortamların pulmoner ventilasyon üzerinde belirgin etkiler yarattığı gösterilmiştir. Galloway ve arkadaşlarının çalışmasında özellikle

4°C’de oksijen tüketimi ve substrat kullanımındaki değişiklikler, egzersizin oksijen maliyetini artırarak ventilasyon yükünü de yükseltebilmektedir. Öte yandan, 31–35°C gibi sıcak koşullarda gözlenen yorgunluğun enerji depolarının tükenmesiyle açıklanamaması, ventilasyon artışının büyük ölçüde termoregülatuvar stres ve vücut sıcaklığındaki yükselişten kaynaklandığını göstermektedir (158). Kwak ve arkadaşlarının çalışmasında da 35°C’de egzersiz kapasitesi azalırken, ventilasyon dahil tüm aerobik göstergelerin olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir. Ayrıca, 22°C’ye kıyasla hem 10°C hem de 35°C’de istirahat ve submaksimal egzersiz sırasında ventilasyonun daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, aşırı sıcak veya soğuk koşullarda ventilasyonun metabolik ihtiyaçların ötesine geçtiğini, performansı desteklemek yerine sınırlayıcı bir faktör haline geldiğini ortaya koymaktadır (159).

Pulmoner ventilasyon değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, hem ilk uygulamada hem de çapraz geçiş sonrasında ikinci test istirahat ventilasyon değerleri soğutma grubunda kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulundu. Çapraz geçiş sonrasında ayrıca, ikinci testte anaerobik eşik ventilasyon değerlerinin soğutma grubunda kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu belirlendi. Buna karşın, maksimal ventilasyon değerlerinde her iki uygulamada da, anaerobik eşik ventilasyon değerlerinde ise ilk uygulamada gruplar arasında anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Luomala ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, soğutma yeleği kullanılan koşullarda pulmoner ventilasyonun kontrol grubuna kıyasla daha düşük seyretme eğiliminde olduğu bildirilmiştir. Nitekim 45. dakikada ventilasyon soğutma koşulunda 75.7 ± 4 L/dk, kontrol koşulunda ise 81.7 ± 6 L/dk; 60. dakikada ise sırasıyla 102.7 ± 6 L/dk ve 111.7 ± 10 L/dk olarak bulunmuş, ancak bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ayrıca, kontrol grubunda ventilasyonun daha erken ve keskin bir artış gösterdiği, bu durumun asidik metabolik yan ürünlerin birikmesiyle ilişkili olabileceği ifade edilmiştir. Buna karşılık, soğutma yeleği kullanılan koşullarda bu keskin yükselişin daha geç ortaya çıkması, egzersiz süresinin uzamasına katkıda bulunmuştur (147).

Sang Jung ve arkadaşlarının şiddeti kademeli olarak artan egzersiz protokolünde yaptıkları çalışmada, ventilasyon (VE) değerlerinin çevresel sıcaklığa bağlı olarak belirgin şekilde arttığı bildirilmiştir. Nitekim 20°C’de VE ortalama 61.6 ± 3.2 L/dk iken, 30°C’de 68.9 ± 3.8 L/dk’ye, 40°C’de ise 74.3 ± 4.1 L/dk’ye yükselmiştir. Araştırmacılar bu artış, sıcaklık yükseldikçe termal stresin solunum yükünü metabolik ihtiyacın ötesine taşıması,

anaerobik metabolizmanın daha erken devreye girmesi ve buna bağılı olarak glikojen kullanımının artması ile açıklanmaktadır (160).

Luomala ve arkadaşlarının çalışmasında, soğutma yeleği kullanılan koşullarda ventilasyonun kontrol grubuna kıyasla daha düşük seyretme eğiliminde olduğu, ancak bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise istirahat ve anaerobik eşik ventilasyon değerlerinin soğutma grubunda anlamlı derecede daha yüksek bulunması bu sonuçlarla örtüşmemektedir. Bu farklılık, egzersiz protokolü, uygulanan soğutma yöntemlerindeki farklılıklar ve çalışmaya dahil edilen katılımcıların yaş farkından kaynaklanabilir. Öte yandan, Sang Jung ve arkadaşları sıcaklık arttıkça ventilasyonun belirgin şekilde yükseldiğini göstermiştir. Buna karşılık, bizim çalışmamızda maksimal ventilasyon değerlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu durum, soğutma stratejisinin sıcaklığın ventilasyon üzerindeki sınırlayıcı etkilerini dengelemiş olabileceğini ve özellikle farklı egzersiz yüklenmelerinde ventilasyon yanıtlarının soğutma uygulamalarına duyarlı olabileceğini gösterebilir.

Egzersiz sonrasında kalp atım hızının düşüşe geçmesi, toparlanma süreci olarak tanımlanır ve bu süreç genellikle egzersizin bitiminden sonraki ilk dakikalar içinde gerçekleşir. Egzersizin sona ermesiyle birlikte metabolik talep azalır ve kalp hızı, otonom sinir sisteminin düzenleyici etkisiyle düşmeye başlar. Bu azalma, esas olarak parasempatik aktivitenin yeniden devreye girmesi ve sempatik uyarının gerilemesi ile sağlanır. Kalp hızındaki bu gerileme, vuru hacmi sabit kabul edildiğinde, kalp debisinin de azalmasına yol açar. Kalp atım hızındaki toparlanma süreci hızlı ve yavaş olmak üzere iki evrede incelenir (161).

Farmakolojik blokaj çalışmalarına göre, hızlı evre büyük ölçüde parasempatik yeniden aktivasyondan, yavaş evre ise sempatik aktivitenin geri çekilmesinden kaynaklanmaktadır (162).

Kalp hızı toparlanma indeksi (KHTİ) değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci testte soğutma ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark bulunmadı, ancak ikinci testte, soğutma grubunun tüm KHTİ değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğu belirlendi. Çapraz geçiş sonrasında ise birinci testte bazı KHTİ değerlerinin ($KHTİ_1, \dots, KHTİ_5$ ve $KHTİ_7$) soğutma grubunda kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu, ikinci testte ise toparlanma periyodundaki 60. saniye

(KHTİ₂) hariç diğer tüm KHTİ değerlerinin soğutma grubunda kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğu tespit edildi.

Chaen ve arkadaşlarının devre arası soğutma yeleği uygulaması üzerine yaptıkları çalışmada, devre arası soğutma yeleği giyen sporcuların ikinci egzersiz testine başlamadan önce kalp atım hızlarının kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu, buna karşılık son maksimal pedal çevirme sırasında ise daha yüksek değerlere ulaştığı bildirilmiştir. Bu sonuç, soğutma yeleğinin devre arası süresince kardiyovasküler zorlanmayı azaltarak kalp hızının toparlanmasını kolaylaştırdığını, bununla beraber sonraki yüksek yoğunluklu egzersizde daha yüksek güç üretimine izin verdiğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca, gövde bölgesinde cilt sıcaklığındaki düşüşün periferik kan akışını azaltarak merkezi dolaşımın korunmasına katkı sağladığı, bunun da kalp hızındaki toparlanmayı hızlandırdığı vurgulanmıştır (3).

Seeley ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, egzersiz sonrası 36°C ve %45 bağıl nem koşullarında uygulanan toparlanma döneminde soğutma yeleği kullanımının kalp hızı toparlanmasını belirgin şekilde iyileştirdiği bildirilmiştir. Özellikle egzersiz sonrası ilk 15 dakikalık toparlanma sürecinde kalp hızında yaklaşık 9 atım/dk'lık daha fazla düşüş sağlanmış, 60 dakikalık toparlanma süresince ise bu etkinin devam ettiği ve kontrol grubuna kıyasla kalp hızında ek olarak 7 atım/dk daha fazla düşüş gözlenmiş ve bu durum KHTİ değerleri bakımından soğutma yeleği grubunun kontrol grubuna kıyasla daha yüksek toparlanma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (163).

