



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**MAKSİMUM EGZERSİZ SONRASI KALP HIZI
TOPARLANMA İNDEKSİNİN ELİT DAĞ
KAYAĞI VE KANO SPORCULARINDA
İNCELENMESİ**

Burak ÖZGÖREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ahmet AYAR

TRABZON-2021



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**MAKSİMUM EGZERSİZ SONRASI KALP HIZI
TOPARLANMA İNDEKSİNİN ELİT DAĞ
KAYAĞI VE KANO SPORCULARINDA
İNCELENMESİ**

Burak ÖZGÖREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ahmet AYAR

TRABZON-2021

ONAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi Burak Özgören'in hazırladığı "Maksimum Egzersiz Sonrası Kalp Hızı Toparlanma İndeksinin Elit Dağ Kayağı ve Kano Sporcularında İncelenmesi" başlıklı çalışma Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 16.09.2021

Prof. Dr. Ersan KALAY
Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Mustafa KAYA
Enstitü Yönetim Kurulu Başkanı

Doç. Dr. Mustafa KAYA
Enstitü Yönetim Kurulu Başkanı





Sağlık Bilimleri Enstitüsü'ne/...../20..... tarihinde teslim edilen bu tez Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ersan KALAY
Enstitü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun olarak hazırlanarak 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 aşamalarında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

10.08.2021

Burak ÖZGÖREN

İthaf

Bu yüksek lisans tezimi, bize bu aziz vatani yaşanır kılmak için canlarından, sevdiklerinden vazgeçen aziz şehitlerimiz, gazilerimiz ve kalbi albayrak için atan herkese ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Bilgi birikimini ve insani duygularını hiçbir zaman benden esirgemeyen, her koşulda yanımda olan, her yönüyle örnek aldığım saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ahmet AYAR'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizlere aktaran Doç. Dr. Mukadder OKUYAN'a, Doç. Dr. Zafer ŞAHİN'e, Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk KALKAN'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Aile kavramının anlam bulduğu canımdan çok sevdiğim, benim için herşeylerinden vazgeçen, beni ben yapan anlatmaya kelimelerin yetmeyeceği annem Sabriye ÖZGÖREN'e ve babam Şafak ÖZGÖREN'e teşekkür ederim.

Burak ÖZGÖREN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK SAYFASI

ONAY

BEYAN

İthaf

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

vi

RESİMLER DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

x

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

xi

ÖZET

xii

ABSTRACT

xiii

1. GİRİŞ ve AMAÇ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1. Kardiyopulmoner Sistem

3

2.1.1. Kalp

3

2.1.2. Akciğer

3

2.2. Egzersiz

4

2.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler

4

2.3.1. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler:

Kalp Hızı

5

2.3.2. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler:

Kalp Debisi

6

2.3.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler:

Kan Basıncı

7

2.3.4. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler:

Egzersiz Esnasında Kas ve Kas Dışı Vücut Dokularına Kan Akımının Düzenlenmesi

9

2.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi

11

2.4.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Kullanım Alanları

11

2.4.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testlerinin Kontraendikasyonları

13

2.4.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testini Sonlandırma Kriterleri

14

2.4.4. Bisiklet Ergometresi Protokolleri	16
2.5. Egzersiz ve Metabolizma	17
2.5.1. Hazır Enerji Sistemi	18
2.5.2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi	18
2.5.3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi	19
2.6. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler	20
2.6.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Aerobik Kapasite	20
2.6.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Metabolik Eşdeğer	21
2.6.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Solunum Değişim Katsayısı (RER)	22
2.6.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı	23
2.7. Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Önemi	23
3. GEREÇ ve YÖNTEM	26
3.1. Etik Kurul Onayı	26
3.2. Çalışmaya Katılan Kişilerin Seçimi	26
3.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu	26
3.4. Çalışma Dizaynı	26
3.5. Ölçümler	27
3.5.1. Vücut Kitle İndeksi	27
3.5.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi	28
3.5.3. Kalp Hızı Toparlanma İndeksi	30
3.6. İstatistiksel Analiz	31
4. BULGULAR	32
4.1. Tanımlayıcı Veriler (Yaş, Boy, Kilo, Vücut Kitle İndeksi)	32
4.2. Kalp Hızı Değerleri	32
4.3. Oksijen Kullanım Değerleri	33
4.4. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri	35
4.5. Kalp Hızı Toparlanması İndeksi Değerleri	41
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	43
6. KAYNAKLAR	51
EKLER	61

EK 1. Etik Kurul Onayı	62
EK 2. Egzersiz Test Bilgi ve Onam Formu	64
ÖZGEÇMİŞ	66



RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa
Resim 1.	Tanita vücut kompozisyon analizatörü (TBF-300, Japonya)	27
Resim 2.	12 derivasyonlu elektrokardiyogram (Cardinal Health, Norristown, ABD), pulse oksimetre, ergospirometre, kardiyopulmoner egzersiz testi ünitesi	29



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.	Elit dağ kayakçılarında maksimum egzersiz aktivitesini takiben gerçekleştirilen aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri	35
Şekil 2.	Kano sporcularında maksimum egzersiz aktivitesini takiben gerçekleştirilen aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri	36
Şekil 3.	Sedanter bireylerde maksimum egzersiz aktivitesini takiben gerçekleştirilen aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri	37
Şekil 4.	Elit dağ kayakçılarında, kano sporcularında, sedanter bireylerde maksimum egzersiz aktivitesini takiben solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri	38

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

ADP	Adenozin difosfat
ATP	Adenozin trifosfat
CO₂	Karbondioksit
EKG	Elektrokardiyogram
FEV₁	Zorlu ekspirasyonun ilk saniyesinde atılan hacim
KH	Kalp hızı
KHTİ	Kalp hızı toparlanma indeksi
KPET	Kardiyopulmoner egzersiz testi
MET	Metabolik eşdeğer
O₂	Oksijen
PCr	Kreatin fosfat
Pi	İnorganik fosfat
PaCO₂	Arteriyel kanda parsiyel karbondioksit basıncı
PaO₂	Arteriyel kanda parsiyel oksijen basıncı
RER	Solunum değişim katsayısı
RPM	Dakika devir sayısı
ST segmenti	S dalgasının sonu ile T dalgası arası izoelektrik EKG kısmı
T dalgası	Ventrikül repolarizasyonunu temsil eden dalga
VCO₂	Karbondioksit üretimi
VKİ	Vücut kitle indeksi
VH	Vurum hacmi
VO₂	Oksijen alımı
W	Watt

Simgeler

%	Yüzde
>	Büyük
<	Küçük

Formüller

(C₆H₁₂O₆)_n	Glikojen
C₆H₃₂O₂	Palmitik asit

ÖZET

Maksimum Egzersiz Sonrası Kalp Hızı Toparlanma İndeksinin Elit Dağ Kayağı ve Kano Sporcularında İncelenmesi

Kalp hızı toparlanma indeksi (KHTİ), egzersiz aktivitesinin sonlandırılmasının ardından toparlanma sırasında kalp atım hızında egzersizin tepe noktasındaki seviyesinden düşme olarak tanımlanır. KHTİ sporcuların antrenman kapasitesini belirlemek için değerli bir parametredir. Bu çalışmanın amacı farklı antrenman ve aerobik kapasite gerektiren branşlara ait sporcularda kalp hızı toparlanma indeksinin incelenmesidir. Bu amaçla çalışmada elit dağ kayağı ve kano sporcularının aerobik kapasitesi ve kalp hızı toparlanma indeksleri incelenmiştir. Bu çalışmaya ilgili spor federasyonları aracılığı ile ulaşılan gönüllü elit kadın ve erkek sporcular katıldı. Sporcuların yaş, cinsiyet ve boy gibi demografik verileri kayıt altına alınıp; vücut kompozisyonu biyoelektrik impedans analiz (BIA) yöntemi ile belirlendi. Sporcuların, pedal direnci elektronik olarak ayarlanabilen bir bisiklet ergometresinde semptomla sınırlı maksimal kardiyopulmoner egzersiz testine (30 W/dakika yük artışı şeklinde şiddeti giderek artan rampa testinde 60 devir/dakika pedal çevirerek) tükenene kadar (pedal çevirmeyi >40 devir/dakika seviyesinde artık sürdüremeyeceği yorgunluk düzeyine kadar) devam etmesi istendi. Bu maksimal egzersizin ardından katılımcılardan dirençsiz pedal çevrilmesi istenilerek 5 dakikalık aktif toparlanma sağlandı. Kalp atım hızı, 12 derivasyonlu elektrokardiyogram ile sürekli olarak kayıt edildi. Kalp hızı toparlanma indeksi, egzersizin zirve noktasındaki kalp atış hızı ile egzersiz sonrası toparlanma esnasındaki kalp atım hızı arasındaki farkın belirli zaman aralıklarıyla ölçülmesiyle belirlendi. Kalp hızındaki toparlanma, maksimal egzersiz sonrası 5 dakikalık toparlanma sürecinde dirençsiz pedal çevirme (<30 devir/dakika) esnasında 30 saniyelik aralıklarla hesaplandı.

Sporculardan elde edilen veriler sedanter bireyler ile karşılaştırıldı. Gruplar arasında KHTİ₁, KHTİ₈, KHTİ₁₀ değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken toparlanma periyodunun diğer bölümlerinde kano sporcularının KHTİ değerleri elit dağ kayakçılarından daha yüksek olarak belirlendi. Sonuç olarak elit düzeydeki bu iki spor branşından kano sporcularının antrenman durumunun elit dağ kayakçılarından daha yüksek olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Dağ kayağı, Kalp hızı toparlanma indeksi, Kano

ABSTRACT

Investigation of Heart Rate Recovery After Maximal Exercise in Elite Mountain Skiers and Canoe Athletes

Heart rate recovery index (HRRI) is defined as decrease in the heart rate (HR) from the rate at peak exercise level during the recovery, after cessation of exercise. HRRI is a valuable parameter for determining athletes training capacity. The aim of this study was to determine heart rate recovery among athletes from sport branches requiring different training status and aerobic capacity. For this, aerobic capacity and HRRI of elite mountain skiers and canoe athletes were determined. Volunteered elite male and female athletes (recruited from related sports federations) was enrolled. Athletes demographic data including gender, age and height was recorded and body composition was determined by bioelectrical impedance analysis (BIA) method. For achieving maximal heart rate, athletes performed a symptom-limited maximal (incremental ramp test with a workload increment of 30 W/min - 60 revolutions per minute (rpm) cardiopulmonary exercise test (CPET) using electronically-braked cycle ergometry, until exhaustion (no longer able to maintain pedalling >40 rpm). Following maximal effort, subjects were allowed for active recovery for 5-min of unloaded pedaling. Heart rate was continuously monitored through a 12-lead electrocardiogram. HRRI was calculated by obtaining the difference between the peak exercise HR and HR measured at specific time intervals after cessation of incremental ramp exercise test. HRR was calculated by 30 second intervals during the 5 minute of recovery period, by unloaded pedalling. Data from the athletes were also compared with sedentary individuals.

No statistically significant differences were found between the groups in terms of $KHT\dot{I}_1$, $KHT\dot{I}_8$ and $KHT\dot{I}_{10}$ values, while in other moments of canoeing athletes were higher than those of elite mountain skiers. As a result, the training status of canoeing athletes were found higher than elite mountain skiers among these two sport disciplines at the elite level.

Key Words: Canoe, Heart rate recovery, Mountain skiing

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Kano, her iki ucu sivri olan ve tek kanatlı kürek kullanılan bir veya birden fazla oturmuş veya çökmüş kürekçi tarafından kullanılan hafif ve dar bir teknedir. Kanoda dümen tertibatı yoktur. Yön verme kürek yardımıyla veya ağırlığın değişik yönlere aktarılmasıyla gerçekleşir. Kano sporu kısa zaman diliminde yüksek yoğunlukta aktiviteler içerdiği için sporcuların bu alandaki başarıları fizyolojik, biyomekanik, antropometrik ve psikolojik faktörlerden etkilenmektedir.

Dağ kayağı, kayak tertibatının altına monte edilen yapay bir deri ile her türlü hava ve saha koşullarında yürümeye olanak tanıyan ve kayak ile ayakkabı arasındaki bağlantıyı topuk kısmından serbest bırakan özel bağlama metodu ile karakterize bir kayak türüdür. Tırmanış ve kayma sırasında karşılaşılan sarp araziler, hava koşulları, kullanılan ekipmanların taşınması, arazi yapısından kaynaklanan denge problemleri bu spor branşı için birçok ilave fizyolojik ve biyomekaniksel faktörlere ihtiyaç duymaktadır.

Kardiyopulmoner egzersiz testi, bireysel organ sistemi fonksiyonunun ölçümü yoluyla yeterince yansıtılamayan pulmoner, hematopoetik, kardiyovasküler, iskelet ve kas sistemlerini içeren egzersiz yanıtlarının bütünlüyci bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayan fonksiyonel bir egzersiz testidir (1).

Sporda erişilecek maksimum verim, bilimsel veriler ışığında sporcu temini ve uygulanacak antrenman programının bilimsel verilere uygun bir biçimde hazırlanması ile mümkün olacaktır. Spor alanında yapılmış ve gelecekte yapılacak olan laboratuvar çalışmaları sporcuların ilgili spor branşlarında uluslararası platformlarda başarılarla imza atması için en büyük katkıyı sağlayacaktır.

Kalp hızındaki toparlanma, egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından dakikalar içinde kalp atım hızında meydana gelen azalma oranı olarak tanımlanmaktadır (2, 3). Antrenman sonrası hızlı kalp toparlanma süreci bireyin atletik performansı hakkında bilgi vermesinin yanında, çeşitli duraksama ve yoğunlukta fiziksel aktivitelere kardiyak fonksiyonların adaptasyonunu göstermek için de kullanılmaktadır.

Literatürde çeşitli branşlardaki sporcuların antrenman durumu ile kalp hızı toparlanma indeksi arasındaki ilişkiyi açıklamak için yapılan çalışmalar mevcuttur. Ancak literatür taramasında elit dağ kayağı ve kano sporcularına ait antrenman durumu ile kalp hızı toparlanma indeksi arasındaki ilişkiyi açıklayan herhangi bir çalışmaya rastlanılamamıştır.

Bu tez çalışmanın hipotezi, antrenman düzeyi düşük olan sporcuların maksimal egzersiz sonrasında toparlanma periyodunda kalp hızı toparlanmasının yavaş olacağı şeklindedir. Bu çalışma ile elit dağ kayağı ve kano sporcularının maksimal egzersiz sonrası 30 saniye aralıklarla toplamda 5 dakikalık aktif toparlanma periyodundaki kalp hızı toparlanma indeksini belirleyerek antrenman durumu ile kalp hızı toparlanma indeksi arasındaki ilişkiyi açıklayacak ilk güncel veriler elde edilerek literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir.



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 (4).

Kalp birbiri ile uyumlu olarak seri çalışan iki pompadan oluşur. Bu pompalardan birincisi kanı gaz değişimi için akciğerlere gönderir. Bu bölüm pulmoner dolaşım olarak adlandırılmaktadır. İkinci pompa sistemi ise kanı kalpten vücudun diğer tüm dokularına gönderir. Bu bölüm ise sistemik dolaşım olarak adlandırılmaktadır. Kalpten kan akışı tek yönlüdür. Kalpten tek yönlü kan akışı uygun kapak hareketleri ile meydana gelmektedir. Kalpten kardiyak çıkış aralıklı olmasına rağmen; ventriküler kasılma (sistol) esnasında aort ve dallarının gerilimi ile ventriküler gevşeme (diastol) esnasında büyük arter duvarlarının elastik geri tepmesi ile kanın ileri yönde itilmesi ile vücut dokularına doğru sürekli akım sürekli olur (5).

2.1.2. Akciğer

Akciğerler insan ve çok sayıda hayvan türü için solunum sisteminin temel organıdır. Akciğerlerin temel görevi olan gaz değişimi; homeostasisin sağlanması için önem teşkil etmektedir. Yani solunumun temel amacı hücresel düzeyden sistemik düzeye kadar kararlı bir işleyişin sürdürebilmesi için gerekli olan oksijeni çevreden temin etmek; metabolik olaylar sonucunda oluşan karbondioksit ve diğer zararlı gazların vücut dışına atılmasını sağlayarak kararlı bir iç dengenin oluşmasına zemin oluşturmaktır.

Solunum veya gaz değişim süreci, diyaframın kasılması yani nefes alma ile başlayan bir süreçtir. Diyaframın kasılmasıyla birlikte diyafram düzleşir ve karın boşluğuna doğru çıkıntı yapar. Ardından göğsün içinde negatif basınç oluşturmak için karnı dışa doğru hareket ettirir. Meydana gelen bu olaya insipirasyon (soluk alma) adı verilir. İnspirasyonda akciğer hacmi artar ve hava akciğerlere alınır. Soluk verme olarak adlandırılan ekspirasyon sırasında ise diyafram gevşer, göğüs içindeki basınç artar; karbondioksit ve diğer gazlar akciğerlerden pasif olarak dış ortama verilir (6).

2.2. Egzersiz

Fiziksel aktivite ve egzersiz sözcükleri çoğunlukla birbirinin yerine kullanılmasına rağmen bu terimler eş anlamlı değildir. Fiziksel aktivite yapılan herhangi bir bedensel hareket olarak tanımlanmaktadır. Egzersiz ise fiziksel yeterliliğin bir ya da daha fazla ögesini geliştirmek veya var olan düzeyi korumak için belirli plan dahilinde tekrarlayan bedensel hareketlerden oluşan fiziksel aktivite çeşididir. Yani egzersizin temelinde fiziksel performansı arttırmak, çeviklik kazanmak, kilo kontrolünü sağlamak gibi sağlıklı hedeflere yönelik yapılan aktiviteler vardır (7).

Kardiyovasküler sistemde egzersizin başlangıcında ve egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından birçok değişiklik meydana gelmektedir. Bu değişiklikler çeşitli mekanizmaların ortaklaşa çalışması ile düzenlenmektedir.

Egzersiz sırasında ortaya çıkan kardiyovasküler düzenlemeler sinirsel ve lokal (kimyasal) faktörlerin kombinasyonundan oluşur. Sinirsel faktörler baroreseptör refleksi, kas kasılmasından kaynaklanan refleksler ve merkezi komut olmak üzere üç ana başlıktan oluşmaktadır. Merkezi komut; kardiyak aktivitede artış, miyokard kontraktilitesinde artış ve periferik vazokonstriksiyon üreten sempatik sinir sisteminin serebrokortikal aktivasyonudur. Refleksler kas kasılmasına yanıt olarak mekanoreseptörlerin (streç, gerginlik) ve kemoreseptörlerin (metabolik ürünler) uyarılmasıyla intramüsküler olarak aktive edilirler. Bu reseptörlerden gelen uyarılar, miyelinli ve miyelinsiz afferent sinir lifleri ile bilgiyi merkezi sinir sistemine iletir. Grup IV miyelinsiz aksonlar kas kemoreseptörlerini temsil edebilir, çünkü morfolojik kemoreseptör tanımlanmamıştır. Bu refleksin merkezi bağlantıları bilinmemektedir, ancak efferent ekstremiteler kalbe ve periferik kan damarlarına giden sempatik sinir liflerinden oluşur (5).

2.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler

Kalp, egzersiz süresince ve dinlenme halinde vücudun hücresel düzeyden sistemik düzeye kadar metabolik taleplerini karşılayabilmek için vücut sistemleri ile koordineli olarak çalışmaktadır. Egzersiz; kardiyovasküler sistem üzerinde benzersiz bir stres yaratmaktadır. Kardiyovasküler sistemde egzersiz sürecinde artan iş yükünü karşılamak için birbirleriyle ilişkili olarak çok sayıda kardiyovasküler değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin birincil amacı egzersiz süresince dokuların artan metabolik taleplerini karşılamak ve oluşan yan ürünlerin dokulardan uzaklaştırılmasını sağlayarak karalı bir iç dengenin oluşmasına katkı sağlamaktır.

Egzersizle birlikte metabolik hız, kalp atım hızı, kan akışı (hiperemi), solunum sayısı ve ısı üretiminde artış meydana gelmektedir. Egzersiz sırasında artan metabolik gereksinim, artmış kan akışı (fonksiyonel hiperemi) ve egzersiz dokusuna oksijen kaynağı ile çok sayıda lokal ve sistemik mekanizma tarafından düzenlenir (8).

2.3.1. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp Hızı

Kalp hızı ölçümü; en basit fizyolojik yanıtlardan biri olmasına rağmen kardiyovasküler fonksiyonları değerlendirmek açısından en bilgilendirici yanıtlardan biridir. Kalp hızı sempatik ve parasempatik dallardan oluşan otonom sinir sistemi kontrolünde düzenlenmektedir. Kardiyovasküler sistemin egzersize hızlı yanıtı; vagal tonda bir azalma ve ardından sempatik çıkıştaki artışla meydana gelen kalp atım hızındaki artıştır. Dinamik egzersiz sırasında sinüs ritmindeki kalp atım hızı iş yükü; oksijen ihtiyacı ile doğrusal olarak artmaktadır. Dinamik egzersiz boyunca kalp atım hızında meydana gelen artış hızı; izometrik ve direnç egzersizlerinde meydana gelen artış hızından daha fazladır (9).

Sağlıklı bireylerde istirahat halinde istirahat kalp atım hızı dakikada 60-80 atım arasında değişkenlik göstermektedir. Ancak yüksek kondisyona sahip ve iyi antrene olmuş sporcularda ise istirahat halindeki kalp atım hızı dakikada 28-40 atım olarak rapor edilmiştir. Şiddetli sempatik uyarı genç erişkin bireylerin dakikada yaklaşık 70 atım olan normal kalp atım hızını 180-200 hatta 250 atıma kadar çıkarabilir. Kuvvetli vagus uyarıları ise kalp atımlarını birkaç saniye süreyle durdurabilir ve buna ek olarak kalbin kasılma kuvvetini %20-30 oranında azaltabilir (10). Bu durum esas olarak parasempatik (vagal) tondaki artıştan kaynaklanmaktadır (11).

Kalp atım hızında egzersizin başlangıcından itibaren kas ve diğer dokuların artan metabolik taleplerini karşılamak için bir artış meydana gelmektedir. Egzersiz sırasında kalp atım hızında normal bir artış MET başına ≥ 10 atım/dakikadır. Egzersizde kalp atım hızı maksimum iş yüküne ulaşıncaya kadar egzersizin yoğunluğundaki artış ile doğru orantılı olarak artar (12).

Maksimum egzersiz iş yüküne yaklaştıkça egzersiz iş yükü artmaya devam etse bile kalp atım hızı tepe noktasına ulaşmaya başlar. Bu durum kalp atım hızının maksimum değere ulaşmaya başladığının göstergesidir. Maksimum kalp atım hızı istemli yorgunluk noktasına kadar tüm çabalarla elde edilen en yüksek kalp hızı değeridir. Maksimum kalp atım hızını matematiksel bir denklem olarak basitçe $220 - \text{yaş(yıl)}$ olarak ifade etmek mümkündür (13).

Yaşla birlikte öngörülen kalp atım hızının %85'ine ulaşamaması kronotropik yetersizlik olarak ifade edilir. Ancak şiddeti giderek artan bir egzersiz testi protokolü sırasında kalp atım hızında meydana gelen beklenenden daha düşük bir artış, üst düzey antrenman kapasitesi veya sol ventrikül fonksiyonuna bağlanabilir. Ayrıca egzersize yetersiz kalp atım hızı yanıtı sadece sinüs fonksiyon bozukluğu için değil; aynı zamanda prognostik olarak ciddi kalp hastalığı içinde belirteç olabilir ve kronotropik yetersizlik olarak tanımlanabilir (12).

2.3.2. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp Debisi

Normal ölçülere sahip bir insanda sırt üstü yatar bir pozisyonda her bir vuruşta ventriküllerden pompalanan kan miktarına vurum hacmi denir. Kardiyak debi, kardiyovasküler sistemin etkinliğini değerlendirmemiz açısından en önemli parametrelerden biridir. Kardiyak debiyi denklemsel bir şekilde ifade etmek gerekirse kalp atım hızı (KH) ile vurum hacmi (VH) çarpımına eşittir.

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

Bu formülde de görüldüğü gibi kalp atım hızını ve vurum hacmini etkileyen faktörler kardiyak debinin değişmesine neden olacaktır. Kalp atım hızı birincil olarak otonom sinir sisteminin kontrolünde düzenlenmektedir. Sempatik uyarılarda oluşan artış kalp atım hızını arttırırken, parasempatik uyarılarda oluşan artış kalp atım hızını azaltır. Vurum hacmi de nispeten sinirsel girdiler tarafından belirlenir. Sempatik uyarılar miyokard kası liflerinin belirli uzunlukta daha güçlü kasılmasını sağlarken, parasempatik uyarılar zıt etkiye neden olur (14).

Kardiyak debiyi etkileyen birçok faktör vardır. Kardiyak debi yaş, cinsiyet ve uygulanan iş yükünün yoğunluğuna göre değişkenlik göstermektedir. İstirahat halinde sırt üstü yatan bir erkekte kalp debisi ortalama 5L/dk kadardır. Bazal koşullarda karaciğer toplam debinin %27'lik bölümüne sahip olarak yaklaşık 1350 mL/dk kan akımına sahiptir. Beyin toplam kalp debisinin %14'lük bölümü olan 700 mL/dk, böbrek toplam debinin %22'lik kısmı ile 1100 mL/dk, kalp toplam debinin %4'lük kısmı ile 200 mL/dk, aktif olmayan kaslar ise toplam debinin %15'lik kısmı ile 750 mL/dk kan akımına sahiptir (8).

Egzersiz başlangıcından itibaren egzersize katılan iskelet kaslarına ve vücut ısısının artışına bağlı olarak deriye daha fazla kan gönderilmektedir. Bu süreç hem kalp

debisindeki artış hem de düşük kan akım ihtiyacı olan alanlardan uzaklaştırılan kan akışının yeniden yüksek kan akımına ihtiyaç duyan bölgelere dağıtılmasıyla gerçekleştirilir.

Bu durum, kalp debisinin yaklaşık olarak %80'inin maksimum çalışma oranlarında aktif iskelet kaslarına ve deriye gitmesine izin verir. İstirahat durumundan egzersize geçiş halinde kalp, solunum kasları ve egzersize dahil olan iskelet kaslarının ihtiyaçlarını karşılamak ve kutanöz vazodilatasyon yoluyla ısıyı dağıtmak için kardiyovasküler sistemde önemli düzenlemeler meydana gelmektedir. Egzersiz esnasında kan akımının yeniden dağılımı sinirsel, hormonal ve lokal faktörler ile düzenlenmektedir. Dinlenim halinde 5 L/dk olan kalp debisi şiddetli egzersiz sırasında 25 L/dk'ya çıkmaktadır. Beyin ve kalp toplam debinin %4'lük kısmına sahip olarak 1000'er mL/dk, böbrek toplam kalp debisinin %1'lik kısmına sahip olarak 250 mL/dk, iskelet kasları ise toplam debinin %84'lük kısmına sahip olarak 21 L/dk kan akımına sahiptir. İnsan vücudundaki damarların çaplarını değiştirebilme yeteneği egzersiz sırasında kanın belirli bir alana yönlendirilmesine ve etkin kan basıncının oluşmasına olanak tanır. Kan akımını etkileyen en önemli faktör damar yarıçapında meydana gelen değişimlerdir. İstirahat halinde çizgili kaslarda kapalı durumda olan kapiller damarların egzersiz esnasında açılması ile kas dokusuna aktif olarak gelen kan miktarı artış göstermektedir. Sempatik uyarıda oluşan artışta meydana gelen vazokonstriksiyon sonucu sindirim sistemi, karaciğer ve böbrek gibi egzersiz esnasında yüksek kan akımına ihtiyaç duymayan dokulardaki kan akımını azaltılır. Antrenman kapasitesi yüksek düzeydeki sporcularda diğer dokularla kıyaslandığında kas kan akımında artış egzersizden hemen önce başlar. Özellikle yüksek şiddetteki egzersizin başlangıcında deri kan akımı yükselen vücut sıcaklığının düzenlemesi amacıyla artış gösterirken, egzersizin şiddeti maksimum seviyeye ulaştığında ise cilde giden kan aktif kas gruplarına yönlendirilir. Maksimum düzeydeki egzersiz sırasında 60 dakikadan fazla süreyle iç organlarda kan akımında azalma olabilir. Ayrıca egzersiz sırasında kanın kalbe ve aktif kas dokularına gönderilmesinde katekolamin salınımı, renin anjiyotensin aldesteron sistemi ve endotelin salınımının etkileri vardır (15).

2.3.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Meydana Gelen Akut Değişiklikler: Kan Basıncı

Kan basıncı diğer bir terimle tansiyon; kanın damar içerisindeki hareketi sırasında damar çeperlerine yaptığı basınca denir. Kan basıncında meydana gelen değişim düzeyi yapılan egzersizin türüne göre değişkenlik göstermektedir. Direnç egzersizleri statik ve konsantrik olmak üzere iki bölümden oluşur. Direnç egzersizleri saniyelerden dakikalara

kadar uzanan bir süreçte kasın boyunda bir değişim meydana gelmeksizin yapılan bir egzersiz türüdür.

Direnç egzersizlerinde kaslar kendilerini besleyen damar gruplarına baskı oluşturup kan akımının engelleyerek total periferik direncin artışına sebep olur. Bir süre sonra sempatik sinir sisteminin aktivasyonu ile kalp debisi ve kan basıncında artış meydana gelir ve bu durum ortadan kaldırılmaya çalışılır. Yüksek kan basıncının büyüklüğü egzersizin şiddeti ve egzersize katılan kas grubunun miktarı ile doğrusal olarak artar. Egzersiz devam ettikçe artmış vazodilatasyon sistolik kan basıncında düşmeye neden olabilir ancak diyastolik kan basıncında belirgin bir değişiklik olmaz. Egzersizin şiddeti arttıkça sistolik kan basıncı artar ancak diyastolik kan basıncı genellikle sabit seyreder veya çok şiddetli egzersizde hafifçe azalır. Sağlıklı bireylerde sistolik kan basıncı total periferik dirençteki azalışa rağmen normal sınırların üstüne çıkabilir. Ancak bu durum yüksek şiddetli egzersizde bireylerin yüksek aerobik kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Aerobik egzersiz ritmik kas kasılması ve gevşeme dönemleriyle karakterize egzersiz türüdür. Aerobik egzersizler şiddeti sabit ve şiddeti giderek artan egzersiz protokollerinden oluşur. Şiddeti sabit aerobik egzersizde egzersize dahil olan kas gruplarına ait damar sistemlerinde meydana gelen vazodilatasyon total periferik damar direncini azaltarak kanın aktif kas bölgelerine doğru akışını artırır. Bu egzersiz tipinde egzersizin ilk birkaç dakikasında kan basıncında artışa neden olur (15).

Kan basıncı, kalp debisi ve periferik vasküler dirence bağlıdır. Şiddeti giderek artan egzersiz protokolü sırasında kaslar artan metabolik taleplerini karşılayabilmek ve yan ürünlerin uzaklaştırılmasını sağlamak için yüksek kan akımına gereksinim duyarlar. Dinamik bir egzersiz sırasında sağlıklı bireylerde sistolik kan basıncı artan kalp debisinin bir ürünü olarak yükselirken; diyastolik kan basıncı genellikle yaklaşık olarak aynı değerde seyreder veya vasküler yatağın vazodilatasyonu nedeniyle orta derecede azalır (16).

Şiddeti giderek artan bir egzersiz protokolünde normal sistolik kan basıncı yanıtı hem cinsiyete (erkeklerde kadınlara göre daha yüksek) hem de yaşa (ilerleyen yaşla birlikte daha yüksek) bağlıdır (17).

Artan sistolik basıncın bir ürünü olarak ortalama arteriyel kan basıncında %30-40 düzeyinde bir artış meydana gelir. Arter basıncında meydana gelen bu artış kan akımında ek olarak iki kat artışa neden olur. Sinir sistemi egzersizde meydana gelen arter basıncındaki yükselişin ana komuta merkezidir. Beyinde bulunan motor alanlar egzersize neden olmak

için harekete geçerken aynı zamanda beyin sapının retiküler aktive edici sistemi de harekete geçer. Bu etkiler sonucunda arter basıncı kas aktivitesine ayak uydurmak için hızla artar (18).

Normal sağlıklı bir insanda istirahatte 120 mmHg'de başlayan bir sistolik basınç, maksimum egzersizde 200 mmHg'yi aşabilir. Normal, sağlıklı, yüksek eğitimli sporcularda aerobik egzersizin maksimum yoğunluklarında 240 ile 250 mmHg sistolik basınç bildirilmiştir. Sistolik basınçtaki bu artış artan iş yüküne karşı artmış kalp debisinden kaynaklanmaktadır (19).

Maksimum yoğunluktaki egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından sistolik kan basıncı genellikle kalp debisindeki hızlı düşüş nedeniyle azalır. Normal koşullarda 6 dakika içerisinde istirahat seviyelerine veya daha düşük seviyelere ulaşır ve hatta birkaç saat boyunca egzersiz seviyelerinden daha düşük seyretmektedir (20).

2.3.4. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Egzersiz Esnasında Kas ve Kas Dışı Vücut Dokularına Kan Akımının Düzenlenmesi

Egzersiz hiperemisi kas aktivitesi sırasında egzersize dahil olan kaslarda meydana gelen kan akımındaki artışı ifade eder. Kan akımında meydana gelen bu artış, artan hücre metabolizmasına yanıt olarak ortaya çıktığı için egzersiz hiperemi parankimal hücre metabolizmasında artış yaşayan herhangi bir organa akıştaki artış içinde geçerli olan aktif veya fonksiyonel hiperemi olarak da adlandırılır (21).

Egzersize aktif olarak dahil olan kaslarda vazodilatasyon ile ilgili artmış vasküler iletkenliğe uyumlu olarak egzersize dahil olmayan organlarda kan akımı o organları besleyen arteriyollerde vazokonstriksiyon ile baskılanarak sistemik kan basıncı korunmaya çalışılır. Böylece egzersize dahil olmayan organları besleyen damarlardaki bu vazokonstriksiyon kan akımına ihtiyaç duyan dokulara ilave kan akımının yönlendirilmesine yardımcı olur. Fakat egzersize dahil olmayan organlardaki kan akımının aşırı bir şekilde azaltılmasından da kaçınılması fizyolojik olarak bir gerekliliktir. Aksi taktirde bu bölümlerde egzersiz süresince ve egzersizin sonlandırılmasının ardından hipoksiye bağlı işlevsel bozukluklar meydana gelebilir (22).

Egzersiz sırasında splenik alanlardaki kan akımının azalması bu bölgelerde gastrointestinal semptomlara neden olabilmektedir. Egzersiz sırasında böbreklerde kan akımı vazokonstriksiyon ile egzersizin şiddeti ile orantılı olarak azalır. Düşük yoğunluktaki

aktivitelerde bile böbreklerdeki kan akımında egzersiz başlangıcının ilk 30 saniyesi içerisinde %20'lik bir azalış görülür (23, 24).

Egzersiz sırasında kalp hızında meydana gelen yükselişten dolayı artmış miyokardiyal oksijen ihtiyacına uyum sağlayacak şekilde koroner kan akımında artış meydana gelir. Bu artış koroner vazodilatasyon ile “ileri besleme” ve “geri bildirim” mekanizmalarının bir kombinasyonu ile gerçekleşir. Egzersizin başlangıcından itibaren sempatik sinir sistemi aktivitesinde meydana gelen artış egzersiz sırasında koroner damarlar üzerinde doğrudan adrenerjik reseptör aracılı vazodilatör etki doğurur. Miyokardiyal oksijenizasyon ile ilgili geri bildirim kontrolü koroner kan akımını miyokardiyal oksijen tüketim seviyesine dengelemek için aynı anda çalışır. Miyokardiyal kan akımında meydana gelecek herhangi bir azalma miyokard hasarına, aritmilere ve hatta ölüme yol açabilir (25).

Egzersiz sırasında önemli bir değişimde göz kan akımında meydana gelmektedir. Retinanın yüksek miktarda oksijene gereksinim duyması ve oksijenin retina ve çevre dokularda depolanamamasından dolayı retina yüksek kan akımına ihtiyaç duymaktadır (26). Bu ihtiyacın temelinde yatan sebep görsel işlevlerin korunmasıdır. Oküler dolaşım retinal ve koroidal dolaşım olmak üzere iki bölümden oluşur. Retinal dolaşım düşük kan akımı ile karakterize olup retinanın iç kısındaki dolaşımdan sorumludur. Koroidal dolaşım ise retinanın yüzeysel dolaşımından sorumludur ve yüksek miktarda kan akımına ihtiyaç duyar. Koroidal dolaşım oküler dolaşımın %85'ini oluşturmaktadır (27). Submaksimal egzersizde egzersizin şiddetine bağlı olarak koroidal kan akımında %30'luk bir artış gözlemlenirken retinal kan akımında bir artış gerçekleşmez. Dinamik egzersiz sırasında hipokapniye bağlı olarak tükenme sırasında koroidal kan akımında istirahat halindeki değerine göre bir değişiklik gözlemlenmezken; retinal kan akımının %13 azaldığı gözlemlenmiştir (28).