Peçanha ve arkadaşlarının sıcak ve soğuk ortamda egzersiz sonrası kalp hızı toparlanmasını inceledikleri çalışmada, sıcak stresinin egzersiz sonrası kalp atım hızı toparlanmasını belirgin şekilde geciktirdiği gösterilmiştir. Nitekim hem hızlı fazı temsil eden KHTİ_{60s} hem de yavaş fazı temsil eden KHTİ_{300s} sıcak koşullarda anlamlı derecede daha düşük bulunmuş, bu da parasempatik yeniden aktivasyonun baskılandığını ve sempatik geri çekilmenin geciktiğini ortaya koymuştur (164).

Bizim çalışmamızda, özellikle ikinci testte ve çapraz geçiş sonrası uygulamalarda KHTİ değerlerinin soğutma grubunda kontrol grubuna kıyasla daha yüksek bulunması, Chaen ve Seeley'nin bulgularıyla paralellik göstermektedir; her iki çalışmada da soğutma yeleği kardiyovasküler zorlanmayı azaltarak toparlanmayı hızlandırmış ve sonraki egzersiz için daha iyi bir hazırlık sağlamıştır. Buna karşılık, Peçanha ve arkadaşlarının çalışmasında

sıcak stresinin kalp hızı toparlanmasını yavaşlattığı ve parasempatik yeniden aktivasyonu baskıladığı bildirilmiştir. Bu durum, bizim çalışmamızdaki bulguların aksine olumsuz bir tablo ortaya koymakla birlikte, soğutma stratejilerinin termal stresi azaltarak toparlanmayı hızlandırabileceğini destekler niteliktedir.

Genç sporcularda kalp hızı toparlanmasının hızlı olması, kardiyak otonom sistemin sağlıklı işleyişini göstermesi ve yoğun egzersizlere daha kısa sürede yeniden adapte olabilmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, soğutma uygulamalarının genç sporcularda toparlanma kapasitesini artırarak hem performansın korunmasına hem de uzun vadede kardiyovasküler sağlığın desteklenmesine katkı sağlayabileceği söylenebilir. Literatürde egzersiz sonrası soğutma uygulamasının RER değerleri üzerine yalnızca egzersiz sonu bir zaman diliminde ölçüldüğü, farklı zaman dilimlerinde incelendiği çalışmalara rastlanmamıştır.

RER değeri, egzersiz şiddeti arttıkça yükselme eğilimi gösterir. Dinlenme halinde bu değer genellikle 0.70–0.75 düzeyindeyken, orta yoğunluklu egzersizlerde 0.80–0.90 aralığına çıkar. Egzersiz yükü maksimum seviyelere ulaştığında ise yaklaşık 1.10–1.20 değerleriyle en yüksek noktaya ulaşır. Toparlanma döneminde gözlenen RER artışı, egzersizin hemen ardından ortaya çıkan geçici hiperventilasyon ile ilişkilidir (165).

Sıcak ortam koşullarında yapılan çalışmalarda, RER değerlerinin belirgin şekilde etkilendiği gösterilmiştir. Nitekim yapılan araştırmalar, ısı stresinin karbonhidrat oksidasyonunu artırarak RER değerlerini yükselttiğini ve buna paralel olarak yağ oksidasyonunu baskıladığını ortaya koymuştur (166). Benzer şekilde farklı çalışmalar da sıcak ortamın ve dehidrasyonun, uzun süreli egzersiz sırasında karbonhidrat metabolizmasına bağımlılığını artırdığını, kas glikojen kullanımını hızlandırdığını ve RER değerlerinde yükselmeye yol açtığını bildirmiştir (167).

RER değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalarda, ilk uygulamada birinci testte soğutma grubunun RER₁, RER₂, RER₉, RER₁₀ ve RER₁₁ değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğu belirlendi. Soğutma uygulaması sonrasındaki ikinci testte ise soğutma grubunun tüm RER değerleri kontrol grubuna göre daha düşük bulundu. Çapraz geçiş sonrasında, birinci testte soğutma grubunun RER₁ değerinin kontrol grubuna kıyasla daha düşük, RER₃ değerinin ise daha yüksek olduğu görüldü. Soğutma uygulaması

sonrasındaki ikinci testte ise soğutma grubunun tüm RER değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu saptandı.

Laia ve arkadaşlarının elit erkek sprint kano sporcuları üzerinde yaptıkları çalışmada, soğutma yeleğinin RER üzerine etkileri incelenmiş olup egzersiz sonrası aktif dinlenme döneminde soğutma yeleği giyildiğinde, RER değerlerinin yeleksiz koşullara kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, 500 m'lik maksimal performans testinden sonra da soğutma yeleği koşulunda RER değerlerinin daha düşük seyretme eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Bu etkinin soğutma yeleğinin cilt sıcaklığını yaklaşık 4°C düşürmesiyle periferik kan akışını azaltarak merkezi dolaşımı korumasına ve metabolik atık ürünlerin, özellikle de laktatın, daha hızlı uzaklaştırılmasına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir (146).

Luomala ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada tükenme noktasında RER değeri, kontrol koşulunda soğutma koşuluna göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuş ve bu durumun daha fazla anaerobik metabolizma kullanımından kaynaklandığını belirtmişlerdir (147). Bu tez çalışmasındaki RER değerlerinde meydana gelen değişim sonuçlarının literatürdeki bu çalışmalarla uyumlu olduğu saptanmıştır.

Arngrímsson ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, soğutma yeleğinin aktif ısınma sırasında kullanımının 5 km koşu performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Bulgular, RER değerlerinin koşu boyunca her iki koşulda da 1.0'ın üzerinde seyrettiğini ve metabolik olarak yüksek karbonhidrat kullanımını yansıttığını göstermiştir. Ancak soğutma yeleği uygulamasında, 3.2 km'de RER'nin kontrol grubuna kıyasla biraz daha yüksek (1.07'ye karşı 1.05), 5 km'de ise benzer şekilde hafif yükselmiş (1.08'e karşı 1.06) olduğu rapor edilmiştir (143).

Stevens ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, farklı soğutma stratejilerinin koşu performansı ve fizyolojik yanıtlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, hem soğuk suya daldırma (SSD) hem de yüz bölgesine uygulanan su spreyi (SPREY) yöntemlerinin, RER değerleri açısından kontrol koşuluna kıyasla daha yüksek seviyeler (KON: 0.978 ± 0.023 ; SSD: 0.985 ± 0.023 ; SPREY: 0.995 ± 0.023) oluşturduğunu belirtmiştir (168). Chaen ve arkadaşlarının devre arası soğutma yeleği uygulaması üzerine yaptıkları çalışmada kan laktat değerlerinin hem birinci test sonunda hem de ikinci test sonunda iki koşul arasında anlamlı bir fark göstermediğini ortaya koymuştur (3). Bu tez

çalışmasındaki RER değerleriyle literatürdeki bu çalışmalardaki sonuçların farklı olması yalnızca tek bir zaman dilimdeki toparlanma süreçlerinin incelenmesi ve farklı soğutma tekniklerinin kullanılması olabilir.

Bizim çalışmamızda soğutma grubunda gözlenen RER farklılıkları, sıcak ortamda egzersizin metabolik ve kardiyovasküler sistem üzerindeki etkilerinden kaynaklanmış olabilir. Artan ısı yüküyle birlikte glikojenolizin hızlanması ve karbonhidrat oksidasyonunun öne çıkması, buna karşılık yağ oksidasyonunun baskılanması söz konusu olabilir. Ayrıca vücut sıcaklığındaki yükselişin tetiklediği sempatik aktivasyon ile daha yüksek laktat birikimi, CO₂ üretimini artırarak RER değerlerinin yükselmesine katkıda bulunmuş olabilir.