Dinamik egzersiz metabolik olarak aktif dokuların perfüzyonundan ödün vermeden vücudun ısı dengesini korumaya hizmet eden vazokonstriktör ve aktif vazodilatör sistemin çeşitli modifikasyonları yoluyla cilt kan akışını etkiler. Dinamik egzersiz sırasında egzersize dahil olan kaslarda ısı üretimi üst düzeye çıkmaktadır ve vücudun ana sıcaklığında bir artışa neden olur. Termal homeostazisi sağlamak için oluşan ilave ısıнын ortadan kaldırılması gerekmektedir. Termoregülatör refleksler kutanöz vasküler iletkenliğin ve dolayısıyla deri kan akımının ve terleme miktarının ayarlanmasını sağlar. Homeostazisin sağlanması için yapılan değişikliklerin miktarı egzersizin yoğunluğuna, türüne, süresine ve ortam sıcaklığına

bağlıdır. Nötral çevre koşullarında deri kan akımı 300 mL/dk istirahat değerinden egzersiz sırasında 7 L/dk değerine çıkmaktadır (29).

Fiziksel aktivite boyunca hem serebral aktivitedeki hem de serebral metabolizmadaki artıştan dolayı serebral kan akımında artış meydana gelmektedir. Yapılan egzersizin türü ve egzersize dahil olan kas grubunun kütlesi kardiyak çıktıyı artırır ve bunun sonucunda serebral kan akımının hızında bir artış meydana gelir. Ancak orta şiddetteki egzersizde serebral kan akışı artıyor gibi gözükse bile bu durum uzun süre devam etmez ve serebral kan akışı başlangıç değerlerine geriler. Bu durumun hiperventilasyon ya da egzersiz süresince düşük serebral aktivite gösteren alanların vazokonstriktör kompensasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (30).

Sonuç olarak iskelet kasları için egzersiz sırasında kan akımının yeniden düzenlenmesi çok önemlidir. Çünkü iskelet kasları vücutta önemli lokomotor fonksiyonlara hizmet etmektedir. Egzersiz sırasında kasılan kaslar tüketilen ATP'yi yenilemek için yüksek miktarda oksijen tüketir. Bu nedenle metabolizma ve kasılma aktivitelerini desteklemek için yüksek kan akımına ihtiyaç duyar. Tüm dokularda olduğu gibi mikrosirkülasyon şeklinde küçük arter ve arteriyoller kas içindeki vasküler direncin ve kan akışının düzenlenmesi için en önemli bölgedir. İskelet kasları içerisinde kan akımının dağılımı istirahat halinde ve egzersiz sırasında homojen değildir. Egzersiz sırasında iskelet kasları arasında kan akımının dağılımı 100 gram kas dokusu için 30 mL/dk'dan 300 mL/dk'ya kadar değişkenlik göstermektedir. Kan akım hızındaki bu farklılıklar kas lifi tipi kompozisyonu ve aktiviteden sorumlu kas dokusunun alım paterni ile ilgilidir (31).

Kalp, solunum kasları ve kasılan iskelet kasları gibi dokulara oksijen ve gerekli diğer maddelerin en çok ihtiyaç duyulan zaman aralığında verilmesini koordine etmek için egzersiz sırasında yukarıda belirtilen ayarlamalar yapılır.

2.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi

2.4.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Kullanım Alanları

Kardiyopulmoner egzersiz testi (KPET) bireysel organ sistemi fonksiyonunun ölçümü yoluyla yeterince yansıtılamayan pulmoner, hematopoetik, kardiyovasküler, iskelet ve kas sistemlerini içeren egzersiz yanıtlarının bütünlüyci bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayan fonksiyonel bir egzersiz testidir (1).

Kardiyopulmoner egzersiz testinin kullanım alanları:

1. Egzersiz toleransının değerlendirilmesi

- Fonksiyonel bozuklukların veya kapasitenin belirlenmesi
- Egzersiz sınırlayıcı faktörlerin ve altında yatan patofizyolojik mekanizmaların belirlenmesi

2. Teşhis edilmemiş egzersiz intoleransının değerlendirilmesi

- Eşlik eden hastalıkta kardiyak ya da pulmoner katkının değerlendirilmesi
- Dinlenme halindeki pulmoner ve kardiyak testlerle orantısız semptomlarda
- İlk kardiyopulmoner test nondiagnostik olduğunda açıklanamayan dispne için

3. Kardiyovasküler hastalığı olan kişilerin değerlendirilmesi

- Kalp nakli uygulanacak hastaların seçiminde
- Egzersiz reçetesi ve kardiyak rehabilitasyon için egzersize cevabın izlenmesi

4. Solunum hastalığı olan kişilerin değerlendirilmesi

- Fonksiyonel kapasitede var olan bozuklukların değerlendirmesinde
- Kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan kişilerde egzersizi sınırlayıcı sebeplerin saptanması ve gizli kalp hastalığı gibi diğer katkıda bulunan etkenlerin değerlendirilmesinde
- Hipokseminin derecesinin belirlenmesi ve oksijen reçetesi için
- Terapötik müdahalenin objektif şekilde belirlenmesi gerektiğinde
- İnterstisyel akciğer hastalıkları
- Erken (gizli) gaz değişimi anormalliklerinin belirlenmesinde
- Pulmoner gaz değişiminin genel olarak izlenmesi ve değerlendirilmesinde
- Hipokseminin büyüklüğünün belirlenmesi ve oksijen reçetesi için
- Potansiyel egzersiz sınırlayıcı faktörlerin belirlenmesi
- Pulmoner vasküler hastalık (dikkatli risk-fayda analizi gereklidir)

- Kistik fibrozis
- Egzersizle tetiklenen bronkospazm

5. Spesifik klinik uygulamalar

- Uygulanacak operasyon öncesinde hastanın değerlendirmesinde
- Akciğer rezeksiyon cerrahisi öncesi değerlendirmesinde
- Önemli ölçüde karın ameliyatı geçiren yaşlı hastalarda
- Amfizem için akciğer hacmi rezeksiyon cerrahisi
- Pulmoner rehabilitasyon için egzersiz değerlendirmesi ve reçetelendirilmesinde
- Değer düşüklüğü-özür gibi durumların değerlendirmesinde
- Akciğer, kalp-akciğer nakli için değerlendirmelerde (32).

2.4.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testlerinin Kontraendikasyonları

Kardiyopulmoner egzersiz testinin mutlak ve göreceli kontraendikasyonları aşağıda sıralanmıştır.

2.4.2.1. Mutlak Kontraendikasyonlar

- PaO₂ <50 mmHg
- PaCO₂ >70 mmHg
- FEV₁ <%30 (beklenen değerin)
- Testin yapılacağı tarihten 1 ay öncesinde miyokard infarktüsü geçirilmiş olunması
- Unstabil anjina pectoris varlığı
- 2-3. derece blok
- Atriyum ve ventriküllerde ani meydana gelen ritim bozuklukları
- Bedensel engellilik durumu
- Önemli ölçüde aort stenozu
- Konjestif kalp yetmezliği
- Kontrol altına alınmayan yüksek tansiyon
- Ventriküler anevrizma
- Önemli ölçüde akciğerlerde gelişen yüksek tansiyon
- Tromboflebit veya intrakardiyak trombus

- Kısa süre önce geçirilmiş sistemik veya akciğer embolisi
- Akut perikard inflamasyonu
- Akut myokardit
- Aktif endokardit
- Alt ekstremitte trombozu
- Diseksiyon anevrizması şüphesi
- Kontrol altına alınamayan astım
- Respiratuvar bozukluklar
- Dinlenme oda desatürasyonunun $\leq$ %85 olması
- Senkop (33).

2.4.2.2. Göreceli Kontraendikasyonlar

- Sol ana kroner stenoza veya eşdeğeri
- Orta stenotik kapalı kalp hastalığı
- Dinlenme sırasında şiddetli tedavi edilmemiş arteriyel hipertansiyon
- Taşiaritmiler ve bradikardiler
- Yüksek dereceli atriyoventriküler blok
- Hipertrofik kardiyomyopati
- Önemli ölçüde pulmoner hipertansiyon
- İleri derecede veya komplike gebelik
- Elektrolit anormallikleri
- Egzersiz performansını etkileyecek önemli derecede ortopedik bozukluklar (33).

2.4.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testini Sonlandırma Kriterleri

- Hasta tıbbi açıdan takip edilemiyorsa
- ST segmentinin 2 mm çökmesi veya yükselmesi
- T inversiyonu ya da Q varlığı
- Supraventriküler / ventriküler taşikardi
- Ventriküllerde tespit edilen erken vuru
- 2-3. derece blok gelişimi
- Bifasiküler blok gelişimi
- Göğüs bölgesinde lokalize ağrı

- Hiperhidrozis ve vücut sıcaklığında beklenmeyen artış
- Sistolik kan basıncının 250 mmHg, diyastolik kan basıncının ise 120 mmHg'nın üzerine çıkması
- İş yükündeki her artışa bağlı olarak sistolik kan basıncının 10 mmHg yükselmesi
- Deride beklenmeyen renk değişimi gözlemlenmesi
- Bilinç bulanıklığı, baş ağrısı
- Mide bulantısı
- Ani kasılmaların oluşumu (34).

Kardiyopulmoner egzersiz testlerinde en yaygın kullanılan ergometre çeşitleri bisiklet ve koşu bandı ergometreleridir. Bu ergometre çeşitlerinin birbirlerine karşı bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Koşu bandı ergometresi kullanılarak yapılan kardiyopulmoner egzersiz testleri yürüme, koşma gibi günlük yaşam aktivitelerine daha yakın hareketleri barındırdığı için teste katılacak kişilerin teste uyum sağlaması daha kolay olmaktadır. Koşu bandı ergometresi kullanılarak gerçekleştirilen kardiyopulmoner egzersiz testlerinde daha fazla kas grubu kullanıldığı için maksimum egzersiz yoğunluğuna bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan testlere göre daha kısa sürede erişilir. Koşu bandı ergometresi bisiklet ergometresine göre laboratuvar koşullarında daha fazla yer kaplar, ekonomik açıdan daha pahalıdır ve kalibre edilmesi oldukça zordur (34).

Koşu bandı ergometresi kullanılarak gerçekleştirilen kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında üst ekstremitelerinin oldukça fazla olması artefakt (elektrik aktivite dışı çeşitli nedenlerle oluşan dalga) oluşumunu arttırmaktadır. Bu durum kan basıncı ve elektrokardiyogram (EKG) kayıtlarının düzgün bir biçimde elde edilmesini ve sağlıklı bir biçimde yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca koşu bandı ergometresi kullanılarak yapılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde denge sorunları yaşanabileceğinden test sırasında düşme ve yaralanma gibi istenmeyen durumlar yaşanabilmektedir (34).

Bisiklet ergometresi ise koşu bandı ergometresine göre ekonomik açıdan daha ucuzdur ve laboratuvar koşullarında daha az yer kaplamaktadır. Bisiklet ergometresinde egzersiz paternindeki değişiklikler azdır. Uygulanan kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında vücut salınımlarının treadmill ergometresi kullanılarak yapılan testlere göre az

olması kan basıncı ve elektrokardiyogram ölçümlerinin daha düzgün kayıt altına alınmasına ve yorumlanmasına olanak tanımaktadır (34).

Bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde karşılaşılan en önemli sınırlama kuadriseps kaslarında meydana gelen yorgunluktur. Alt ekstremitelerde meydana gelen yorgunluk VO_{2maks} 'a erişilemeden testin sonlandırılmasına neden olmaktadır (12). Bu nedenle bisiklet ergometresi kullanılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde ulaşılan VO_{2maks} değeri treadmill ergometresi kullanılarak erişilen değerden %5 ile %10 daha düşüktür. Fakat treadmill ergometresine göre ölçülen ventilasyon değeri ve laktat üretimi nispeten daha fazladır (35).

Kardiyopulmoner egzersiz testi uygulamalarında kullanılan bisiklet ve koşu bandı ergometrelerinde, uygulanan iş yükünün biçimine göre farklı protokoller izlenmektedir. Bu protokolleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Çok kademeli egzersiz protokolü (her 3 dakikada bir her seviyede “pseudo” steady durumuyla)
- Sabit çalışma oranı (aynı çalışma oranında genellikle 5 ile 30 dakika arasında) giderek artan iş yükleri ve istirahat zamanları ile ayrılmış 3 ile 4 dakika gibi kısa süreli iş gücü egzersizleri içeren aralıklı bir egzersiz protokolü
- Süreksiz protokol sürekli çalışma hızı egzersizinin kısa periyotlarından oluşan ve dinlenme periyotları ile birbirinden ayrılan klinik olarak nadiren kullanılır
- Sürekli rampa protokolü veya aşamalı giderek artan (her dakika) egzersiz protokolü (33).

2.4.4. Bisiklet Ergometresi Protokolleri

Bisiklet ergometresi kullanılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinde rampa, basamaklı ve sabit iş yüklü olmak üzere 3 farklı tipte protokol uygulanmaktadır.

Klinik ortamda kullanımı en yaygın olan basamaklı artan protokoldür. Bu test protokolünde kişiler bazal ölçümlerinin yapılabilmesi için 3 dakika boyunca hareketsiz bir şekilde kalırlar. Ardından gelen 3 dakikalık süre boyunca pedala herhangi bir direnç uygulamaksızın boş olarak pedalı çevirirler. Daha sonra iş yükü her dakika için 5 ile 25 watt arasında arttırılarak ölçümlere devam edilir. Bu esnada pedal ideal olarak dakikada 60 rpm olacak şekilde 40-70 rpm aralığında çevrilmelidir.

Direncin dakikada ne kadar arttırılmasını ön görebilmek için aşağıda sıralanan formüllerden faydalanılabilir (20).

$$1. \text{ Dinlenim halinde } O_2 \text{ (mL/dk)} = 150 + (6 \times \text{kg}) \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$2. \text{ VO}_{2\text{maks}} \text{ (mL/kg/dk)} = [\text{boy (cm)} - \text{yaş (yıl)}] \times 20 \text{ (kadınlarda 14)} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Kalp atım hızı değeri, egzersizin maksimal veya submaksimal olduğuna karar verebilmemiz için önemli bir göstergedir. Maksimal olması için gereken kalp hızı değeri “220 – yaş” formülü ile elde edilir. Bu değer %80’ine erişilmesi maksimal olması için yeterlidir.

Rampa protokolü ise basamaklı protokol ile hemen hemen aynı özellikleri barındırmaktadır. Tek farkı pedala aktarılan yük egzersiz süresince sabit bir şekilde artar. Sabit iş yüklü protokol ise gaz değişim anormalliklerinin saptanması gibi özel amaçlara yönelik kullanılabilir olmasıdır (36).

2.5. Egzersiz ve Metabolizma

Fiziksel aktivitelerin başlaması ve sürdürülebilmesi için belirli miktarda enerji gerekmektedir. Kas hücreleri kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren özel hücre topluluklarıdır. Adenozin trifosfat (ATP) bu dönüşümün sağlanması için enerji kaynağıdır. Kas hücreleri içinde bulunan ATP depoları küçüktür ve bundan dolayı sadece birkaç kasılmaya destek olabilir. Kasılma süresince ATP devamlı olarak kullanıldığından bu depoların sürekli olarak yenilenmesi gerekmektedir. Kas hücrelerinde bulunan kreatin fosfat kas kasılması sırasında ATP depolarını yenilemek için kullanılır. Kreatin fosfat yoğun egzersiz sırasında iskelet kasındaki ATP tedarikini yenilemek için acil yüksek enerji kaynağını temsil eder (37).

Günlük yaşam aktivitelerini idame ettirebilmek için gerekli olan enerji miktarı minimum düzeyde iken, egzersiz ile birlikte vücudun gereksinim duyduğu enerji miktarı maksimal düzeye çıkmaktadır.

Egzersiz süresince iskelet kaslarının kasılabilmesi için gereken ATP miktarı 3 farklı yoldan temin edilmektedir. Hangi tip enerji transfer sisteminin devreye sokulacağı yapılan egzersizin yoğunluğu ve süresi tarafından tayin edilmektedir (37).

Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri:

1. Hazır Enerji Sistemi: ATP – Fosfokreatin Sistemi
2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi
3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi

2.5.1. Hazır Enerji Sistemi

Kısa zaman diliminde şiddetli egzersiz esnasında devreye giren ve kas içerisinde depo formunda bulunan ATP ve kreatin fosfat' tan temin edilen enerji taşıma sistemine hazır enerji sistemi veya fosfojen sistemi denir (38).

Kas dokusu kilogram başına 5-7 mmol adenosin trifosfat (ATP) ve bu değerin yaklaşık olarak 3-4 katı kadar kreatin fosfat (PCr) barındırmaktadır (39). Sürat koşusu gibi yoğun kas aktivitesine gereksinim duyulan spor aktivitelerinin ilk birkaç saniyesinde depolanmış olan ATP yeterli olurken; PCr miktarı tükenmekte olan adenosin trifosfat'ı (ATP) yenilemek için sürekli azalmaktadır. Bununla birlikte tükenme sırasında hem ATP hem de PCr seviyelerindeki azalışın dolayı daha fazla kas kasılması ve gevşemesini idame ettirebilmek için enerji sağlanamaz. Böylece PCr'dan gelen enerji ile ATP seviyelerini koruma kapasitesi sınırlıdır. ATP ve PCr depolarının kombinasyonu sürat koşusu gibi spor dalları için gerekli enerji ihtiyaçlarını sadece 3 ile 15 saniye arasında karşılayabilir. Bu zamanın ötesinde kaslar için gerekli olan enerji glikolitik ve oksidatif yollar ile sağlanır (40).

Spor aktivitelerinin tamamında yüksek enerjili fosfatlar kullanılmasına karşın halter, buz hokeyi, futbol, basketbol gibi ani çıkış ve fırlatmaların hakim olduğu spor dallarında daimi sportif performans hazır enerji sistemine dayanmaktadır. Bu bakımdan maksimal veya submaksimal yoğunlukta, kısa süreli aktivitelerde kas içerisinde bulunan yüksek enerjili depo fosfat seviyesi performansı ciddi anlamda etkilemektedir (39).

2.5.2. Kısa Süreli Enerji Sistemi: Glikolitik Enerji Sistemi

Anaerobik glikoliz olarak da adlandırılan bu sistem, kas glikojeninin sitozolde anaerobik solunum ile pürivik asitten laktik aside kadar parçalanması ile sınırlı sayıda ATP üretilmesi olayıdır.

Yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında kardiyovasküler sistem hücrelere yeterli hızda oksijen sağlayamaz. Aktivite devam ederken ATP-PCr depoları tükendiğinde; kaslar glikolitik yol ile ATP rejenerasyonu için glikojenin hızlı bir şekilde parçalanmasına başvurur (37). Anaerobik glikoliz sonucunda laktik asit üretimi ve birikimi artmaktadır.

Artan laktik asit miktarı kas pH'sını düşmesine neden olarak kastaki asitleşmenin enzim işlevlerini bozmasına, kas liflerinin kalsiyuma bağlanma kapasitelerinin azalmasına ve kas liflerinin kuvvet üretme kabiliyetlerinin bozulmasına neden olur (8).

Anaerobik glikoliz 400-800 m'lik splintler, 100 m'lik hızlı yüzme gibi aktiviteler için kasın enerji ihtiyacı yüksek olduğunda ve oksijen taşıma sistemi henüz tam olarak aktive olmadığında düşük yoğunluklu aktivitelerin başlangıcında enerji sağlayabilir (41).

2.5.3. Uzun Süreli Enerji Sistemi: Aerobik Enerji Sistemi

Aerobik enerji sisteminde glikolitik yol ve krebs çemberinde oluşan elektronlar elektron taşıma sistemi ile oksijene aktarılır.

Aerobik metabolizma ile ATP'nin yeniden sentezlenmesi için pürivik asidin doğrudan krebs çemberine girmesi, yağların oksidasyonu ve mitokondri oksijen taşıma sistemlerinin aktive olması gerekmektedir (38).

Oksidatif fosforilasyon sürekli bir oksijen kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Hemoglobin ve myoglobin hücrelerinde depolanan oksijen miktarı düşük ve kısa süreli yeterli olacağından çevreden doldurulması gerekmektedir. Alveolar ventilasyon ile çevresel oksijenin alınması, oksijenin kana difüzyonu, dokulara kan akışı gibi bir dizi mekanizmalar aktif dokuların mitokondrilerindeki oksidasyon bölgelerine yeterli oksijen tedarikini sağlamaktadır (42). Oksidatif sistem yüksek enerji verimine sahiptir ve uzun süreli egzersiz sırasında enerji üretimi için en önemli yoldur. Bu aktif süreç aktif kasların mitokondrilerinde gerçekleşir ve krebs çemberini ve solunum zincirini kullanır (38).

Aerobik mekanizmanın enerji verimi, anaerobik glikoliz yoluyla elde edilen enerji veriminden çok daha yüksektir. Aerobik mekanizma yoluyla glikojenin mmol'ü başına 39 ATP üretilir. Dakikalarca ve hatta saatlerce süren dayanıklılık gerektiren aktivitelerde aerobik enerji sistemi kullanılmaktadır. Aktivitenin süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak aerobik ve anaerobik metabolizmadan karşılanan enerji transferleri değişim göstermektedir. Aerobik metabolizma ile enerji transferine %50-95'lik katkı sağlanırken; anaerobik metabolizma ile enerji transferine %5-50'lik katkı sağlanmaktadır (43).

2.6. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler

2.6.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Aerobik Kapasite

Aerobik kapasite, büyük iskelet kas gruplarının aerobik metabolizma sonucunda oluşan enerjiyi tüketerek çok kısa süreli maksimal veya submaksimal fiziksel aktivitelere uyum sağlama yeteneğidir (39).

Aerobik kapasite pulmoner, kardiyovasküler ve hematolojik bileşenlerin fizyolojik olarak yeterlilik derecesine ve egzersiz süresince egzersize aktif olarak katılan kas gruplarının oksidatif sistemlerinin aktivite düzeyine bağlıdır.

Mukavemet gerektiren spor dallarında aerobik kapasite kardiyak ve solunumsal anlamda sporcunun fonksiyonel yeterliliğini temsil eder. Ayrıca kardiyopulmoner ve nöromüsküler yapıların işlevsel birlikteliğinin bir göstergesi olarak kabul görmektedir. Aerobik kapasite, sporcuların egzersiz kapasitelerini belirlemek için önem arz eden fizyolojik bir kriter olarak kullanılmaktadır. Fizyolojik olarak maksimum dayanıklılık, bireyin maksimum aerobik kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, egzersiz sırasında uygulanan maksimum strese karşılık olarak birey tarafından kullanılan toplam oksijen miktarıdır (44).

Maksimum oksijen tüketimi (VO_{2maks}) şiddeti kademeli olarak artan egzersiz protokolü sırasında iskelet kasları tarafından kullanılan zirve oksijen hacmi olarak tanımlanır. VO_{2maks} aerobik kapasitenin iyi bir göstergesi olmakla kalmayıp kardiyovasküler, nöromüsküler, pulmoner fonksiyonların entegrasyonunun önemli bir belirteçidir (45). Önceden değeri O_2 L/dk olarak tanımlanmasına rağmen; günümüzde toplam yağsız vücut ağırlığının bir kilogramı için bir dakikada kullanılan oksijen miktarının mililitre cinsinden ifade edilmesinin daha doğru olacağı öngörülmüştür (46).

Bir kişi giderek daha yüksek güç çıkışlarında egzersiz yaptığında VO_{2maks} 'a ulaşana kadar aktif iskelet kaslarının talebine uyacak şekilde oksijen alımında doğrusal bir artış vardır. Maksimum oksijen tüketimi sistemin aktif kaslarına oksijen sağlama yeteneğinin yanı sıra bir sağlık biyobelirteçidir (8). Maksimum oksijen tüketimi eğitimli sporcularda sedanter bireylere kıyasla artmış vurum hacmi, gelişmiş miyokard fonksiyonu ve aktif kaslarda oksidatif metabolizma için daha yüksek kapasite nedeniyle iki kat daha yüksek olabilir. Ancak akciğer hastalığı, kalp hastalığı ve periferik vasküler hastalığı olan bireyler daha düşük VO_{2maks} değerine sahiptir (8).

Maksimum oksijen tüketimi değeri yaş, cinsiyet, genetik, antrenman düzeyi, egzersiz modeli ve vücut kompozisyonu gibi durumlara göre değişkenlik göstermektedir. Kalıtsal faktörler VO_{2maks} değeri üzerinde yaklaşık olarak %40'lık bir etkiye sahiptir.

Yapılan araştırmalarda egzersizle birlikte maksimum aerobik kapasitede %77'ye yakın bir yükselme tespit edilmiş ve bu farkın genetiksel faktörlere bağlı meydana geldiği görülmüştür (47).

Maksimum oksijen tüketimi değeri ile yağsız vücut ağırlığı arasında önemli ölçüde pozitif korelasyon vardır. Erişkin bir kadında vücut yağ oranı erkeklerle kıyaslandığında daha fazladır (erişkin bir kadında vücut yağ oranı yaklaşık olarak %26 iken erkeklerde bu oran yaklaşık olarak %15). Kız çocuklarında ergenlik döneminde vücutlarında yüksek oranda yağ birikmektedir. Ergenlik dönemine ulaşana kadar kadınlarda VO_{2maks} değeri giderek artar. Erkeklerde VO_{2maks} değerinin kadınlara göre yüksek olmasının diğer bir nedeni ise kan hemoglobin düzeyinin kadınlara göre %10-15 daha yüksek olmasıdır (48).

İlerleyen yaş ile birlikte VO_{2maks} değerinde kademeli düşüşler meydana gelmektedir. Bu düşüşün altında yatan ana sebep ilerleyen yaş ile birlikte vücutta meydana gelen fizyolojik değişimlerdir. Yaşlanma ile birlikte kalp hızı ve kardiyak debide azalmalar meydana gelir. Ayrıca akciğer kapasitelerinde azalma olur ve motor nöron kayıpları kas kütlesi kaybına yol açar. Bu olayların neticesinde maksimum aerobik güç azalır (48).

2.6.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Metabolik Eşdeğer

Metabolik eş değer (MET) kavramı fiziksel aktivitelerin enerji maliyetini ifade etmek için basit, pratik, kolay anlaşılır bir prosedürü temsil eder. Bir metabolik eş değer istirahat halinde oturma pozisyonunda tüketilen oksijen miktarı olarak tanımlanır ve kilogram vücut ağırlığı başına 3,5 mL oksijene eşittir. Yetişkin bir bireyde 1 MET = 3,5 mL/kg/dk'ya eşittir (49). Metabolik eş değer kavramına yaş, cinsiyet ve hastalık öyküsünün önemli etkileri vardır (50). Bu değer kilogram vücut ağırlığı başına verildiğinden, göreceli oksijen tüketimi olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin oksijen tüketiminin ve dolayısıyla enerji harcamasının 10 kat artması 10 MET olarak ifade edilir.

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

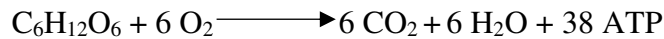
Solunum değişim katsayısı (RER) metabolizma sonucu üretilen karbondioksit miktarı ile alınan oksijen miktarı arasındaki oranı temsil etmektedir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse $RER = VCO_2/VO_2$ 'dir. Bu oran ekshalasyon gazlarının oda havasıyla karıştırılmasıyla belirlenir. Bu oranın ölçülmesi vücuda gerekli enerjiyi temin etmek için hangi yakıtın (örneğin karbonhidrat veya yağ) metabolize edildiğinin bir göstergesi olan solunum katsayısını (RQ) tahmin etmek için kullanılabilir (51).

Solunum değişim katsayısı değerini kullanarak RQ'yu tahmin etmek; laktat birikimi olmaksızın sadece istirahat ve hafif ile orta dereceli aerobik egzersiz sırasında doğru bir yaklaşımdır. Bu durumun yoğun anaerobik egzersiz sırasında geçerliliğini kaybetmesinin altında yatan neden bikarbonat tampon sisteminin dahil olduğu faktörlerdir. Vücut laktat birikimini tolere etmeye ve solunum sisteminden daha fazla CO_2 'i uzaklaştırarak kanın asidoza girmesini minimum düzeye indirmeye çalışır (52).

Solunum değişim katsayısı değeri baskın olarak kullanılan yakıtın türüne göre değişkenlik göstermektedir. 0.7'lik bir RER değeri yağın baskın enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. 1.0'lık bir değer karbonhidratın baskın enerji kaynağı olduğunu; 0.7 ile 1.0 değerleri arasındaki bir değer hem yağ hem de karbonhidrat karışımını gösterir. Genel olarak karışık bir diyet, yaklaşık olarak 0.8'lik bir RER değerine karşılık gelmektedir (53).

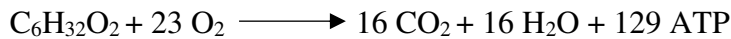
Yoğun bir egzersiz sırasında RER değeri 1.0'i aşabilir ve 1.0'in üzerindeki RER değeri substrat metabolizmasına değil; bikarbonat tamponlanması ile ilgili faktörlere atfedilebilir (46).

Bir karbonhidrat molekülünün oksidasyonu (54)



$$RER = VCO_2/VO_2 = 1 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bir yağ asidi molekülünün (palmitik asit) oksidasyonu (55)



$$RER = VCO_2/VO_2 = 0.7 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

2.6.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı

Kardiyovasküler sistemin egzersize hızlı yanıtı, vagal tondaki azalmaya bağlı olarak kalp atım hızında meydana gelen bir artıştır. Kalp hızındaki bu artışı kalbe ve sistemik kan damarlarına sempatik uyarımdaki artış izler. Dinamik egzersiz sırasında kalp atım hızındaki artış uygulanan iş yükü ve VO_2 ile doğrusal olarak artar. Kalp atım hızı düşük yoğunluktaki egzersiz seviyeleri sırasında ve sabit bir çalışma hızında dakikalar içinde sabit bir seviyeye ulaşmaktadır. Uygulanan iş yükü arttıkça kalp atım hızının dengelenmesi için gerekli süre kademeli olarak uzamaktadır (12).

Egzersize verilen kalp atım hızı tepkisi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Sinirsel etkilerle ilişkili gibi görünen yaşla ile birlikte ortalama maksimum kalp hızında bir düşüş meydana gelir (56). Kalp hızını etkileyen diğer faktörleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Vücut pozisyonu
- Uygulanan egzersizin türü
- Belirli fiziksel koşullar
- Bireyin sağlık durumu
- Kan hacmi
- Sinüs düğümü fonksiyonu
- Kullanılan ilaçlar
- Çevresel faktörler (46)

2.7. Kalp Hızı Toparlanma İndeksi ve Önemi

Egzersiz kardiyovasküler fonksiyonları değerlendirmek için değerli bir araçtır (57). Egzersizin başlangıcından itibaren kasların ve dokuların artan metabolik taleplerini karşılamak amacıyla kalp atım hızında bir artış meydana gelir. Kalp atım hızında meydana gelen bu artış beyinde medullar merkezlere afferent girdiler yansıtan otonom sinir sistemi dallarının uygun bir cevabına; yani parasempatik aktivitedeki azalmaya ve sempatik aktivitede bir artışa yol açan merkezi ve çevresel mekanizmaların etkisi ile sıkı bir biçimde düzenlenmektedir (47, 58). Egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından metabolik talepte bir azalma olur ve bunun sonucunda kalp atım hızında bir azalış meydana gelir (59).

Kalp hızındaki toparlanma, egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından dakikalar içinde kalp atım hızında meydana gelen azalma oranı olarak tanımlanmaktadır (60).

Egzersiz sonlandırılmasının hemen ardından kalp atım hızında meydana gelen bu toparlanma süreci hızlı ve yavaş olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Egzersizin sonlandırılması ile kalp atım hızında süratli bir düşüş meydana gelmektedir. Bu bölüm hızlı faz olarak adlandırılmaktadır. Ardından kalp atım hızındaki bu azalış süreci kalp atım hızı başlangıç seviyesine dönene kadar kademe kademe devam etmektedir. Bu bölüm ise yavaş faz olarak adlandırılmaktadır (61).

Farmakolojik blokaj kullanılan çalışmalarda kalp atım hızındaki toparlanma periyodunda hızlı fazın öncelikli olarak parasempatik tekrar uyarılma ile yavaş fazın ise sempatik geri çekilme ile meydana geldiği ortaya konmuştur (62, 63).

Sağlıklı kişilerde maksimal egzersiz sonrası kalp hızındaki toparlanma süreci submaksimal egzersiz sonrası ile karşılaştırıldığında daha yavaştır. Bu da göstermektedir ki sempatik sinir sistemi maksimal egzersiz boyunca daha baskındır (3). Egzersiz sonrası kalp atım hızındaki toparlanma süreci otonom ve çok sayıda humoral faktörler arasındaki karmaşık ilişkiyi göstermekle kalmayıp; ayrıca antrenmanla tetiklenen otonomik kontrol bozuklukları hakkında da önemli bilgiler vermektedir (64).

Kardiyopulmoner egzersiz testi ile yapılan ölçümlerde; egzersizin sona ermesinin hemen ardından ilk dakikada meydana gelen kalp atım hızındaki düşüş miktarı her birey için farklıdır. Antrenman sonrası hızlı kalp toparlanma süreci bireyin atletik performansı hakkında bilgi vermesinin yanında, çeşitli duraksama ve yoğunluktaki fiziksel aktivitelere kardiyak fonksiyonların adaptasyonunu göstermek için de kullanılmaktadır (65, 66). Ayrıca antrenman durumu ve antrenmanla ilişkili yorgunluk, aşırı yüklenme ve dehidratasyon ile ilgili bilgiler de sunmaktadır (2).

Kalp hızı toparlanmasındaki gecikme ve anormallikler mortalite ve morbidite oranının saptamasında önemli bir göstergedir (67, 68). Bu nedenlerden ötürü kalp hızı toparlanma indeksi sadece sağlıklı, sporcu bireylerin değil ayrıca belirli hastalığa sahip bireylerin de seyrinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Dolayısıyla egzersiz sonrası kalp hızı toparlanma indeksi hassas otonomik denge, parasempatik hakimiyet ile ilgili sadece atlet ve sedanter bireyler arası farkı değil, ayrıca antrenman ile tetiklenmiş bozuklukları belirlemek için de kullanılmaktadır (64).

Kalp hızı toparlanma indeksi prognostik bir değere sahip olmanın yanında uyarlanabilir bir risk faktörüdür. Kalp hızı indeksini düzeltmek için bazı genel yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (69, 70).

- Fiziksel aktivitede artış
- Sosyal çevreden destek
- Meditasyon
- Uyku problemlerinin giderilmesi
- Kilo kaybı
- Sigara kullanımının bırakılması
- Mevcut stres düzeyinin azaltılması
- Beta-bloker
- Omega- 3 yağ asidi



3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulunun 31.05.2019 tarih ve 24237859-450 sayılı yazısı ile onaylanmıştır (Ek 1).

3.2. Çalışmaya Katılan Kişilerin Seçimi

Çalışmaya elit dağ kayağı ve kano sporu yapan genç sporcular ve sedanter bireyler dahil edildi. Çalışmaya katılan elit dağ kayağı branşından 11 (erkek) sporcu, kano branşından 12 (erkek) sporcu ve 10 (erkek) sedanter birey olmak üzere toplamda 33 kişi katıldı.

Çalışmaya katılan sporculara, çalışmaya başlamadan önce her birey için ayrı ayrı uygunluk ve onam formu doldurtulup imzalanması sağlandı. Böylelikle, teste katılmak için herhangi bir risk faktörünün bulunmadığı tespit edilerek çalışmaya başlandı.

3.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu

Çalışmada sporcunun KPET parametrelerine ait bilgileri saptamak için kardiyopulmoner egzersiz testi uygulandı. Bu test protokolü maksimal düzeyde yapıldığı için her bir sporcuya ve sedanter bireye ayrı ayrı kardiyovasküler veya kronik herhangi bir hastalığının bulunup bulunmadığı, düzenli antrenman geçmişinin olup olmadığı, egzersiz yapmak için fiziksel veya zihinsel engelinin bulunup bulunmadığı ve ayrıca alkol, sigara, uyuşturucu ve sedatif madde kullanıp kullanmadığı ile ilgili soruları içeren bir form doldurmaları istendi. Bu form Ek 2’de mevcuttur. Bu belgeyi kendi rızası ile imzalayarak herhangi bir risk grubunda olmadığını beyan eden sporcular ve sedanter bireyler egzersiz testine alındı.