Algılanan efor, bireylerin egzersiz sırasındaki zorlanma düzeyini subjektif olarak değerlendirmelerine imkân tanıyan, hem performans takibinde hem de antrenman yükünün düzenlenmesinde önemli bir göstergedir. Sporcularda algılanan efor, yalnızca fiziksel yorgunluğu değil, aynı zamanda kardiyovasküler ve termoregülatuar sistemlerin yükünü de yansıtır.

Algılanan efor açısından ilk uygulamada birinci test sonrası soğutma ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark görülmezken ikinci test sonrası soğutma grubunun daha düşük yorgunluk düzeylerine sahip olduğu belirlendi. Çapraz geçiş sonrasında da benzer şekilde, ilk testte fark bulunmazken ikinci testte soğutma grubunun kontrol grubuna kıyasla daha düşük yorgunluk düzeylerine ulaştığı belirlendi.

Chaen ve arkadaşlarının devre arası soğutma yeleği kullanarak yaptıkları çalışmada, soğutma yeleği uygulamasının ardından sporcuların algılanan efor değerlerinin soğutma grubunda 13 puan, kontrol grubunda ise 17 puan olarak bulunduğu ve soğutma grubunda kontrol grubuna kıyasla daha düşük seyrettiği bildirilmiştir (3).

Yanaoka ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, 15 dakikalık süren bir mola sırasında uygulanan soğutma yönteminin algılanan efor üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, ikinci egzersiz öncesinde soğutma grubunda RPE değerleri kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (ortalama fark: -1.3 ± 0.9 puan) (153).

Eijsvogels ve arkadaşlarının çalışmasında, soğutma yeleğinin koşu sırasında algılanan efor üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgulara göre 5 km koşu testi boyunca her iki grupta da algılanan efor değerleri mesafe ile birlikte anlamlı şekilde artmıştır, ancak

soğutma yeleği ile kontrol koşulları arasında hem mutlak algılanan efor skorları hem de zaman içindeki değişim açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Örneğin, koşunun 1. kilometresinde kontrol grubunun algılanan efor skoru değeri yaklaşık 5.6 iken, soğutma grubunda 5.2; son kilometrede ise sırasıyla 18 ve 17.6 olarak rapor edilmiştir (151). Laia ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, soğutma yeleği uygulamasının ardından sporcularda algılanan efor (RPE) değerlerinde beklenen bir azalma gözlenmemiştir (146).

Bizim çalışmamızda algılanan efor değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunması, literatürde Chaen ve Yanaoka'nın çalışmalarında rapor edilen bulgularla uyumludur. Bu durumun temel nedeni, soğutma uygulamasının vücut sıcaklığını düşürerek termal stresi azaltması ve buna bağlı olarak algısal eforu hafifletmesi olabilir. Nitekim Tucker ve arkadaşları, ısısal bilginin hipotalamusa iletilmesinin güç çıktısındaki azalmayı dolaylı olarak etkileyebileceğini öne sürmüşlerdir (169). Dolayısıyla, soğutma stratejilerinin hem fizyolojik yükü hafifletmesi hem de merkezi sinir sistemi üzerinden algısal zorlanmayı azaltması, bizim çalışmamızda gözlenen daha düşük RPE değerlerini açıklayabilecek olası mekanizmalar arasında yer alabilir.

Bu tez çalışmasının bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Araştırmanın yapılan ortam şartları her ne kadar eşit tutularak ölçümler alınsa da çalışmanın laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olması, sporcuların doğal yarış koşullarının dışında değerlendirilmesine yol açmıştır. Ayrıca çalışmaya katılan genç sporcuların testi ilk defa uygulamaları ve test esnasında heyecan yaşamaları, özellikle de bazı sporcularda istirahat kalp hızının yüksek ölçülmesine neden olmuş ve bu durum performans verilerini etkileyebilecek bir kısıtlılık olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında, literatürde genç futbolcuların fizyolojik yeterlilikleri ve toparlanma süreçlerine ilişkin verilerin sınırlı olması, mevcut bulguların daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmasını güçleştirmiştir. Ayrıca çalışmaya yalnızca erkek sporcuların dahil edilmiş olması, cinsiyet farklılıklarının fizyolojik yanıtlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilememesine yol açmış ve bu durum bulguların genellenebilirliğini sınırlamıştır. Bunun yanında, literatürde genç futbolcuların fizyolojik yeterlilikleri ve toparlanma süreçlerine ilişkin verilerin sınırlı olması, mevcut bulguların daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmasını güçleştirmiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında genç futbolcularda egzersiz sonrası soğutma yeleği kullanımının performans ve toparlanma süreçleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, özellikle kalp hızı toparlanma indeksi, solunum ve

metabolik parametreler açısından soğutma uygulamasının olumlu katkıları sağlayabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, genç sporcuların fizyolojik kapasitelerinin anlaşılması ve uluslararası verilerle kıyaslanabilmesi açısından özgün bir değer taşımakta, aynı zamanda sporcuların performanslarını geliştirme ve antrenman süreçlerini optimize etme noktasında somut veriler sunmaktadır.

Bu bulgular ışığında, soğutma yeleği gibi termal müdahalelerin genç futbolcularda kullanımının hem performans optimizasyonu hem de toparlanma süreçlerinin desteklenmesi açısından önemli bir araç olabileceği söylenebilir. Ayrıca elde edilen veriler, antrenörler, kondisyonerler, spor bilimciler ve sağlık profesyonelleri için pratik stratejiler geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Böylece, genç futbolcularda termoregülasyon kapasitesinin artırılması ve yoğun egzersiz sonrası toparlanmanın hızlandırılması, hem performansın korunmasına hem de uzun vadede sporcu sağlığının desteklenmesine yönelik önemli bir adım olabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences* 24: 665–674.
2. Bangsbo J (1994). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta physiologica Scandinavica Supplementum* 619: 1–155.
3. Chaen Y, Onitsuka S, Hasegawa H (2019). Wearing a cooling vest during half-time improves intermittent exercise in the heat. *Frontiers in Physiology* 10: 711.
4. Ekblom B (1986). *Applied Physiology of Soccer*. *Sports Medicine* 3: 50–60.
5. Mohr M, Mujika I, Santisteban J, Randers MB, Bischoff R, Solano R, Hewitt A, Zubillaga A, Peltola E, Krstrup P (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20: 125–132.
6. Özgünen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren Ç, Korkmaz S, Yazıcı Z, Ersöz G, Shirreffs SM, Binnet MS, Dvorak J (2010). Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20: 140–147.
7. Herdy AH, Ritt LEF, Stein R, Araújo CGS de, Milani M, Meneghelo RS, Ferraz AS, Hossri CAC, Almeida AEM de, Fernandes-Silva MM (2016). Cardiopulmonary Exercise Test: Fundamentals, Applicability and Interpretation. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia* 107: 467-481.
8. Ceylan E (2014). Kardiyopulmoner egzersiz testleri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations* 5: 504-509.
9. Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS (2015). The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 49: 7–13.
10. Faulkner SH, Ferguson RA, Gerrett N (2015). Reducing muscle temperature drop after warm-up improves sprint cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2013 Feb;45(2):359-65.
11. Anderson RH, Razavi R, Taylor AM (2004). Cardiac anatomy revisited. *Journal of Anatomy* 205: 159–177.