3.4. Çalışma Dizaynı

Elit dağ kayakçıları, kanoculara ve sedanter bireylere laboratuvar ortamında kardiyopulmoner egzersiz testi boyunca testi sonlandıracak gelişmeler meydana gelmemesi şartıyla, sporcuların ve sedanter bireylerin dayanabileceği en son noktaya kadar test devam ettirildi. Her katılımcı için iş yükünün belirli aralıklarla arttırıldığı egzersiz testi, 5 dakika süreyle 20 Watt’lık iş gücünde ısınma periyodu ile başladı. Katılımcılardan, pedal direnci elektronik olarak ayarlanabilen bir bisiklet ergometresinde semptomla sınırlı maksimal kardiyopulmoner egzersiz testine (30 W/dk yük artışı şeklinde şiddeti giderek artan rampa

testinde 60 devir/dakika pedal çevirerek) tükenene kadar (pedal çevirmeyi >40 rpm seviyesinde artık sürdüremeyeceği yorgunluk düzeyine kadar) devam etmesi istendi.

Bu maksimal egzersizin ardından katılımcılardan dirençsiz pedal çevrilmesi istendi ve 5 dakikalık aktif toparlanma sağlandı. Kalp atış hızı sürekli olarak 12 derivasyonlu elektrokardiyogram ile anlık olarak takip edildi. Kalp hızı toparlanma indeksi, egzersizin zirve noktasındaki kalp atış hızı ile egzersiz sonrası toparlanma esnasındaki kalp atım hızı arasındaki farkın belirli zaman aralıklarıyla ölçülmesiyle belirlendi. Kalp hızındaki toparlanma maksimal egzersiz sonrası 5 dakikalık toparlanma sürecinde dirençsiz pedal çevirme (< 30 devir/dakika) esnasında 30 saniyelik aralıklarla hesaplandı.

3.5. Ölçümler

3.5.1. Vücut Kitle İndeksi

Kişinin boy uzunluğunun, kilosunun karesine oranı olarak ifade edilen vücut kitle indeksi (VKİ) analizleri Tanita body composition analyzer TBF- 300, Japonya marka cihaz kullanılarak yapıldı. Ölçümler öncesinden en az üç saat öncesinde yemek yenmemiş olmasına dikkat edildi. Ölçümler esnasında mesanenin olabildiğince boş olmasına ve üzerinde metal içerikli takıların olmamasına dikkat edildi. Ölçümler sırasında katılımcıların yalın ayak cihaza çıkmaları istenildi.



Resim 1. Tanita vücut kompozisyon analizatörü (TBF- 300, Japonya)

3.5.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi

Katılımcılara laboratuvar ortamı, test protokolleri ve kullanılacak tüm ekipmanlar hakkında detaylı bir bilgilendirme yapılarak olası tüm endişeler minimum düzeye indirildi ve katılımcıların rahatlaması sağlandı. Egzersiz testinin yapılacağı laboratuvar sıcaklığı 20-22 derece aralığında sabit tutuldu. Ayrıca sıcaklık, nem gibi tüm dış etmenler ölçülerek kayıt edildi.

Etik kurul önerisi doğrultusunda, çalışmanın tüm detayları anlatıldıktan sonra reşit olan bireylerin kendisinden, 18 yaşın altında olan bireylerin ise ailesinden bilgilendirilmiş onam formu alındı. Katılımcılardan testlerden önce en az 24 saat boyunca ağır egzersiz yapmamaları, egzersiz testinden 3 saat öncesine kadar yemek yememiş olmaları, rahat ve egzersize elverişli kıyafet giymeleri ve en az 6 saat uyumuş olmaları istendi.

Çalışmaya dahil edilecek kişilerin kardiyovasküler veya kronik herhangi bir hastalığının bulunmaması, düzenli antrenman geçmişinin olması (sporcular için), egzersiz yapmak için fiziksel veya zihinsel engelinin bulunmaması ayrıca alkol, sigara, uyuşturucu ve sedatif madde kullanmıyor olması çalışmaya dahil edilme kriterleri olarak kabul edildi.

Akut miyokart enfarktüsü, bilinç bulanıklığı, unstabil angina pectoris, 2-3. derece blok, atriyum ve ventriküllerde gelişen ani ritim bozuklukları, fiziksel engel, ciddi aort stenozu, konjestif kalp yetmezliği, kontrol altına alınamayan yüksek tansiyon, ventriküler anevrizma, ciddi pulmoner hipertansiyon, kan akımı içerisinde oksijenin kısmi basıncının 50 mmHg'dan düşük olması, kan akımı içerisindeki karbondioksitin kısmi basıncının 70 mmHg'dan yüksek olması kardiyopulmoner egzersiz testi kontra endikasyonları olarak kabul edildi. Bu semptomlardan bir ya da daha fazlasına sahip olan bireyler çalışmaya dahil edilmedi.

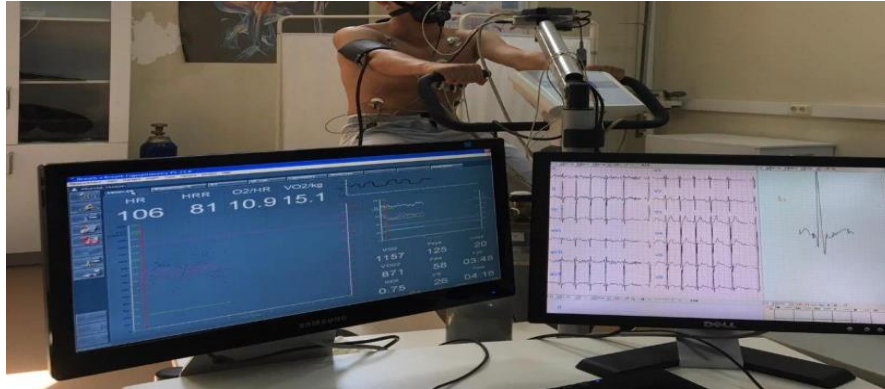
Kardiyopulmoner egzersiz testi kardiyopulmoner egzersiz ünitesinde yapıldı. KPET sırasında VIA Sprint 150P marka bisiklet modüllü, bilgisayara entegre olabilen QRS-card, 12 derivasyonlu EKG (Cardinal Health, Norristown, ABD), pulse oksimetre, ergospirometre, kardiyopulmoner egzersiz testi ünitesi ve Lab Manager 4.0 yazılım programı sistemi kullanıldı. Test süresince her iki dakikada bir tansiyon ölçümü ergoline marka tansiyon aleti ve ergoline marka tansiyon monitörü ile yapıldı. Elektrokardiyogram kayıtları anlık olarak izlenerek herhangi bir patolojik durum olup olmadığı kontrol edildi.

Test süresince herhangi bir patolojik durum rastlanılmadı. Testte kullanılacak gaz maskesi kişiye özel olarak testin başlamasından önce ve testin sonlandırılmasının hemen ardından sterilize edildi.

Kardiyopulmoner egzersiz testi boyunca testi sonlandıracak gelişmeler meydana gelmemesi şartıyla, sporcuların dayanabileceği en son noktaya kadar test devam ettirildi. Her katılımcı için iş gücünün düzenli olarak artırıldığı egzersiz testi, 5 dakika süreyle 20 Watt'lık iş gücünde ısınma dönemi ile başladı.

Sporcuların, pedal direnci elektronik olarak ayarlanabilen bir bisiklet ergometresinde semptomla sınırlı maksimal kardiyopulmoner egzersiz testine (30 W/dk yük artışı şeklinde şiddeti giderek artan rampa testinde 60 rpm'de pedal çevirerek) tükenene kadar (pedal çevirmeyi >40 rpm seviyesinde artık sürdüremeyeceği yorgunluk düzeyine kadar) devam etmesi istendi.

Bu maksimal egzersizin ardından katılımcılardan dirençsiz pedal çevrilmesi istenilerek, 5 dakikalık aktif toparlanma sağlandı. Kalp atış hızı sürekli olarak VIASYS Healthcare, Norristown, ABD marka 12 derivasyonlu elektrokardiyogram ile anlık olarak takip edildi. Kalp hızı toparlanma indeksi, egzersizin zirve noktasındaki kalp atış hızı ile egzersiz sonrası toparlanma esnasındaki kalp atım hızı arasındaki farkın belirli zaman aralıklarıyla ölçülmesiyle belirlendi. Kalp hızındaki toparlanma maksimal egzersiz sonrası 5 dakikalık toparlanma sürecinde dirençsiz pedal çevirme (<30 rpm) esnasında 30 saniyelik aralıklarla ölçüldü.



Resim 2. 12 derivasyonlu elektrokardiyogram (Cardinal Health, Norristown, ABD), pulse oksimetre, ergospirometre, kardiyopulmoner egzersiz testi ünitesi

3.5.3. Kalp Hızı Toparlanma İndeksi

Maksimal yükteki kardiyopulmoner egzersiz testinin sonlandırılmasının hemen ardından katılımcılardan dirençsiz pedal çevrilmesi istenilerek, 5 dakikalık aktif toparlanma sağlandı. Kalp atış hızı sürekli olarak (VIASYS Healthcare, Norristown, ABD) 12 derivasyonlu elektrokardiyogram ile anlık olarak takip edildi.

Kalp hızındaki toparlanma maksimal egzersiz sonrası 5 dakikalık toparlanma sürecinde dirençsiz pedal çevirme (<30 rpm) esnasında 30 saniyelik aralıklarla ölçüldü. Kalp hızı toparlanma indeksi (KHTİ) değerleri egzersizin zirve noktasındaki kalp atış hızı değerinden toparlanma periyodundaki 30'ar saniye aralıklarla ulaşılan toparlanma kalp hızı değerleri (TKH) çıkarılarak elde edilmiştir (KHTİ₁, KHTİ₂, KHTİ₃, KHTİ₄, KHTİ₅, KHTİ₆, KHTİ₇, KHTİ₈, KHTİ₉, KHTİ₁₀). KHTİ ve TKH değerleri 30'ar saniyelik aralıklarla 5 dakikalık süre boyunca toplamda 10 bölüme ayrılmıştır (örneğin KHTİ₁ = Zirve Kalp Hızı – Toparlanma Kalp Hızı 1 (30. saniyedeki), KHTİ₂ = Zirve Kalp Hızı – Toparlanma Kalp Hızı 2 (60. saniyedeki).

$$KHTİ_1 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 1 (TKH1)}$$

$$KHTİ_2 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 2 (TKH2)}$$

$$KHTİ_3 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 3 (TKH3)}$$

$$KHTİ_4 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 4 (TKH4)}$$

$$KHTİ_5 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 5 (TKH5)}$$

$$KHTİ_6 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 6 (TKH6)}$$

$$KHTİ_7 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 7 (TKH7)}$$

$$KHTİ_8 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 8 (TKH8)}$$

$$KHTİ_9 = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 9 (TKH9)}$$

$$KHTİ_{10} = \text{Zirve Kalp Hızı} - \text{Toparlanma Kalp Hızı 10 (TKH10)}$$

3.6. İstatistiksel Analiz

Tüm istatistiksel analizler ve grafikler sırasıyla; SPSS 25 ve Origin 08 programları kullanılarak yapıldı. Verilerin değerlendirilmesi ve gruplar arası farklılıklar için one-way ANOVA ile post hoc LSD testleri kullanıldı. Tüm istatistiksel analizlerde $p < 0.05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Bütün değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak verildi.



4. BULGULAR

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

Elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylerin tanımlayıcı verileri yaş, boy, kilo ve VKİ olarak belirlendi. Bu veriler kardiyopulmoner egzersiz testi öncesinde bir kez ölçüldü.

Bu tez çalışmasında elit dağ kayakçılarına (n=11) ait yaş, boy, kilo, VKİ verileri ölçüldü. Elde ettiğimiz verilere göre elit dağ kayakçılarının ortalama VKİ değeri 21.8 ± 3 kg/m^2 olarak tespit edildi. Bu çalışmada elit dağ kayağı sporcularına yaş, boy, kilo değerleri ise sırasıyla 18 ± 2.3 yıl, 173.7 ± 6.9 cm, 64.4 ± 10.7 kg olarak belirlendi.

Bu tez çalışmasında kano sporcularına (n=12) ait VKİ, yaş, boy, kilo verileri ölçüldü. Kano sporcularının VKİ değeri 22.8 ± 1.9 kg/m^2 olarak belirlendi. Kano sporcularına ait yaş, boy, kilo değerleri ise sırasıyla 18 ± 2.4 yıl, 173.3 ± 5.9 cm, 69 ± 8.4 kg olarak saptandı.

Bu tez çalışmasında yer alan sedanter bireylere ait (n=10) ait VKİ, yaş, boy, kilo verileri ölçüldü. Elde edilen verilere göre sedanter bireylerin VKİ değeri 22 ± 2.2 kg/m^2 olarak ölçüldü. Bu çalışmada sedanter bireylere ait yaş, boy, kilo değerleri ise sırasıyla 19.7 ± 0.4 yıl, 178 ± 10.5 cm, 71 ± 14.1 kg olarak tespit edildi.

Vücut kitle indeksi değerleri açısından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. Elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları ve sedanter bireylerin boy uzunlukları bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. Kilo değerleri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamadı. Yaş ortalamaları bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

4.2. Kalp Hızı Değerleri

Çalışmaya katılan elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylere ait kalp hızı değerleri test başlangıcında, anaerobik eşikte ve maksimum iş yükünde hesaplandı.

Elit dağ kayakçıları (n=11) için test başlangıcında kalp hızı değeri 94.3 ± 10.9 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 170.9 ± 17.6 atım/dk, maksimal yükte kalp atım hızı değeri 190.1 ± 8.2 olarak bulundu. Elit dağ kayakçıları için hedeflenen maksimum kalp hızı değerinin gerçekleşen yüzdesi 99.2 ± 6.3 olarak tespit edildi.

Kano sporcularında (n=12) test başlangıcında kalp hızı değeri 99 ± 19 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 164 ± 32 atım/dk, maksimal yükte kalp hızı değeri 191.5 ± 7 atım/dk olarak tespit edildi. Hedeflenen maksimum kalp atım hızı değerinin gerçekleşen yüzdesi kano sporcuları için 99.3 ± 6.7 olarak belirlendi.

Sedanter bireylerde (n=10) test başlangıcında kalp atım hızı değeri 114.8 ± 13 atım/dk, anaerobik eşikte kalp hızı değeri 155 ± 22 atım/dk, maksimal yükte kalp hızı değeri 184 ± 12.2 atım/dk olarak belirlendi. Hedeflenen kalp hızı değerinin gerçekleşen yüzdesi bakımından sedanter bireyler için 91.4 ± 6.3 olarak tespit edildi.

Bu tez çalışmasında elit dağ kayakçıları ve kano sporcularının test başlangıcındaki kalp hızı değerleri ile sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edildi (sırasıyla, $p<0.01$ ve $p<0.05$). Elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında test başlangıcındaki kalp hızı değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmezken; sedanter bireylerin test başlangıcındaki kalp hızı değeri hem elit dağ kayakçılarından hem kano sporcularından yüksek olduğu belirlendi.

Anaerobik eşikte kalp hızı değerleri açısından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık mevcut değildi. Maksimal yükte kalp hızı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken; kano sporcularının maksimal yükteki kalp hızlarının sedanter bireylerden daha yüksek olduğu tespit edildi ($p<0.05$).

Beklenen maksimum kalp atım hızı değerinin gerçekleşen %'si bakımından elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları için elde edilen değerlerin sedanter bireylere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edildi (sırasıyla, $p<0.01$ ve $p<0.001$). Bununla birlikte, elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında beklenen kalp atım hızının gerçekleşen %'si bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlendi.

4.3. Oksijen Kullanım Değerleri

Bu tez çalışmasına katılan elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylere ait oksijen kullanım değerleri istirahat halinde, anaerobik eşikte, maksimal iş yükünde hesaplandı. Elit dağ kayakçıları (n=11) için istirahat halinde oksijen kullanım değeri 10.3 ± 2.7 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 44.8 ± 9.2 mL/kg/dk, VO_{2maks} değeri 60.8 ± 10.6 mL/kg/dk olarak saptandı.

Demografik özelliklerine göre kendilerinden beklenen değerin yüzdesi bakımından elit dağ kayakçıları (n=11) için 127 ± 23.4 olarak belirlendi.

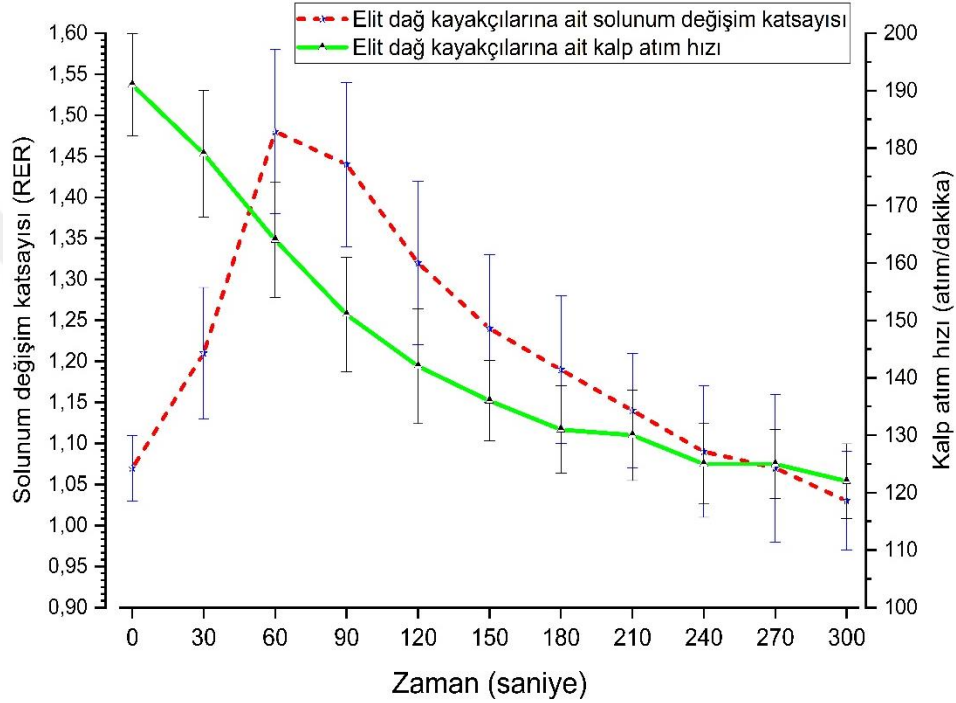
Kano sporcuları (n=12) için istirahat halinde oksijen kullanım değeri 10.2 ± 3.2 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 33 ± 9 mL/kg/dk, VO_{2maks} değeri 56 ± 6.5 mL/kg/dk olarak belirlendi. Hedeflenen değerlerin yüzdesi bakımından kano sporcuları için (n=12) 122 ± 13 olarak belirlendi.

Sedanter bireyler (n=10) için istirahat halinde oksijen kullanım değeri 8 ± 2 mL/kg/dk, anaerobik eşikte oksijen kullanım değeri 27.3 ± 10 mL/kg/dk, VO_{2maks} değeri 37.3 ± 10 mL/kg/dk olarak belirlendi.

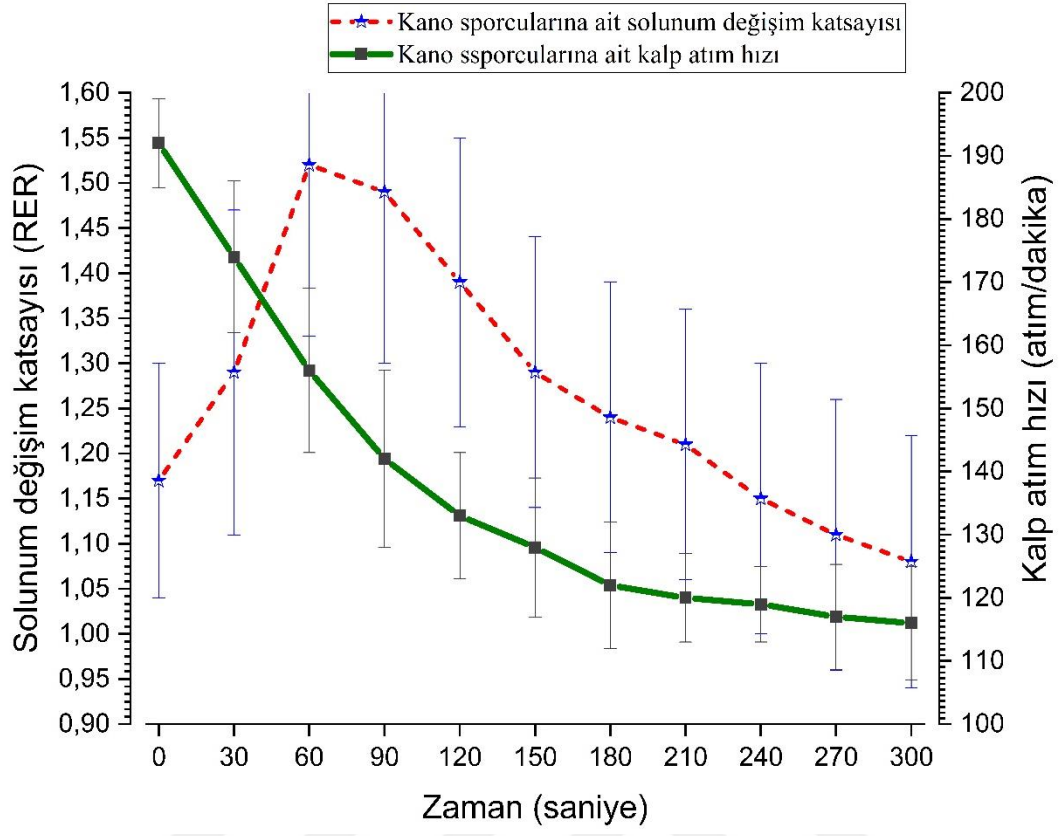
İstirahat halinde oksijen kullanım değerleri bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı. Anaerobik eşikte oksijen kullanım değerleri bakımından elit dağ kayakçılarına ait verilerin kano sporcuları ve sedanter bireylerden daha yüksek olduğu görüldü (sırasıyla, $p < 0.01$ ve $p < 0.001$). Ancak kano sporcuları ile sedanter bireyler arasında anaerobik eşikte oksijen kullanım değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmedi. Elit dağ kayakçıları ile kano sporcularının VO_{2maks} değerlerinin sedanter bireylerden daha yüksek olduğu belirlendi (sırasıyla, $p < 0.001$ ve $p < 0.01$). Ayrıca elit dağ kayakçılarının VO_{2maks} değerleri kano sporcularına kıyasla daha yüksekti ($p < 0.001$).

4.4. Toparlanma Periyodunda Kalp Hızı ve Solunum Değişim Katsayısı Değerleri

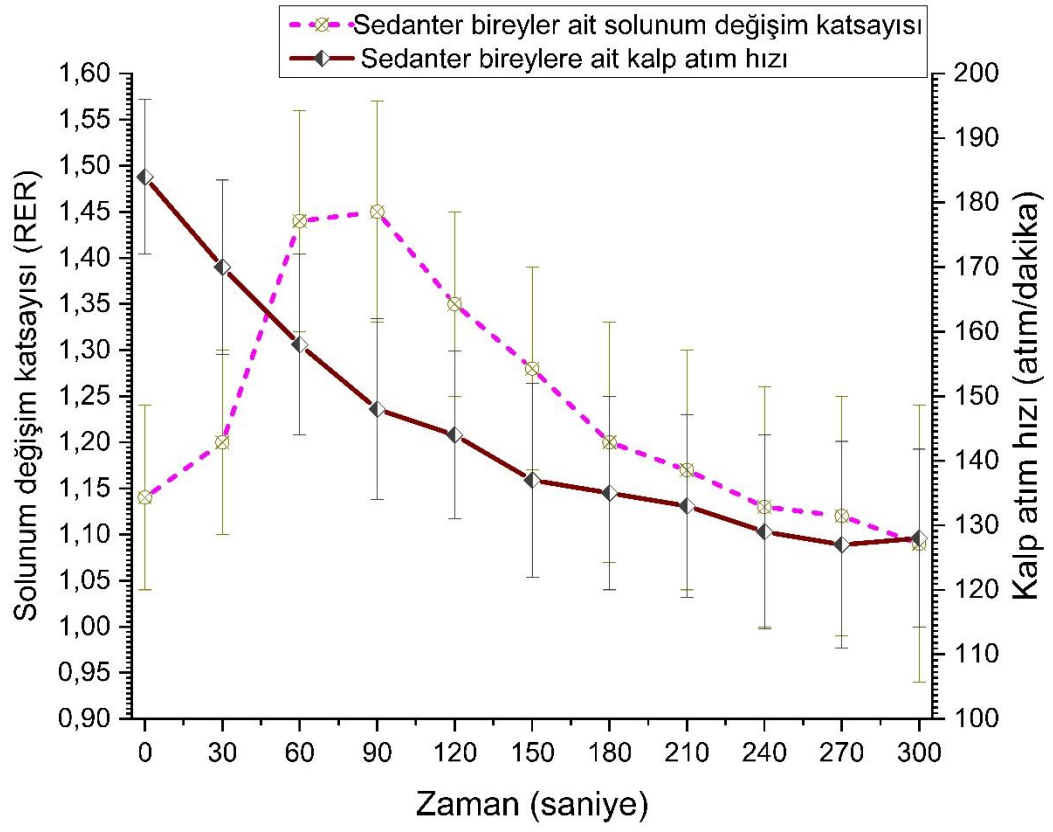
Çalışmaya katılan elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylere ait egzersizin sonlandırılmasının ardından zamana bağlı kalp hızı ve solunum değişim katsayısı değerleri Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3'te ayrı ayrı Şekil 4'te tüm grupların birleşimiyle ayrıntılarıyla gösterilmiştir.



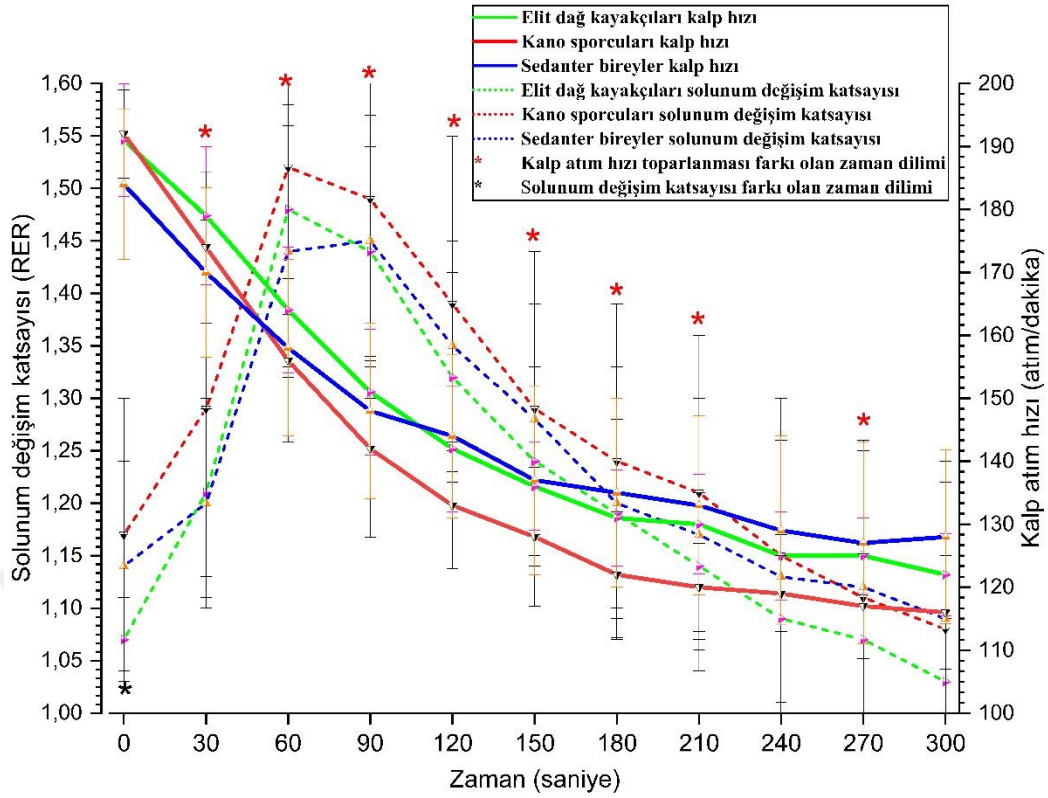
Şekil 1. Elit dağ kayakçılarındaki maksimum egzersiz aktivitesini takiben gerçekleştirilen aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri



Şekil 2. Kano sporcularında maksimum egzersiz sonrası aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri



Şekil 3. Sedanter bireylerde maksimum egzersiz aktivitesini takiben gerçekleştirilen aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri



Şekil 4. Elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylerde maksimum egzersiz sonrası aktif toparlanma evresinde solunum değişim katsayısı ve kalp atım hızının seyri

Elit dağ kayakçıları maksimum egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından kalp atım hızı değeri 191 ± 8.9 olarak ölçülmüştür. Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde kalp atım hızı değeri 179 ± 11.3 , 60. saniyesinde kalp atım hızı değeri 164.3 ± 10.3 , belirlendi. Toparlanma periyodunun, 90. saniyesinde kalp atım hızı değeri 151 ± 10 , 120. saniyesinde kalp atım hızı değeri 142 ± 10 , 150. saniyesinde kalp atım hızı değeri 136 ± 7.3 olarak belirlendi. Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde kalp atım hızı değeri 131 ± 7.6 , 210. saniyesinde kalp atım hızı değeri 130 ± 7.3 , 240. saniyesinde kalp atım hızı değeri 125.5 ± 7.3 , 270. saniyesinde kalp atım hızı değeri 125.1 ± 6.4 , 300. saniyesinde kalp atım hızı değeri 122 ± 6.5 olarak belirlendi.

Elit dağ kayakçıları maksimum egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER değeri 1.07 ± 0.04 olarak saptandı. Toparlanma periyodunun 30. saniyesindeki RER değeri 1.21 ± 0.08 , 60. saniyesindeki RER değeri 1.48 ± 0.1 , 90. saniyesindeki RER değeri 1.44 ± 0.11 , 120. saniyesindeki RER değeri 1.32 ± 0.1 , 150. saniyesindeki RER değeri 1.24 ± 0.09 olarak tespit edildi. Toparlanma periyodunun 180. saniyesindeki RER değeri 1.19 ± 0.09 , 210. saniyesindeki RER değeri 1.14 ± 0.07 olarak saptandı.

Toparlanma periyodunun 240. saniyesindeki RER değeri 1.09 ± 0.08 , 270. saniyesindeki RER değeri 1.07 ± 0.09 olarak, 300. saniyesindeki RER değeri 1.03 ± 0.06 olarak tespit edildi.

Kano sporcularının egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından kalp atım hızı değeri 191.5 ± 7 olarak belirlendi. Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde kalp atım hızı değeri 174.3 ± 12 , 60. saniyesinde kalp atım hızı değeri 157 ± 12 , 90. saniyesinde kalp atım hızı değeri 142 ± 14.07 , 120. saniyesinde kalp atım hızı değeri 134 ± 10 , 150. saniyesinde kalp atım hızı değeri 128 ± 11.5 olarak saptandı. Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde kano sporcularının kalp atım hızı değeri 123 ± 10 , 210. saniyesinde kalp atım hızı değeri 119 ± 10 , 240. saniyesinde kalp atım hızı değeri 119 ± 7 , 270. saniyesinde kalp atım hızı değeri 117.5 ± 8 , 300. saniyesinde kalp atım hızı değeri 116 ± 9.5 olarak saptandı.

Kano sporcularının maksimal yükteki egzersizin sonlandırılmasının ardından RER değeri 1.17 ± 0.13 olarak ölçüldü. Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde RER değeri 1.29 ± 0.16 , 60. saniyesinde RER değeri 1.52 ± 0.18 , 90. saniyesinde RER değeri 1.49 ± 0.19 , 120. saniyesinde RER değeri 1.39 ± 0.16 , 150. saniyesindeki RER değeri ise 1.29 ± 0.15 olarak belirlendi. Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde RER değeri 1.24 ± 0.14 , 210. saniyesinde RER değeri 1.21 ± 0.14 , 240. saniyesinde RER değeri 1.16 ± 0.14 , 270. saniyesindeki RER değeri 1.11 ± 0.13 , 300. saniyesindeki RER değeri 1.08 ± 0.13 olarak belirlendi.

Sedanter bireylerde egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından kalp atım hızı değeri 184 ± 12 olarak belirlendi. Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde kalp atım hızı değeri 170 ± 13.5 , 60. saniyesinde kalp atım hızı değeri 158 ± 14 , 90. saniyesinde kalp atım hızı değeri 149 ± 14.1 , 120. saniyesinde kalp atım hızı değeri 143 ± 13 , 150. saniyesinde kalp atım hızı değeri 137 ± 15 olarak saptandı. Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde sedanter bireylerin kalp atım hızı değeri 135 ± 13 , 210. saniyesinde kalp atım hızı değeri 132 ± 14.3 , 240. saniyesinde kalp atım hızı değeri 129 ± 14.7 , 270. saniyesinde kalp atım hızı değeri 127.2 ± 15.3 , 300. saniyesinde kalp atım hızı değeri 128 ± 13.8 olarak saptandı.

Sedanter bireylerin egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER değeri 1.14 ± 0.1 olarak belirlendi. Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde RER değeri 1.21 ± 0.1 , 60. saniyesinde RER değeri 1.44 ± 0.1 , 90. saniyesinde RER değeri 1.45 ± 0.12 , 120. saniyesindeki RER değeri 1.35 ± 0.12 , 150. saniyedeki RER değeri 1.28 ± 0.11 olarak ölçüldü.

Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde RER değeri 1.20 ± 0.13 , 210. saniyesinde RER değeri 1.17 ± 0.13 , 240. saniyesinde RER değeri 1.17 ± 0.13 , 270. saniyesinde RER değeri 1.12 ± 0.12 olarak belirlendi. 300. saniyesinde RER değeri 1.09 ± 0.15 olarak tespit edildi.

Maksimal egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireylerin kalp hızları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu. Ancak solunum değişim katsayısı değerleri bakımından kano sporcuları elit dağ kayakçılarından daha yüksek değer sergiledi ($p < 0.05$).

Toparlanma periyodunun 30. saniyesinde kano sporcularının kalp hızı değeri ile elit dağ kayakçıları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı. Solunum değişim katsayısı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Toparlanma periyodunun 60. saniyesinde gruplar arasında hem kalp hızları hem de RER değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmedi. Toparlanma periyodunun 90. saniyesinde kalp hızı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Solunum değişim katsayısı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Toparlanma periyodunun 120. saniyesinde kalp hızı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Solunum değişim katsayısı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. Toparlanma periyodunun 150. saniyesinde kalp hızı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Solunum değişim katsayısı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Toparlanma periyodunun 180. saniyesinde kano sporcuları ve elit dağ kayakçılarının kalp hızı değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık saptanmazken; sedanter bireylerin kalp hızlarının daha yüksek olduğu saptandı (sırasıyla $p < 0.05$ ve $p < 0.01$).

Solunum değişim katsayısı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

Toparlanma periyodunun 210. saniyesinde kano sporcularının kalp hızlarının hem elit dağ kayakçılarından hem de sedanter bireylerden düşük olduğu belirlendi (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.01$). Ama gruplar arasında solunum değişim katsayısı değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu.

Toparlanma periyodunun sırasıyla 240, 270 ve 300. saniyelerinde kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında kalp hızları değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edildi ve kano sporcularının kalp hızı değerinin bu zaman dilimlerinde sedanter bireylerden daha düşük olduğu saptandı (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$ ve $p<0.05$). Fakat bu zaman dilimlerinde elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları arasında kalp hızları bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık saptanmadı. Ayrıca gruplar arasında solunum değişim katsayısı değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu.