12. Des Jardins TR (1988). Cardiopulmonary Anatomy & Physiology: Essentials for Respiratory Care. American Review of Respiratory Disease 138: 550–600.
13. Köylü H (2020). Tıbbi Fizyoloji Klinik Anlatımlı, Ankara: Ankara Nobel Tıp Kitabevleri. 4: 80-120.
14. Cutfield GR (1983). The Systemic and Pulmonary Circulations. Care of the Critically Ill Patient London: Springer London, pp 19–36.
15. Kenney WLarry, Wilmore JH., Costill DL. (2015). Physiology of sport and exercise Human Kinetics. 6: 280-368.
16. Macklem PT (1998). The Mechanics of Breathing. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 157: S88–S94.
17. Ozemek Cemal, Bonikowske AR., Christle JW., Gallo PM. (2025). ACSM’s guidelines for exercise testing and prescription Wolters Kluwer: 120-225.
18. Kraemer WJ., Fleck SJ., Deschenes MR. (2012). Exercise physiology : integrated from theory to practical applications Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health. 3: 156-326.
19. Koeppen BM., Stanton BA. (2018). Berne & Levy physiology, 7th Edition Elsevier: 448-526.
20. Malina RM., Bouchard Claude, Bar-Or Oded (2004). Growth, maturation, and physical activity Human Kinetics. 335-501.
21. Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP (2005). Task Force 8: Classification of sports. Journal of the American College of Cardiology 45: 1364–1367.
22. Özdemir Dilek S (2017). Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Atletlerde Egzersiz Öncesi Ve Sonrası Kardiyak Biyomarkerlar, Ekg Değişiklikleri Ve Eko Bulgularının Değerlendirmesi Adana: Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi. Cukurova Med J 2023;48(3):929-938.
23. Sacks D (2003). Age limits and adolescents. Paediatrics & Child Health 8: 570–577.
24. Baxter-Jones ADG (2013). Growth, Maturation, and Training. Gymnastics Wiley, pp 15–27.

25. Hind K, Burrows M (2007). Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone* 40: 14–27.
26. Strong WB, Malina RM, Blimkie CJR, Daniels SR, Dishman RK, Gutin B, Hergenroeder AC, Must A, Nixon PA, Pivarnik JM. (2005). Evidence Based Physical Activity for School-age Youth. *The Journal of Pediatrics* 146: 732–737.
27. Janssen I, LeBlanc AG (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 7: 40.
28. Biddle SJH, Asare M (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents: a review of reviews. *British Journal of Sports Medicine* 45: 886–895.
29. Eime RM, Young JA, Harvey JT, Charity MJ, Payne WR (2013). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 10: 98.
30. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience* 9: 58–65.
31. Burton DA, Stokes K, Hall GM (2004). Physiological effects of exercise. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain* 4: 185–188.
32. Xiang Lusha, Hester RL. (2017). *Cardiovascular responses to exercise*, 2nd ed. Morgan & Claypool: 104-108
33. Uzun M (2016). Kardiyovasküler Sistem ve Egzersiz. *Journal of Cardiovascular Nursing* 7: 48–53.
34. Mitchell JH, Schmidt RF (1983). Cardiovascular Reflex Control by Afferent Fibers from Skeletal Muscle Receptors. *Comprehensive Physiology* Wiley, pp 623–658.
35. Rowell LB, O’Leary DS, Kellogg DL (1996). Integration of Cardiovascular Control Systems in Dynamic Exercise. *Comprehensive Physiology* Wiley, pp 770–838.
36. Mitchell JH (2012). Neural control of the circulation during exercise: insights from the 1970–1971 Oxford studies. *Experimental Physiology* 97: 14–19.

37. Krogh A, Lindhard J (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *The Journal of Physiology* 47: 112–136.
38. Goodwin GM, McCloskey DI, Mitchell JH (1972). Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *The Journal of Physiology* 226: 173–190.
39. Grotle A-K, Macefield VG, Farquhar WB, O’Leary DS, Stone AJ (2020). Recent advances in exercise pressor reflex function in health and disease. *Autonomic Neuroscience* 228: 102698.
40. Kaufman MP, Longhurst JC, Rybicki KJ, Wallach JH, Mitchell JH (1983). Effects of static muscular contraction on impulse activity of groups III and IV afferents in cats. *Journal of Applied Physiology* 55: 105–112.
41. Tsuchimochi H, Hayes SG, McCord JL, Kaufman MP (2009). Both central command and exercise pressor reflex activate cardiac sympathetic nerve activity in decerebrate cats. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 296: H1157–H1163.
42. Fadel PJ, Raven PB (2012). Human investigations into the arterial and cardiopulmonary baroreflexes during exercise. *Experimental Physiology* 97: 39–50.
43. Maceel BC, Gallo L, Marin Neto JA, Lima Filho EC, Martins LEB (1986). Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. *Clinical Science* 71: 457–460.
44. Alam M, Smirk FH (1937). Observations in man upon a blood pressure raising reflex arising from the voluntary muscles. *The Journal of Physiology* 89: 372–383.
45. Smith DL., Fernhall Bo (2023). Advanced cardiovascular exercise physiology, 2nd ed. *Human Kinetics*. 2: 214-220
46. O’Leary DS, Seamans DP (1993). Effect of exercise on autonomic mechanisms of baroreflex control of heart rate. *Journal of Applied Physiology* 75: 2251–2257.
47. Coote JH (2010). Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Experimental Physiology* 95: 431–440.
48. Guyenet PG (2006). The sympathetic control of blood pressure. *Nature Reviews Neuroscience* 7: 335–346.

49. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC. (2013). Exercise Standards for Testing and Training. *Circulation* 128: 873–934.
50. Wilkoff BL, Miller RE (1992). Exercise testing for chronotropic assessment. *Cardiology clinics* 10: 705–717.
51. Karvonen J, Vuorimaa T (1988). Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities. *Sports Medicine* 5: 303–312.
52. Dalleck L, Dalleck A (2008). The ACSM exercise intensity guidelines for cardiorespiratory fitness: Why the misuse? *Journal of Exercise Physiology Online* 11: 1–11.
53. Rivera-Brown AM, Frontera WR (2012). Principles of Exercise Physiology: Responses to Acute Exercise and Long-term Adaptations to Training. *PM&R* 4: 797–804.
54. Hall JE., Hall ME. (2025). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* Elsevier. 15:885-890.
55. Borresen J, Lambert MI (2008). Autonomic Control of Heart Rate during and after Exercise. *Sports Medicine* 38: 633–646.
56. Astrand PO., Rodahl K., Dahl HA., Stromme SB. (2003). *Textbook of work physiology : physiological bases of exercise*. 4th ed Human Kinetics. 4: 89-91.
57. Plotnick GD, Becker LC, Fisher ML, Gerstenblith G, Renlund DG, Fleg JL, Weisfeldt ML, Lakatta EG (1986). Use of the Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal upright exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 251: H1101–H1105.
58. Francis GS (1987). Hemodynamic and neurohumoral responses to dynamic exercise: normal subjects versus patients with heart disease. *Circulation* 76: VII1-7.
59. Murphy MN, Mizuno M, Mitchell JH, Smith SA (2011). Cardiovascular regulation by skeletal muscle reflexes in health and disease. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 301: H1191–H1204.
60. Ağar E, Dal U (2021). *İnsan Fizyolojisi*, 1. Baskı İstanbul Tıp Kitabevleri. 1:55-58.

61. Mancia G, Laurent S, Agabiti-Rosei E, Ambrosioni E, Burnier M, Caulfield MJ, Cifkova R, Clément D, Coca A, Dominiczak A. (2009). Reappraisal of European guidelines on hypertension management: a European Society of Hypertension Task Force document. *Blood Pressure* 18: 308–347.
62. Kayrak M, Bacaksiz A, Vatankulu MA, Ayhan SS, Taner A, Ünlü A, Yazici M, Ulgen MS (2010). Association Between Exaggerated Blood Pressure Response to Exercise and Serum Asymmetric Dimethylarginine Levels. *Circulation Journal* 74: 1135–1141.
63. Syme AN, Blanchard BE, Guidry MA, Taylor AW, VanHeest JL, Hasson S, Thompson PD, Pescatello LS (2006). Peak Systolic Blood Pressure on a Graded Maximal Exercise Test and the Blood Pressure Response to an Acute Bout of Submaximal Exercise. *The American Journal of Cardiology* 98: 938–943.
64. Bostan C, Karcier, (Müniboğlu) S (2002). Angiotensin-Converting Enzyme Polymorphisms and Cardiovascular Diseases. *Turk Kardiyol Dern Ars* 30: 441–448.
65. Ford LE (1976). Heart size. *Circulation Research* 39: 297–303.
66. Lenasi H (2014). Physical exercise and skin microcirculation. *Periodicum Biologorum* 116: 21–28.
67. Thomas SN, Schroeder T, Secher NH, Mitchell JH (1989). Cerebral blood flow during submaximal and maximal dynamic exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* 67: 744–748.
68. Pescatello LS, Fargo AE, Leach CN, Scherzer HH (1991). Short-term effect of dynamic exercise on arterial blood pressure. *Circulation* 83: 1557–1561.
69. Henschen S (1899). Skilanglauf und skiwettlauf. Eine medizinische sportstudie. *Mitt Med Klin Uppsala (Jena)* 2: 15.
70. Morganroth J, Maron Bj, Henry Wl, Epstein S. (1975). Comparative Left Ventricular Dimensions in Trained Athletes. *Annals of Internal Medicine* 82: 521–524.
71. Baumgartner L, Schulz T, Oberhoffer R, Weberruß H (2019). Influence of Vigorous Physical Activity on Structure and Function of the Cardiovascular System in Young Athletes—The MuCAYA-Study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 6: 158-170.
72. Fagard RH (1997). Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiology Clinics* 15: 397–412.

73. Sharma S, Whyte G, Elliott P, Padula M, Kaushal R, Mahon N, McKenna WJ (1999). Electrocardiographic changes in 1000 highly trained junior elite athletes. *British Journal of Sports Medicine* 33: 319–324.
74. Goh F. Q (2021). Can too much exercise be dangerous: what can we learn from the athlete's heart? *British Journal of Cardiology*. 28(3), 30.
75. Garrett WE., Kirkendall DT. (2000). Exercise and sport science *Exercise and sport science*. 1:220-225.
76. Foss ML, Keteyian SJ, Fox EL (1997). Fox's physiological basis for exercise and sport (6th edition). 6:141-148.
77. Jones NL (1984). Dyspnea in exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 16: 14–19.
78. Whipp BJ (1994). Peripheral chemoreceptor control of exercise hyperpnea in humans. *Medicine and science in sports and exercise* 26: 337–347.
79. Sönmez GT, Bölükbaş MG, Vatansever Ş (2021). *Egzersiz ve Spor Fizyolojisi, Birinci Baskı Palme Yayıncılık*. 1:28-33.
80. Günay M, Cicioğlu Hİ (1998). *Egzersiz ve spor fizyolojisi, Birinci Baskı Bağırman Yayınevi*. 1:66-69.
81. Hall JE., Hall ME. (2026). *Guyton and Hall textbook of medical physiology Elsevier*. 15:558-600.
82. Liberman K, Forti LN, Beyer I, Bautmans I (2017). The effects of exercise on muscle strength, body composition, physical functioning and the inflammatory profile of older adults. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 20: 30–53.
83. McArdle WD., Katch FI., Katch VL. (2023). *Exercise physiology : nutrition, energy, and human performance, 7rd ed Philadelphia: Wolters Kluwer*. 7:178-182.
84. Wells GD, Selvadurai H, Tein I (2009). Bioenergetic provision of energy for muscular activity. *Paediatric Respiratory Reviews* 10: 83–90.
85. Gustin PB (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine* 31: 725–741.

86. Yıldız SA (2012). Aerobik ve anaerobik kapasitenin anlamı nedir. *Solunum dergisi* 14: 1–8.
87. Powers SK, Howley ET (2018). *Exercise physiology : theory and application to fitness and performance*, Tenth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education. 10:201-220.
88. Franchini E, Takito MY, Dal’Molin Kiss MAP (2016). Performance and energy systems contributions during upper-body sprint interval exercise. *Journal of Exercise Rehabilitation* 12: 535–541.
89. Juel C (2001). Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology* 86: 12–16.
90. Peter AF, Caiozzo V, Joyner M (2022). *ACSM’s Advanced Exercise Physiology*, Second edition Wolters Kluwer Health Adis (ESP). 2:25-29.
91. Khan MZ, Saleem S, Hassan MA, Usman Ghanni Khan M (2018). Learning Deep C3D Features For Soccer Video Event Detection. 2018 14th International Conference on Emerging Technologies (ICET) pp 1–6.
92. Wong P, Hong Y (2005). Soccer injury in the lower extremities. *British Journal of Sports Medicine* 39: 473–482.
93. Reeves S, Poh B, Brown M, Tizzard N, Ismail M (1999). Antropometric measurements and body composition of English and Malaysian footballers. *Malaysian journal of nutrition* 5: 79–86.
94. Brito Souza D, López-Del Campo R, Blanco-Pita H, Resta R, Del Coso J (2020). Association of match running performance with and without ball possession to football performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 20: 483–494.
95. Di Salvo V, Pigozzi F, González-Haro C, Laughlin M, De Witt J (2012). Match Performance Comparison in Top English Soccer Leagues. *International Journal of Sports Medicine* 34: 526–532.
96. Faude O, Koch T, Meyer T (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences* 30: 625–631.
97. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences* 21: 519–528.

98. Taylor L, Rollo I (2014). Impact of altitude and heat on football performance. *Sports Science Exchange* 27: 1–9.
99. Bangsbo J (1994). Energy demands in competitive soccer. *Journal of sports sciences* 12 Spec No: S5-12.
100. Daanen HAM, Van Marken Lichtenbelt WD (2016). Human whole body cold adaptation. *Temperature* 3: 104–118.
101. Parsons K (2014). *Human Thermal Environments* CRC Press. 3:74-79.
102. Hanna E, Tait P (2015). Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 8034–8074.
103. Ünal M (2011). Sıcak ve soğuk ortamda egzersiz (I). *Journal of Istanbul Faculty of Medicine* 1: 64-65.
104. Akgün N (1986). *Egzersiz Fizyolojisi, Birinci baskı* İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi. 1:14-19.
105. Günay M, Tamer K, Şıktar E, Cicioğlu İ (2006). *Spor Fizyolojisi ve Performans Ölçüm Testleri , Birinci Baskı* Ankara: Gazi Kitabevi. 1:25-28.
106. van Ooijen AMJ (2008). *Human thermoregulation : individual differences in cold induced thermogenesis* maastricht university. 1: 25-36.
107. Ribando RJ. (2002). *Heat Transfer Tools A Practical Approach*, 3rd ed. Singapor: McGraw-Hill. 3:66-69.
108. McIntyre DA. (1980). *Indoor climate* Applied Science Publishers. 1:369-378.
109. Sessler DI (2009). Thermoregulatory defense mechanisms. *Critical Care Medicine* 37: S203–S210.
110. Hall JE., Hall ME. (2025). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* Elsevier. 15: 554-560.
111. Tansey EA, Johnson CD (2015). Recent advances in thermoregulation. *Advances in Physiology Education* 39: 139–148.
112. Benzinger TH (1969). Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiological Reviews* 49: 671–759.