4.5. Kalp Hızı Toparlanması İndeksi Değerleri

Elit dağ kayakçılarının $KHTİ_1$ değeri 12 ± 6.7 , $KHTİ_2$ değeri 26.5 ± 7.1 , $KHTİ_3$ değeri 40.1 ± 6.7 , $KHTİ_4$ değeri 49 ± 8.6 , $KHTİ_5$ değeri 55 ± 7 , $KHTİ_6$ değeri 59.7 ± 7.1 , $KHTİ_7$ değeri 61 ± 7.3 , $KHTİ_8$ değeri 65.3 ± 7.9 , $KHTİ_9$ değeri 65.7 ± 8.3 , $KHTİ_{10}$ değeri 68.8 ± 7 vuru olarak saptandı. Kano sporcularının $KHTİ_1$ değeri 17.1 ± 9 , $KHTİ_2$ değeri 35 ± 9.8 , $KHTİ_3$ değeri 49.2 ± 8.6 , $KHTİ_4$ değeri 58 ± 9 , $KHTİ_5$ değeri 63 ± 10 , $KHTİ_6$ değeri 68.6 ± 9.5 , $KHTİ_7$ değeri 72.3 ± 10.3 , $KHTİ_8$ değeri 72 ± 8 , $KHTİ_9$ değeri 74 ± 9.3 , $KHTİ_{10}$ değeri 75.1 ± 9.6 vuru olarak belirlendi. Sedanter bireylerin $KHTİ_1$ değeri 14.2 ± 14.4 , $KHTİ_2$ değeri 26.5 ± 9 , $KHTİ_3$ değeri 36 ± 8.7 , $KHTİ_4$ değeri 41.2 ± 8.4 , $KHTİ_5$ değeri 48 ± 9.1 , $KHTİ_6$ değeri 50 ± 9.2 , $KHTİ_7$ değeri 53.8 ± 8.3 , $KHTİ_8$ değeri 56 ± 9.5 , $KHTİ_9$ değeri 57.3 ± 9.2 , $KHTİ_{10}$ değeri 57.6 ± 8.1 vuru olarak saptandı.

$KHTİ_1$ değerleri bakımından elit dağ kayakçıları, kano sporcuları ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktu. $KHTİ_2$ değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında ve kano sporcuları ile sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edildi ve kano sporcuları sedanter bireylerden; sedanter bireyler ise elit dağ kayakçılarından daha yüksek $KHTİ_2$ değeri sergiledi (sırasıyla, $p<0.05$ ve $p<0.05$). $KHTİ_3$ değerleri açısından elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında ve kano sporcuları ile sedanter bireyler arasında anlamlı bir farklılık tespit edildi ve kano sporcuları elit dağ kayakçılarından; elit dağ kayakçıları ise sedanter bireylerden daha

yüksek KHTİ₃ değerleri ortaya çıkardı (sırasıyla, $p<0.01$ ve $p<0.001$). KHTİ₄ değerleri yönünden kano sporcuları hem elit dağ kayağı ve sedanter bireylerden daha yüksek KHTİ₄ değeri sergilerken (sırasıyla, $p<0.05$, $p<0.001$); elit dağ kayakçıları sedanter bireyler arasında KHTİ₄ değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı.

KHTİ₅ değerleri yönünden kano sporcuları hem elit dağ kayağı ve sedanter bireylerden daha yüksek KHTİ₅ değeri ortaya koyarken (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$); elit dağ kayakçıları sedanter bireyler arasında KHTİ₅ değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı. KHTİ₆ değerleri bakımından tüm gruplar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlendi. Kano sporcuları elit dağ kayakçıları ve sedanter bireylerden; elit dağ kayakçıları ise sedanter bireylerden daha yüksek KHTİ₆ değerleri sergiledi (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.001$ ve $p<0.05$).

KHTİ₇ değerleri açısından kano sporcuları, elit dağ kayağı ve sedanter bireylerden daha yüksek değerler sergilerken (sırasıyla, $p<0.05$, $p<0.001$); elit dağ kayağı ve sedanter bireyler arasında istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmedi. KHTİ₈ değerleri yönünden kano sporcuları ve elit dağ kayakçıları arasında istatistiksel olarak bir farklılık saptanmazken; kano sporcuları ve elit dağ kayakçıları sedanter bireylerden daha yüksek KHTİ₈ değeri sergiledi (sırasıyla $p<0.01$, $p<0.001$). KHTİ₉ değerleri bakımından kano sporcuları ve elit dağ kayakçıları sedanter bireylere nazaran daha yüksek değerler gösterirken, elit dağ kayakçıları kano sporcularına göre daha düşük değerler sergiledi (sırasıyla, $p<0.05$, $p<0.001$ ve $p<0.05$). KHTİ₁₀ değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ile kano sporcuları arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık gözlemlenmezken, elit dağ kayakçıları ve kano sporcularının KHTİ₁₀ değerinin sedanter bireylerden daha yüksek olduğu saptandı (sırasıyla $p<0.05$ ve $p<0.001$).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Egzersiz sonrası toparlanma süreci, sporcuların hem bireysel sağlıkları hem de müsabakalardaki sportif performansları açısından ciddi önemi olan bir sağlık biyobelirtecidir.

Bu tez çalışmasında, ülkemizde henüz gelişme aşamasında olan dağ kayağı ve kano spor branşlarındaki sporcuların egzersizle ilişkili fizyolojik parametrelerinden kalp hızı toparlanma indeksi incelenerek; ilgili spor branşlarındaki uluslararası sporcular için bildirilen değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.

Bu çalışmada, maksimum egzersiz eforu sonrasında egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından; 30 saniye aralıklarla, toplamda aktif beş dakikalık toparlanma periyodundaki kalp hızı toparlanma indeksi değerlerine bakılmıştır. KHTİ₁ (30. saniye), KHTİ₈ (240. saniye) ve KHTİ₁₀ (300. saniye) değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları arasında istatistiksel anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmezken; kano sporcularının KHTİ₂ (60. saniye), KHTİ₃ (90. saniye), KHTİ₄ (120. saniye), KHTİ₅ (150. saniye), KHTİ₆ (180. saniye), KHTİ₇ (210. saniye), KHTİ₉ (270. saniye) değerlerinin elit dağ kayakçılarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha hızlı olduğu tespit edildi.

Dağ kayağı, dik arazilere hızlı tırmanmanın; zorlu arazi ve hava koşullarında kaymanın hakim olduğu bir dizi atletik beceriler gerektiren bir spor dalıdır. Bu spor dalının yüksek rakımlarda gerçekleşmesi ve zorlu parkurları tamamlamak için üst düzey bedensel, psikolojik, algısal faktörleri kaçınılmaz kılması fizyolojik açıdan ilave gereksinimleri beraberinde gerektirmektedir. Kano sporu, iki ucu sivri hafif bir tekneyle kürekler yardımıyla ağırlığın değişik yönlere aktarımıyla belirli kurallar dahilinde gerçekleştirilen bir spor dalıdır. Kano sporu kısa ve uzun zaman dilimlerinde yüksek yoğunlukta aktiviteler içerdiği için bu alandaki sporcuların performansları fizyolojik, antropometrik ve biyomekanik birçok faktörden etkilenmektedir.

Kalp atım hızı ölçümü, kardiyovasküler fonksiyonları değerlendirmek açısından en bilgilendirici yanıtlardan biridir. Maksimum egzersiz iş yüküne yaklaştıkça, egzersiz iş yükü artmaya devam etse bile kalp atım hızı tepe noktasına ulaşır. Bu durum kalp atım hızının maksimum değere ulaşmaya başladığının bir göstergesidir. Maksimum kalp atım hızı, egzersiz esnasında en yüksek fiziksel aktivite sonucu gerçekleşen en yüksek kalp atım hızı değeridir (71).

Egzersiz sonlandırılmasının hemen ardından metabolik talepte bir azalma meydana gelir. Kalp hızı otonom sinir sisteminin otoregülasyonu ile özellikle de parasempatik sinir sisteminin yeniden aktivasyonu ve sempatik sinir sistemi uyarısının geri çekilmesi ile azalır. Kalp hızının azalması sonucunda kalp debisinde bir azalış (vurum hacmi sabit kalmak üzere bu yorum yapılmıştır) meydana gelir (59). Kalp atım hızında meydana gelen toparlanma süreci; egzersiz sonlandırılmasının hemen ardından dakikalar içerisinde kalp atım hızında meydana gelen düşüş olarak tanımlanmaktadır (72). Egzersiz aktivitesi sonrası kalp atım hızında meydana gelen bu toparlanma süreci hızlı ve yavaş olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Farmakolojik blokaj kullanılarak yapılan çalışmalarda hızlı fazın öncelikli olarak parasempatik sistem aktivasyonu ile, yavaş fazın ise sempatik geri çekilme ile meydana geldiği bildirilmiştir (73)

Bu tez çalışmasında elit dağ kayakçıların test başlangıcında kalp hızı 94.3 ± 11 atım/dk olarak saptandı. Maksimal yük düzeyine ulaşıldığı egzersiz şiddeti seviyelerinde elit dağ kayakçıların kalp hızı 191 ± 9 atım/dk olarak tespit edildi. Aktif, 5 dakikalık toparlanma periyodunun sonunda elit dağ kayakçıların kalp hızı değerinde toplamda 69 ± 7 atımlık bir düşüş belirlendi. Kano sporcularının test başlangıcında kalp hızı 99 ± 17.3 atım/dk olarak tespit edildi. Maksimal yük düzeyine ulaşılmasının hemen ardından kano sporcularının kalp hızı 191.5 ± 7 atım/dk olarak belirlendi. Aktif 5 dakikalık toparlanma periyodunun sonunda kanocuların kalp hızı değerinde toplamda 75 ± 10 atımlık bir düşüş tespit edildi. Bu bulgulara göre elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları 5 dakikalık aktif toparlanma periyodunun sonunda test başlangıcındaki kalp hızı değerine ulaşamadı. Bu tez çalışmasında toparlanma periyodunun sonunda kalp atım hızında meydana gelen değişimlerin literatürle uyumlu olduğu saptanmıştır (74, 75). Bu bulgular dağ kayakçıları ve kano sporcularının test başlangıcındaki kalp hızı değerlerine ulaşabilmesi için toparlanma periyodunda 5 dakikadan daha uzun bir zaman diliminin gerekli olduğunu düşündürmektedir.

Bu tez çalışmasında yaş ve zirve kalp atım hızı değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları arasında istatistiksel anlamlı düzeyde bir farklılık saptanmadı. Yaş faktörünün KHTİ değerini etkilediği ve artan yaşla birlikte maksimum kalp atım hızında azalma meydana geldiği bildirilmiştir (76). Literatürde yaş ve KHTİ değerleri arasında ilişkinin incelendiği bir çalışmada yaşı büyük olan bireylerin KHTİ değerlerinde azalma ve yaştan bağımsız olarak yüksek kalp hızına sahip bireylerin KHTİ değerlerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (77).

Darr ve arkadaşlarının antrenman düzeyi yüksek ve düşük olan bireyleri karşılaştırdığı bir çalışmada yaş faktörü ile KHTİ değerleri arasında bir ilişki bulunmadığı bildirilmiştir (78). Bu tez çalışması sonucunda elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları arasında yaş değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmamasına rağmen KHTİ değerlerinin farklılık göstermesi; iki grup sporcu arasında KHTİ bakımından belirlenen farkın yaş faktörü ile açıklanamayacağını göstermektedir.

İki grup arasında KHTİ bakımından fark çıkmasının altında yatması olası mekanizmalardan biri de cinsiyettir. Bununla birlikte literatürde cinsiyet ile KHTİ değerleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışma sonuçları farklılık göstermektedir. Bu tez çalışmasında sadece erkek katılımcılar değerlendirildiği için cinsiyet ile KHTİ değerleri arasındaki ilişkiyi açıklamak mümkün olmamıştır. Arena ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada erkek cinsiyette kadınlara göre daha hızlı KHTİ değerleri bildirmiştir (79). Antelmi'nin çalışmasında ise kadın sporcularda daha hızlı KHTİ değerleri rapor edilmiştir (77). Lamberts ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma sonucunda cinsiyete bağlı olarak cinsiyete bağlı olarak KHTİ değerlerinde herhangi bir farklılık saptanmamıştır (80). Danieli ve arkadaşlarının çalışmasında egzersiz sonrası KHTİ değerlerinin cinsiyete göre farklılık göstermediği bildirilmiştir (81). Carter ve arkadaşları dayanıklılık antrenmanı programına dahil edilen kadın ve erkek bireylerde KHTİ değerleri arasında farklılık bulunmadığını ortaya koymuştur (82). Abad ve arkadaşları ise kadın ve erkek sporcularda KHTİ değerinin uygulanan egzersiz protokolüne göre farklılık gösterdiğini ve erkeklerde egzersiz sonrası kadınlara göre daha yüksek KHTİ değerleri varlığı belirtilmiştir (83).

Bu tez çalışmasında VKİ değerleri bakımından elit dağ kayakçıları ve kano sporcuları arasında istatistiksel anlamlı düzeyde bir farklılık saptanmamıştır. Lins ve arkadaşları yüksek VKİ değerinin kardiyovasküler sağlık için önemli bir risk faktörü olduğunu; vagal otonomik disfonksiyonun erken bir kardiyovasküler risk faktörü olabileceği göz önüne alındığında; egzersiz sonrası obez bireylerin normal VKİ değerlerine sahip bireylere göre azalmış KHTİ değerlerine sahip olduğunu bildirmiştir (84). Gondoni ve arkadaşları egzersiz sonrası VKİ değerleri normal ve yüksek olan bireylerde KHTİ değerlerinin farklılık gösterdiğini ve VKİ değeri yüksek olan bireylerde KHTİ değerlerinin düşük olduğunu belirtmiştir (85). Arujo ve arkadaşlarının çalışmasında erkeklerde egzersiz sonrası VKİ gruplarına göre KHTİ değerleri karşılaştırılmış ve VKİ grupları arasında KHTİ değerlerinin farklılık göstermediği rapor edilmiştir (86).

Bu tez çalışmasında sporcu grupları arasında VKİ değerleri farklılık göstermediği için KHTİ ile VKİ değerleri arasındaki ilişki açısından belirlenen farkın altında yatan mekanizmanın VKİ olma olasılığı düşüktür.

Daanen ve arkadaşlarının araştırmasında KHTİ değerlerinin atletlerin antrenman programlarını takip etmek ve antrenman kapasitelerini belirlemek için değerli bir belirteç olabileceği rapor edilmiştir (87). Egzersiz sonrasındaki KHTİ değerlerindeki artış fiziksel aktivitenin nöral komponentler üzerinde sağladığı pozitif etki ile oluşan kalp hızı modifikasyonlarının sonucunda oluşmaktadır. Uygulanan antrenman programıyla birlikte KHTİ değerlerinde meydana gelen değişimleri inceleyen araştırmalar literatürde mevcuttur. Lamberts ve arkadaşları tarafından antrene bireylere 40 km'lik denemelerin yaptırıldığı 4 haftalık yüksek yoğunluklu antrenman programının ardından katılımcıların 1. dakika KHTİ değerinde daha yüksek artışlar meydana geldiği bildirilmiştir (88). Bir başka çalışmada ise herhangi bir sağlık problemi bulunmayan sedanter bireylere 8 haftalık antrenman programı uygulanmış ve bunun sonucunda 30. saniye KHTİ değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Uygulanan antrenman programının ardından bireylerin 4 haftalık antrenmansız döneminin ardından KHTİ değerlerinin başlangıç seviyelerine gerilediği saptanmıştır (89). Darr ve arkadaşları antrenman düzeyi yüksek olan bireyleri (maksimal oksijen kullanım değeri 60 ml/kg/dk) antrenman düzeyi düşük (maksimal oksijen kullanım değeri 40 ml/kg/dk) bireylerle karşılaştırdığında 1.dakikaki KHTİ değerinin 6 atım daha yüksek olduğunu ve yaş faktörü ile KHTİ değerleri arasında bir ilişki bulunmadığını rapor etmiştir (76). Bu çalışmalara karşın antrenmanla birlikte KHTİ değerlerinde azalmanın meydana geldiği şeklinde raporlar da mevcuttur. Kaikkonen sporculara uygulanan farklı tip ve yoğunluktaki egzersizler sonucunda KHTİ değerlerini incelediğinde hem aralıklı hem de sürekli egzersizin ikisinde de artmış egzersiz yükünün KHTİ değerlerinde azalışa sebep olacağını bildirmiştir (90). Borresen ve Lambert dayanıklılık antrenmanı yapan atletlerde egzersiz sonrası 1. dakika KHTİ değerlerinde artış saptamış ve 1. dakika KHTİ değerinin egzersizdeki akut değişikliklere yanıt olarak değiştiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada 1. dakika KHTİ değerlerinin egzersiz yükündeki artışla birlikte azalış gösterdiğini; buna karşın egzersiz yükünü azaltan grupta ise KHTİ değerlerinde artışlar gözlemlediklerini saptamıştır (60). Antrenman yüklenmesi ile birlikte KHTİ değerleri üzerinde değişimin gözlemlenmediği çalışmalarda mevcuttur. Hautala ve tarafından kadın ve erkeklerden oluşan 80 kişilik gruba düzenli olarak 2 haftalık dayanıklılık antrenman programı uygulanması sonucunda

maksimal oksijen değerlerinde artış ve KHTİ değerlerinde herhangi bir farklılığın bulunmadığı tespit edilmiştir (91).

Bucheit ve arkadaşları sporculara uyguladıkları 3 haftalık kamptan sonra 1. dakika KHTİ değerlerinde herhangi bir değişim saptamamıştır (92). Lehmann ve arkadaşları artmış KHTİ değerinin akut yorgunlukla, azalmış KHTİ değerlerinin ise kronik yorgunluk ile karakterize olduğunu KHTİ değerlerinin sadece antrenman durumundaki değişimleri saptamakta kullanılmayacağını ve yorgunluğun derecesinin de belirlenebilmesi için de kullanılabileceğini bildirmiştir (93). McDonald ve arkadaşları anaerobik ve aerobik olarak eğitilmiş bisikletçilerin KHTİ değerlerini değerlendirmiş, pist bisikletçileri ve yol bisikletçileri için 2. dakikadaki KHTİ değerinin 1. dakikadaki KHTİ değerinden daha yüksek olduğunu; daha iyi bir KHTİ analizi yapılması için toparlanmanın 1 dakikadan daha uzun sürede izlenmesi gerektiğini rapor etmiştir (94). Mevcut araştırma verileri literatürle karşılaştırıldığında kano sporcularının 1. dakikadaki KHTİ değerinin sedanter bireylerden daha yüksek olması Darr ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucu ile benzerlik göstermektedir. Fakat dağ kayakçıların 1. dakikadaki KHTİ değerinin sedanter bireylerle farklılık göstermemesi literatürle çelişmektedir. Kainkonnen tarafından yapılan çalışma göz önünde bulundurulduğunda ise kano sporcularının 1., 2., ve 3. dakikada KHTİ değerlerinin daha yüksek olması egzersiz yükünün elit dağ kayakçılarında kano sporcularına göre daha yüksek olduğunu düşündürmektedir.