113. Boron WF., Boulpaep EL. (2017). *Medical physiology* Elsevier. 3:158-164.
114. González-Alonso J, Crandall CG, Johnson JM (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of Physiology* 586: 45–53.
115. Cramer MN, Jay O (2016). Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress. *Autonomic Neuroscience* 196: 3–13.
116. Johnson JM, Minson CT, Kellogg DL (2014). Cutaneous Vasodilator and Vasoconstrictor Mechanisms in Temperature Regulation. *Comprehensive Physiology* Wiley, pp 33–89.
117. Périard JD, Eijsvogels TMH, Daanen HAM (2021). Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological Reviews* 101: 1873–1979.
118. Pavlinovic V, Morgans R, Modric T (2024). Temperature-Related Variations in Physical Performance During Elite Soccer Matches. *Sports* 12: 341.
119. Plakias S, Tsatalas T, Mina MA, Kokkotis C, Flouris AD, Giakas G (2024). The Impact of Heat Exposure on the Health and Performance of Soccer Players: A Narrative Review and Bibliometric Analysis. *Sports* 12: 249.
120. Bergeron MF, DiLaura Devore C, Rice SG (2011). Climatic Heat Stress and Exercising Children and Adolescents. *Pediatrics* 128: e741–e747.
121. Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L (2013). Precooling Methods and Their Effects on Athletic Performance. *Sports Medicine* 43: 207–225.
122. Bongers CCWG, Thijssen DHJ, Veltmeijer MTW, Hopman MTE, Eijsvogels TMH (2015). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine* 49: 377–384.
123. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgraduate Medical Journal* 83: 675–682.
124. Forman DE, Myers J, Lavie CJ, Guazzi M, Celli B, Arena R (2010). Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine* 122: 68–86.

125. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *Journal of the American College of Cardiology* 17: 1334–1342.
126. American Thoracic Society, American College of Chest Physicians (2003). ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 167: 211–277.
127. Görek Dilektaslı A (2020). Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri ve Alan Testleri. *Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi* 7: 26–38.
128. Takken T, Bongers BC, van Brussel M, Haapala EA, Hulzebos EHJ (2017). Cardiopulmonary Exercise Testing in Pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society* 14: S123–S128.
129. Costache A-D, Roca M, Honceriu C, Costache I-I, Leon-Constantin M-M, Mitu O, Miftode R-Ştefan, Maştaleru A, Iliescu-Haliţchi D, Haliţchi-Iliescu C-O. (2022). Cardiopulmonary Exercise Testing and Cardiac Biomarker Measurements in Young Football Players: A Pilot Study. *Journal of Clinical Medicine* 11: 2772.
130. Hall JE., Hall ME. (2025). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* Elsevier. 15: 417-420.
131. Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP, Torres-Durán P V, Romero-Gonzalez J, Mascher D, Posadas-Romero C, Juárez-Oropeza MA (2008). The Respiratory Exchange Ratio is Associated with Fitness Indicators Both in Trained and Untrained Men: A Possible Application for People with Reduced Exercise Tolerance. *Clinical medicine Circulatory, respiratory and pulmonary medicine* 2: 1–9.
132. Forbes SC, Kennedy MD, Bell GJ (2013). Time-Motion Analysis, Heart Rate, and Physiological Characteristics of International Canoe Polo Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27: 2816–2822.
133. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL de M (2014). Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 34: 327–339.
134. Buchheit M, Papelier Y, Laursen PB, Ahmaidi S (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate

- variability? *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 293: H8–H10.
135. Watson AM, Brickson SL, Prawda ER, Sanfilippo JL (2017). Short-Term Heart Rate Recovery is Related to Aerobic Fitness in Elite Intermittent Sport Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31: 1055–1061.
136. Guttierrez APM, Natali AJ, Vianna JM, Reis VM, Marins JCB (2011). Dehydration in soccer players after a match in the heat. *Biology of Sport* 28: 249–254.
137. Hanna N, Riad K (2020). Mechanisms of thermal dysregulation in primary hyperhidrosis and hypohidrosis. *The Journal of Physiology* 598: 4753–4754.
138. Martins F, Przednowek K, França C, Lopes H, de Maio Nascimento M, Sarmiento H, Marques A, Ihle A, Henriques R, Gouveia ÉR (2022). Predictive Modeling of Injury Risk Based on Body Composition and Selected Physical Fitness Tests for Elite Football Players. *Journal of Clinical Medicine* 11: 4923.
139. Yılmaz C, Somoğlu MB (2023). Erkek Futbolcularda Vücut Kompozisyonunun Solunum Performansına Etkisi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*. 1: 873- 885
140. Barbosa Lins TC, Valente LM, Sobral Filho DC, Barbosa e Silva O (2015). Relation between heart rate recovery after exercise testing and body mass index. *Revista Portuguesa de Cardiologia* 34: 27–33.
141. Gondoni LA, Titon AM, Nibbio F, Augello G, Caetani G, Liuzzi A (2009). Heart rate behavior during an exercise stress test in obese patients. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 19: 170–176.
142. de Araújo JA, Queiroz MG, Novelli FI, de Jesus Lima de Sousa LC, Tricot GK, Dias ARL, Arsa G, Cambri LT (2017). Aerobic fitness influences rest and heart rate recovery on young men regardless of body mass index. *Sport Sciences for Health* 13: 217–223.
143. Arngrímsson SÁ, Pettitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ (2004). Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *Journal of Applied Physiology* 96: 1867–1874.
144. Kay D, Taaffe DR, Marino FE (1999). Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *Journal of Sports Sciences* 17: 937–944.

145. Lorente-González C, Beltran-Garrido JV, Batalla-Gavaldà A, Corbi F (2025). Effects of a Cooling Vest on Core and Skin Temperatures Following a Soccer-Specific Exercise Protocol. *Sports* 13: 235.
146. Laia Francisca D, Silva Gameiro Manuel da, Gomes Beatriz B, Santos Cupido Amândio dos, Silva Vieira Nuno da, Pinheiro João P (2022). The effectiveness of a cooling vest in post-exercise recovery in sprint kayaking elite male athletes. *Journal of Men's Health* 18: 1–8.
147. Luomala MJ, Oksa J, Salmi JA, Linnamo V, Holmér I, Smolander J, Dugué B (2012). Adding a cooling vest during cycling improves performance in warm and humid conditions. *Journal of Thermal Biology* 37: 47–55.
148. de Korte JQ, Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijsvogels TMH (2021). Exercise Performance and Thermoregulatory Responses of Elite Athletes Exercising in the Heat: Outcomes of the Thermo Tokyo Study. *Sports Medicine* 51: 2423–2436.
149. Renaghan E, Wittels HL, Feigenbaum LA, Wishon MJ, Chong S, Wittels ED, Hendricks S, Hecoeks D, Bellamy K, Girardi J. (2023). Exposures to Elevated Core Temperatures during Football Training: The Impact on Autonomic Nervous System Recovery and Function. *Sports* 12: 8.
150. Boudet G, Garet M, Bedu M, Albuissou E, Chamoux A (2002). Median Maximal Heart Rate for Heart Rate Calibration in Different Conditions: Laboratory, Field and Competition. *International Journal of Sports Medicine* 23: 290–297.
151. Eijsvogels T, Bongers C, Veltmeijer M, Moen M, Hopman M (2014). Cooling during Exercise in Temperate Conditions: Impact on Performance and Thermoregulation. *International Journal of Sports Medicine* 35: 840–846.
152. Bongers C (2012). Effectiveness of wearing a cooling vest on exercise performance and thermoregulatory responses during a 5-km time trial in highly trained athletes. Department of Physiology, Radboud University Nijmegen Medical Centre, Nijmegen, The Netherlands 6–18.
153. Yanaoka T, Iwahashi M, Hasegawa H (2022). Effects of mixed-method cooling between exercise bouts on thermoregulation and cycling time-trial performance in the heat. *Journal of Thermal Biology* 109: 103329.

154. Zhao J, Lorenzo S, An N, Feng W, Lai L, Cui S (2013). Effects of heat and different humidity levels on aerobic and anaerobic exercise performance in athletes. *Journal of Exercise Science & Fitness* 11: 35–41.
155. Waldron M, Fowler R, Heffernan S, Tallent J, Kilduff L, Jeffries O (2021). Effects of Heat Acclimation and Acclimatisation on Maximal Aerobic Capacity Compared to Exercise Alone in Both Thermoneutral and Hot Environments: A Meta-Analysis and Meta-Regression. *Sports Medicine* 51: 1509–1525.
156. Gutiérrez-Arroyo J, Rodríguez-Marroyo JA, García-Heras F, Rodríguez-Medina J, Collado PS, Villa-Vicente JG, Carballo-Leyenda B (2024). Effects of cooling vest and personal protective equipment removal on thermoregulation in wildland firefighters during progressive thermal loads. *Frontiers in Public Health* 12, 1408591
157. Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, Minson CT (2010). Heat acclimation improves exercise performance. *Journal of Applied Physiology* 109: 1140–1147.
158. Galloway SDR, Maughan RJ (1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29(9), 1240–1249.
159. No M, Kwak H-B (2016). Effects of environmental temperature on physiological responses during submaximal and maximal exercises in soccer players. *Integrative Medicine Research* 5: 216–222.
160. Jung W-S, Kim S-W, Park H-Y, Kim J, Lim K (2021). Effects of Acute Exposure to Thermal Stress on Cardiorespiratory Function, Skeletal Muscle Oxygenation, and Exercise Performance in Healthy Males. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18: 7404.
161. Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, Do D, Myers J (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *Journal of the American College of Cardiology* 38: 1980–1987.
162. Sears CE, Choate JK, Paterson DJ (1998). Inhibition of nitric oxide synthase slows heart rate recovery from cholinergic activation. *Journal of Applied Physiology* 84: 1596–1603.

163. Seeley AD, Sherman RA (2021). An Ice Vest, but Not Single-Hand Cooling, Is Effective at Reducing Thermo-Physiological Strain During Exercise Recovery in the Heat. *Frontiers in Sports and Active Living* 3: 660910.
164. Peçanha T, Forjaz CL de M, Low DA (2017). Passive Heating Attenuates Post-exercise Cardiac Autonomic Recovery in Healthy Young Males. *Frontiers in Neuroscience* 11:727.
165. Milani R V., Lavie CJ, Mehra MR, Ventura HO (2006). Understanding the Basics of Cardiopulmonary Exercise Testing. *Mayo Clinic Proceedings* 81: 1603–1611.
166. Mougín L, Macrae HZ, Taylor L, James LJ, Mears SA (2025). The Effect of Heat Stress and Dehydration on Carbohydrate Use During Endurance Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 10.1007/s40279-025-02294-3.
167. Rosbrook P, Sweet D, Qiao J, Looney DP, Margolis LM, Hostler D, Pryor RR, Pryor JL (2024). Heat stress increases carbohydrate oxidation rates and oxygen uptake during prolonged load carriage exercise. *Temperature* 11: 170–181.
168. Stevens CJ, Kittel A, Sculley D V., Callister R, Taylor L, Dascombe BJ (2017). Running performance in the heat is improved by similar magnitude with pre-exercise cold-water immersion and mid-exercise facial water spray. *Journal of Sports Sciences* 35: 798–805.
169. Tucker R, Noakes TD (2009). The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. *British Journal of Sports Medicine* 43: e1–e1.



EKLER

Ek 1. (Devam)

KTÜ TIP FAKÜLTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU				
BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	"Egzersiz Sonrası Vücut Soğutmanın Tekrarlayan Egzersiz Performansı ve Fizyolojik Toparlanma Üzerine Etkisi: Genç Sporcularda Çapraz-Geçiş Tasarımli Bir Araştırma"		
	ARAŞTIRMANIN PROTOKOL/PLAN KODU	2025/ 2		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Ahmet AYAR		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Fizyoloji		
	TEZ SAHİBİ/DİĞER ARAŞTIRICILAR, UNVANI/ADI/SOYADI	Yük.Lis.Öğr.Bilgehan Alp MEMİŞ		
	DESTEKLEYİCİ			
	ARAŞTIRMANIN NİTELİĞİ			
	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	TEZ <input checked="" type="checkbox"/> AKADEMİK AMAÇLI <input type="checkbox"/>		
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input type="checkbox"/>
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI			Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama		
	TÜRKÇE ETİKET ÖRNEĞİ	<input type="checkbox"/>		
	SİGORTA	<input type="checkbox"/>		
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	<input type="checkbox"/>		
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	<input type="checkbox"/>		
	ILAN	<input type="checkbox"/>		
	YILLIK BİLDİRİM	<input type="checkbox"/>		
	SONUÇ RAPORU	<input type="checkbox"/>		
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	<input type="checkbox"/>		
	DİĞER:	<input type="checkbox"/>		

EK 2. Egzersiz Testi Bilgi ve Onam Formu

BILGI & ONAM FORMU

Adı, Soyadı: _____ Cep Telefonu: _____
Adresi: _____ Ev
telefonu): _____ (Acil durumlarda) irtibat
bilgisi: _____ Telefon: _____

Genel Bilgiler:

Bu kardiyopulmoner egzersiz testi bisiklet veya treadmill ile egzersiz esnasında solunum havasından gaz analizi (oksijen ve karbondioksit) ve EKG aracılığı ile kalp hızı hesaplamalarını kapsamaktadır. Bu yolla egzersiz ve eforla elverişliliğim, alakalı parametrelerle sportif fiziksel performansım ve eforla zorlama şartlarında sağlık durumum hakkında bilgi elde edileceği bu testin sağlık riski taşımadığı, test esnasında istediğim her an testi kendi isteğimle sonlandırabileceğim ve /veya testi gerçekleştiren Fizyoloji Uzmanı tarafından gerekli görülmesi halinde testi sonlandırma isteğine uymam gerektiği bana anlatıldı ve kendi isteğimle bu teste katılmayı kabul ediyorum.

Egzersiz stres testine girmeden önce lütfen bu formu doldurarak imzalayınız			
GENEL SAĞLIĞINIZLA İLGİLİ	Evet(E)/ Hayır(H)	SİZİNLE İLGİLİ	E/H
1-Herhangi bir sağlık personeli tarafından fiziksel egzersiz yapmamanız konusunda tavsiye edildi mi?		Sigara içiyor musunuz?	
2-Fiziksel egzersiz yaptıktan sonra göğüs ağrısı hisseder misiniz?		Yüksek kan basıncı değerleriniz var mı?	
3-Egzersiz esnasında göğüs ağrısı hissettiğiniz oldu mu?		Yüksek kolesterol değerleriniz var mı?	
4-Bayıma, baş dönmesi, sersemlik veya bilinç kaybı yaşar mısınız?		Diyabet hastası mısınız?	
5-Siz veya ailenizde kalp-damar hastalığı öyküsü var mı?		Astım hastalığınız var mı?	

Ek 2. (Devam)

6-Yakın geçmişte ciddi bir hastalık veya ameliyat geçirdiniz mi?		Düzenli egzersiz yapar mısınız?	
7-Şu anda herhangi bir ilaçlı tedavi alıyor musunuz?		Kendi temponuzu belirlerseniz, durmadan ne kadar mesafe koşabilirsiniz?	
8-Hamile misiniz? Veya çok yakında doğum yaptınız mı? (Kadın)			

Sağlık ve performansıyla alakalı bu bilgiler gizli tutulacaktır; şahsi iznim olmadan hiç kimseye verilemez. Adım, resmim veya tanınmamı sağlayan bilgi içermeksizin verilerim bilimsel amaçlı istatistiki bilgi için kullanılabilir.

Teste Katılan Kişinin Adı Soyadı (Kendi El Yazısıyla):

İmzası ve Tarih:

Yukarıdaki bilgilerin egzersiz stres testine katılacak kişiye verildiğini ve bu görüşme neticesinde bilgi beyanına göre bu testi gerçekleştirmeye bir engel olmadığı kanaatinin mevcut bilimsel kanıtlar ışığında alındığını beyan ve onay ederim.

Testi Gerçekleştiren Yetkilinin Adı Soyadı, Unvanı:

İmza & Tarih _____

(Acil durumlarda) İrtibat Bilgisi:

Ek 3. Bilgilendirilmiş Onam Formu

Bilgilendirilmiş Onam Formu

Sayın Katılımcı,

Bu araştırma futbol sporu ile ilgilenen genç sporcularda tükenene kadar süren bir egzersiz aktivitesi (idman veya maç aktivitesini canlandıran şiddette ve sürede laboratuarda bisiklet çevirmek veya koşu bandında koşmak) sonrası vücut soğutma uygulamalarının egzersiz performansı ve fizyolojik toparlanma üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılacaktır.

Araştırma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi Bilgehan Alp Memiş'in yüksek lisans tezi olarak planlanmıştır.

Araştırmanın adı "Egzersiz Sonrası Vücut Soğutmanın Tekrarlayan Egzersiz Performansı ve Fizyolojik Toparlanma Üzerine Etkisi: Genç Sporcularda Çapraz-Geçiş Tasarımlı Bir Araştırma" olup, bu çalışma 15-17 yaş arası genç futbolcular üzerinde soğutma yeleği kullanarak egzersiz sonrası soğutmanın şiddeti kademeli olarak artırılan yük ile egzersiz performansı ve toparlanma süreçlerine olan etkilerini inceleyecektir. Sporcuların antrenman gereksinimlerinin arttığı, yüksek şiddetli antrenman ve maç temposu göz önüne alındığında etkili toparlanma stratejilerinin kullanılması çok önemlidir. Özellikle, egzersiz sonrası soğutma ve devre aralarında kullanılan soğuk uygulamaların oyuncular özelinde performansa ve toparlanmaya olumlu sonuçları vardır. Bu nedenle bu çalışma genç sporcularda artan egzersiz yükünden sonra soğutma yeleği giyerek egzersiz performansı ve fizyolojik toparlanma parametrelerini değerlendirmek amacıyla yapılacaktır.

Çalışmada sporcular Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim dalında bulunan test düzeneğinde standart bir ısınma protokolü sonrasında şiddeti artan yoğunlukta (bisiklet pedalının direncini artırma veya treadmill hız ve eğimini artırma yoluyla) egzersiz testine tabi tutulacaklardır. Test sırasında oyuncuya solunum maskesi ve kalp grafiği (EKG) elektrotları takılarak belirli yorgunluk seviyesine kadar bisiklet çevirtilecektir. Bu test sırasında, her iki koşulda (soğutma yeleği kullanarak egzersiz sonrası soğutma grubu ve kontrol grubu) fizyolojik performans parametreleri ölçülerek, soğutma yeleğinin genç futbolcular üzerindeki etkileri objektif verilerle analiz edilecektir. Bu işlem sizin egzersiz testine devam edemeyeceğinizi fiziksel olarak işaret ettikten sonra sonlandırılacaktır. Test öncesi ve sonrasında oyuncuların vücut sıcaklığı, kalp atış hızı, kalp atış hızı yedeği, dakikada , solunum değişim oranı, maksimal oksijen kullanımı (VO₂max) ve yorgunluk parametreleri değerlendirilecektir. Çapraz tasarımlı araştırmamızda soğutma yeleği kullanarak egzersiz testi yapan ve kontrol grubu 1 hafta sonra değiştirilerek tekrardan egzersiz testine tabi tutulacaktır. Yaptığımız tüm görüşmelerde verilen bilgiler, sadece bu araştırmada kullanılacak ve kişisel bilgiler kesinlikle gizli tutulacaktır.

Ek 3. (Devam)

Ayrıca araştırma sonuçlarını yazarken sizlerin isimleri kesinlikle araştırma raporunda yer almayacaktır. Bu araştırma ile ilgili kararınızı verirken gerek duyduğunuz bilgileri istemeye, doğru, anlaşılır ve tatmin edici yanıtlar almaya hakkınız vardır. Araştırmaya katılıp katılmama konusunda tamamen özgürsünüz.

Elde edilecek bazı ölçüm sonuçları (Kalp atım hızı, VO2 Max, Ventilasyon değeriniz...) adınızı belli olmadan ortalama hesaplamalarda kullanılacak ve bu değerler tez çalışmasında kullanılacaktır. Bu test için sizden asla bir ücret talep edilmeyecek olup, çalışmaya katıldığınız için size herhangi bir ödeme yapılmayacaktır. Çalışmanın süresi her bir oyuncu için toparlanma süreçleride hesaplanacak şekilde yaklaşık 30 dakikadır. Katılımcı test sonrası 15 dakika dinlecektir ve ardından tekrardan aynı protokoller izlenerek ikinci bir test yapacaktır. Bu çalışma süresince sizlerden şiddeti giderek artan egzersiz testini yapmanız ve çalışma sonunda yorgunluk seviyenizi belirlemeniz beklenmektedir. Aşağıda çalışma kapsamında ulaşabileceğiniz araştırmacının iletişim bilgileri yer almaktadır.

Katılımcının Beyanı: Ben, Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana, yukarıda konusu ve amacı belirtilen araştırma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklama aşağıda adı belirtilen araştırmacı tarafından yapıldı. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabileceğimi biliyorum. Söz konusu araştırmaya, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın kendi rızamla katılmayı kabul ediyorum.

Katılımcının Adı-Soyadı:
İmzası:
Adresi (varsa Telefon No):
Tarih (gün/ay/yıl):...../...../.....

Ebeveyn Adı-Soyadı:
İmzası:
Adresi (varsa Telefon No):
Tarih (gün/ay/yıl):...../...../.....

Araştırmacının Adı-Soyadı: Bilgehan Alp MEMİŞ

Tarih (gün/ay/yıl):...../...../.....

Ek.4 Borg Algılanan Yorgunluk Ölçeği

Numerik Derecelendirme	Sözel Derecelendirme
6	
7	Çok çok hafif
8	
9	Çok hafif
10	
11	Biraz hafif
12	
13	Biraz zor
14	
15	Zor
16	
17	Çok zor
18	
19	Çok çok zor
20	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bilgehan Alp MEMİŞ

Uyruğu : T.C.

Doğum Tarihi :

Telefon (İş) :

E-Posta :

Yazışma Adresi (İş)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2025
Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2022
Lise	Giresun Mimar Sinan Anadolu Lisesi	2018

AKADEMİK/MESLEKİ DENEYİMİ

Görevi	Kurum	Süre (Yıl -Yıl)
1. Fizyoterapist	Sipay Bodrum Futbol Kulübü	2025-
2. Fizyoterapist	Trabzonspor Futbol Kulübü	2022-2025

YABANCI DİL

İngilizce

BİLDİRİLER

1. A Case Report of Recurrent Rectus Femoris Injury In An Elite Football Player