Bu tez çalışmasında maksimal düzeydeki egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından RER değeri elit dağ kayakçılarında 1.07 ± 0.04 ve kano sporcularında ise 1.17 ± 0.13 olarak tespit edildi. Kano sporcuları ve elit dağ kayakçıların toparlanma periyodunun ilk 60 saniyesindeki RER değerlerinde hızlı bir yükseliş saptandı (Şekil 4). RER değerinde meydana gelen yükselişin 1. dakikadan itibaren düşüşe geçtiği ve testin sonlandırılmasının ardından 4. dakikaya kadar testin sonlandırıldığı değerin üzerinde seyrettiği gözlemlendi. RER değeri egzersiz yoğunluğu ve egzersiz süresince kullanılan enerji kaynağı gibi iki önemli özelliği yansıtmaktadır (95). RER değeri egzersiz yoğunluğundaki artışa paralel olarak şiddeti giderek artan egzersiz sırasında yükselir. Bu değer istirahatte yaklaşık 0.70-0.75'lik bir değere sahipken, orta şiddetteki bir egzersiz sırasında yaklaşık 0.80-0.90'a yükselmektedir. Daha sonra maksimum yoğunluktaki bir egzersiz sırasında yaklaşık 1.10-1.20'de zirveye ulaşmaktadır (96). Toparlanma periyodunda RER değerlerindeki artış egzersizin sonlandırılmasının hemen ardından, geçici bir hiperventilasyondan

kaynaklanmaktadır. VO_2 'deki düşüş ventilasyondaki ayarlama oranını aştığında (97), akciğerlerden daha fazla CO_2 atılımı gerçekleşmektedir. Bunu takiben, ventilasyon oranı oksijen gereksinimlerini karşılar ve asit-baz dengesini geri kazanma gereksinimi CO_2 tutulmasına ve RER değerlerinde hızlı bir düşüşe yol açmaktadır (98). Bu durum yüksek ventilasyon oranlarına neden olan asit-baz düzenlenmesinde daha fazla stres oluşturan yüksek yoğunluklu egzersizlerden sonra daha belirgindir (86). Bu tez çalışmasındaki RER değerlerinde meydana gelen değişim sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu saptanmıştır.

Bu tez çalışmasında maksimal düzeydeki egzersiz protokolü tercih edilmiştir. Maksimal düzeydeki egzersiz protokolünün tercih edilmesinin nedeni kano ve dağ kayağının yüksek aerobik yoğunlukta yapılması, sporcularda genellikle maksimal yükte egzersiz protokolünün kullanılması; submaksimal egzersiz testinin genellikle hasta bireylerin prognozunu takibinde kullanılmasıdır. Egzersiz submaksimal düzeyde yapıldığında kalp hızı kinetiklerinin değiştiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (99). Sempatik sinir sistemi etkinliğinin yeterince aktive olmadığı submaksimal egzersiz protokolü ile sempatik sinir sisteminin maksimal düzeyde aktif olduğu egzersiz protokolü karşılaştırıldığında KHTİ değerlerinde büyük farklılıklar görülmektedir. Hem submaksimal hem de maksimal düzeydeki egzersizin ardından parasempatik sistemi etkisini toparlanma periyodunun hızlı fazında göstermektedir. Maksimal düzeydeki egzersizin ardından toparlanma periyodunda devam eden sempatik sinir sistemi aktivitesi yüksek kalp hızı değerlerinin elde edilmesine katkı sağlamaktadır (99).

Bu tez çalışmasında, egzersiz testi için bisiklet ergometresi kullanımı tercih edilmiştir. Bu tercihin nedeni bisiklet ergometresi kullanıldığında koşu bandı kullanımına göre kalp hızı değerleri ve EKG kayıtları doğru bir biçimde elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında pasif toparlanma yerine aktif toparlanma yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada egzersiz sonrası toparlanma değerleri, maksimal egzersiz eforunun sonlandırılmasının ardından katılımcıları oturtmak yerine 5 dakika boyunca dirençsiz pedal çevirmeleri istenilerek elde edildi. KHTİ değerleri tercih edilen toparlanma yönteminden etkilenmektedir. Literatürde egzersiz sonrasında farklı toparlanma çeşitleri bulunmaktadır. Pierpoint ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada toparlanma periyodunda KHTİ değerlerinin uygun bir biçimde elde edilebilmesi için maksimal egzersizin ardından katılımcıların pasif toparlanma yöntemiyle oturtularak ölçümlerin yapılmasını önermişlerdir (100). Ancak egzersiz sonrasında aktif toparlanma yönteminin tercih edilmesi;

toparlanma periyodunda hipotansiyon, senkop ve aritmi gelişme riskini azaltmaktadır. Bunun nedeni ise kas pompası etkinliğinin aniden etkisinin ortadan kalkmasını engelleyerek; daha etkin venöz dönüş ve kan laktatı gibi metabolitlerin daha etkili bir biçimde vücuttan uzaklaştırıldığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (77, 101-102). Tricot ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada aerobik kondisyon düzeyinden bağımsız olarak pasif toparlanma yöntemiyle elde edilen KHTİ değerlerinin, aktif toparlanma periyoduna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum muhtemelen motor korteksin merkezi komutasının kesilmesinden ve egzersizin sonlandırılmasının ardından parasempatik aktivitedeki artışa ve sempatik aktivitedeki azalışa neden olan mekanoreseptör uyarının azalmasından kaynaklanmaktadır (103). Literatürde KHTİ değerlerinin aktif toparlanma periyodu ile daha kusursuz elde edileceği; yapılan çalışmalar ile de sporcular için aktif toparlanma periyodunun daha uygun olduğu bildirilmiştir (104, 105-106). Bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasında literatüre uyumlu olarak aktif toparlanma yöntemi tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasının bulgularına göre kano sporcularının KHTİ değerlerinin 1., 2., 3. dakikalarda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde elit dağ kayakçılarından yüksek olduğu ortadadır. Çalışmalarda atletlerin antrenman durumu ile KHTİ değerleri arasındaki ilişki 1., 2., 3. dakika KHTİ değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Fakat mevcut çalışmada toparlanma periyodunda kano sporcularının 1., 2., ve 3. dakikalardaki KHTİ değerlerinin hepsi elit dağ kayakçılarından istatistiksel anlamlı olarak düzeyde daha yüksek tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında, bu tez çalışmasında veri toplanan kano sporcularının antrenman durumunun elit dağ kayakçılarından daha yüksek düzeyde olduğu söylenebilir. Nitekim kano sporunun hem statik hem de dinamik bileşenlerinin elit dağ kayağına göre daha yüksek olması bu tez çalışması bulgularıyla uyum göstermektedir. Kano sporcuları ile elit dağ kayakçılarından toparlanma periyodunda KHTİ değerlerinin istatistiksel olarak farklı çıkmasının altında yatan ana sebebin aerobik taleplerinin elit dağ kayakçılarından daha yüksek olmasından kaynaklandığı (107) düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında ölçülmemesine rağmen laktik asidin vücuttan uzaklaştırılma hızlarında yaşanan farklılıklar, sporcuların oksidasyon hızları arasındaki farklılıklar, antrenman süresince artan vücut ısının normale dönmesi için gerekli süre ve bu faktörlerin vagal aktivasyon üzerinde yaptığı değişimlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Bu sınırlılıklar araştırmanın laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında yapılmasıdır. Bu durum sporcuların doğal yarış standartlarının dışında değerlendirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmanın daha yüksek sayıda sporcu ve ölçümlerin geliştirilecek yöntemlerle spor müsabakaları esnasında yapılması geçerlik ve güvenilirliği daha yüksek verilerin elde edilmesine olanak sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu iki spor branşında elit düzeyde aktif spor yapan sporcularda egzersizle alakalı fizyolojik parametrelerden kalp hızı toparlanma indeksi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışması özgün bir çalışma olup Türkiye’de henüz gelişme aşamasında olan elit dağ kayağı ve kano spor branşlarına ait sporcular ve antrenörler için önemi olabilecek özgün veriler elde edilmiştir. Bu veriler ilgili spor branşlarına ilgi duyan bireylerin fizyolojik kapasitelerini değerlendirme aşamasında katkı sağlayabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Herdy AH, Ritt LE, Stein R, Araújo CG, Milani M, Meneghelo RS, Ferraz AS, Hossri C, Almeida AE, Fernandes-Silva MM, Serra SM (2016). Cardiopulmonary exercise test: background, applicability and interpretation. *Arq Bras Cardiol* 107(5): 467-481.
2. Lamberts RP, Swart J, Capostagno B, Noakes TD, Lambert MI (2010). Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scand J Med Sci Sports* 20(3): 449-457.
3. Borresen J, Lambert MI (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 38(8): 633-646.
4. Anderson RH, Razavi R, Taylor AM (2004). Cardiac anatomy revisited. *J Anat* 205(3): 159-177.
5. Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA (2008). Fizyoloji. 5 th ed. Çeviren: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği, Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Sti., Ankara, 223-242.
6. Macklem PT (1998). The mechanics of breathing. *Am J Respir Crit Care Med* 157: 88-94.
7. Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA (2008). Fizyoloji. 5th ed. Çeviren: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği, Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., Ankara, 420-437.
8. Rivera-Brown AM, Frontera WR (2012). Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training. *PMR* 4: 797–804.
9. Hammond HK, Froelicher VF (1985). Normal and abnormal heart rate responses to exercise. *Prog Cardiovasc Dis* 27(4): 271-296.
10. Guyenet PG (2006). The sympathetic control of blood pressure. *Nat Rev Neurosci* 7(5): 335–346.
11. D'Souza A, Bucci A, Johnsen AB, Logantha SJ, Monfredi O, Yanni J, Prehar S, Hart G, Cartwright E, Wisloff U, Dobryznski H, DiFrancesco D, Morris GM, Boyett MR (2014). Exercise training reduces resting heart rate via downregulation of the funny channel HCN4. *Nat Commun* 5: 3775.
12. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC, Gulati M, Madan K, Rhodes J, Thompson PD, Williams MA (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 128(8): 873-934.

13. Wilkoff BL, Miller RE (1992). Exercise testing for chronotropic assessment. *Cardiol Clin* 10(4): 705-717.
14. Lavie CJ, Arena R, Swift DL, Johannsen NM, Sui X, Lee DC, Earnest CP, Church TS, O'Keefe JH, Milani RV, Blair SN (2015). Exercise and the cardiovascular system: clinical science and cardiovascular outcomes. *Circ Res* 117(2): 207-219.
15. Dal U (2021). Kardiyovasküler Sistem ve Egzersiz. Ağar E (Ed.), İnsan Fizyolojisi. İstanbul Tıp Kitabevleri, İstanbul, Sayfa: 855-864.
16. Griffin SE, Robergs RA, Heyward VH (1997). Blood pressure measurement during exercise: a review. *Med Sci Sports Exerc* 29(1): 149-159.
17. Gleim GW, Stachenfeld NS, Coplan NL, Nicholas JA (1991). Gender differences in the systolic blood pressure response to exercise. *Am Heart J* 121: 524-530.
18. Carpio-Rivera E, Moncada-Jiménez J, Salazar-Rojas W, Solera-Herrera A (2016). Acute effects of exercise on blood pressure: a meta-analytic investigation. *Arq Bras Cardiol* 106(5): 422-433.
19. Mancia G, Laurent S, Agabiti-Rosei E, Ambrosioni E, Burnier M, Caulfield MJ, Cifkova R, Clément D, Coca A, Dominiczak A, Erdine S, Fagard R, Farsang C, Grassi G, Haller H, Heagerty A, Kjeldsen SE, Kiowski W, Mallion JM, Manolis A, Narkiewicz K, Nilsson P, Olsen MH, Rahn KH, Redon J, Rodicio J, Ruilope L, Schmieder RE, Struijker-Boudier HA, van Zwieten PA, Viigimaa M, Zanchetti A; European Society of Hypertension (2009). Reappraisal of European guidelines on hypertension management: a European Society of Hypertension Task Force document. *J Hypertens* 27(11): 2121-2158.
20. 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. *Am J Cardiol* 98(7): 938-943.
21. Duling BR, Klitzman B (1980). Local control of microvascular function: role in tissue oxygen supply. *Annu Rev Physiol* 42: 373-382.
22. Hayashi N, Yamaoka-Endo M, Someya N, Fukuba Y (2012). Blood flow in non-muscle tissues and organs during exercise: nature of splanchnic and ocular circulation. *J Sports Med Phys Fitness* 1(2): 281-286.
23. Kenney WL, Ho CW (1995). Age alters regional distribution of blood flow during moderate-intensity exercise. *J Appl Physiol* 79(4): 1112-1119.

24. Endo MY, Suzuki R, Nagahata N, Hayashi N, Miura A, Koga S, Fukuba Y (2008). Differential arterial blood flow response of splanchnic and renal organs during low-intensity cycling exercise in women. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 294: 2322–2326.
25. Gorman MW, Feigl EO (2012). Control of coronary blood flow during exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 40(1): 37-42.
26. Wangsa-Wirawan ND, Linsenmeier RA (2003). Retinal oxygen: fundamental and clinical aspects. *Arch Ophthalmol* 121(4): 547-557.
27. Delaey C, Van De Voorde J (2000). Regulatory mechanisms in the retinal and choroidal circulation. *Ophthalmic Res* 32(6): 249-256.
28. Ikemura T, Hayashi N (2012). Ocular circulatory responses to exhaustive exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 112(9): 3313-3318.
29. Lenasi H (2014). Physical exercise and skin microcirculation. *Period Biol* 116: 22-28.
30. Lucas-Cuevas AG, Priego Quesada JJ, Perez-Soriano P, Llana Belloch S (2015). Effects of the exercise in the cerebral blood flow and metabolism. *J Hum Sport Exerc* 10(1): 150-160.
31. Laughlin MH, Armstrong RB (1985). Muscle blood flow during locomotory exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 13: 95–136.
32. Liesker JJ, Wijkstra PJ, Ten Hacken NH, Koëter GH, Postma DS, Kerstjens HA (2002). A systematic review of the effects of bronchodilators on exercise capacity in patients with COPD. *Chest* 121(2): 597-608.
33. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians (2003). ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 167(2): 211-277.
34. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgrad Med J* 83(985): 675-682.
35. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 17(6): 1334-1342.
36. Ceylan E (2014). Cardiopulmonary exercise testing. *JCEI* 5(3): 504–509.
37. McArdle WD, Katch FI, Katch VL (2010). Exercise physiology: nutrition, energy and human performance, 7rd ed Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 138-139.

38. Scott C (2005). Misconceptions about aerobic and anaerobic energy expenditure. *J Int Soc Sports Nutr* 2(2): 32-37.
39. Yıldız SA (2012). Aerobik ve anaerobik kapasitenin anlamı nedir? *Eurasian J Pulmonol* 14: 1-8.
40. McArdle WD, Katch FI, Katch VI (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*. 7rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 163–176.
41. Spencer MR, Gastin PB (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33(1): 157-162.
42. Bassingthwaighte JB, Raymond GM, Dash RK, Beard DA, Nolan M (2016). The pathway for oxygen: tutorial modelling on oxygen transport from air to mitochondrion: the pathway for oxygen. *Adv Exp Med Biol* 876: 103-110.
43. Nagle FJ (1973). Physiological assessment of maximal performance. *Exerc Sport Sci Rev* 1: 313-338.
44. Tamer K (1996). Farklı aerobik antrenman programlarının serum hormonları, kan lipidleri ve vücut yağ yüzdeleri üzerine etkileri. *Bed Eğt Spor Bil Der* 1(1): 1-11.
45. Sözen H, Akyıldız C (2018). The effects of aerobic and anaerobic training on aerobic and anaerobic capacity. *J Int Anatolia Sport Sci* 3(3): 331–337.
46. McArdle WD, Katch FI, Katch VL (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*, 7rd ed Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 190-191.
47. Astrand PO (1992). Physical activity and fitness. *Am J Clin Nutr* 55(6): 1231-1236.
48. Astrand PO, Bergh U, Kilbom A (1997). A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. *J Appl Physiol* 82(6): 1844-1852.
49. Jetté M, Sidney K, Blümchen G (1990). Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clin Cardiol* 13(8): 555-565.
50. Kwan M, Woo J, Kwok T (2004). The standard oxygen consumption value equivalent to one metabolic equivalent (3.5 ml/min/kg) is not appropriate for elderly people. *Int J Food Sci Nutr* 55(3): 179-182.

51. 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. *Clin Med Circ Respirat Pulm Med* 2: 1-9.
52. Bahr R, Inges I, Vaage O, Sejersted OM, Newsholme EA (1987). Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *J Appl Physiol* 62(2): 485-490.
53. Forbes SC, Kennedy MD, Bell GJ (2013). Time-motion analysis, heart rate, and physiological characteristics of international canoe polo athletes. *J Strength Cond Res* 27(10): 2816–2822.
54. McArdle WD, Katch FI, Katch VL (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*, 7rd ed Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 186-187.
55. Beam W, Adams G (2013). *Exercise Physiology Laboratory Manual*. Egzersiz Fizyolojisi Laboratuvar El Kitabı. 6 th ed. Çeviren: Özer MK. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, 162-163.
56. Pina IL, Balady GJ, Hanson P, Labovitz AJ, Madonna DW, Myers J (1995). Guidelines for clinical exercise testing laboratories. A statement for healthcare professionals from the committee on exercise and cardiac rehabilitation, American Heart Association. *Circulation* 91(3): 912-921.
57. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, Mark DB, McCallister BD, Mooss AN, O'Reilly MG, Winters WL, Gibbons RJ, Antman EM, Alpert JS, Faxon DP, Fuster V, Gregoratos G, Hiratzka LF, Jacobs AK, Russell RO, Smith SC (2002). American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol* 40(8): 1531-1540.
58. Raven PB, Fadel PJ, Ogoh S (2006). Arterial baroreflex resetting during exercise: a current perspective. *Exp Physiol* 91(1): 37-49.

59. Peçanha T, de Brito LC, Fecchio RY, de Sousa PN, da Silva Junior ND, de Abreu AP, da Silva GV, Mion-Junior D, Forjaz CL (2016). Metaboreflex activation delays heart rate recovery after aerobic exercise in never-treated hypertensive men. *J Physiol* 594(21): 6211-6223.
60. Borresen J, Lambert MI (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *Eur J Appl Physiol* 101(4): 503-511.
61. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL (2014). Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging* 34(5): 327-339.
62. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, Takeda H, Inoue M, Kamada T (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 24(6): 1529-1535.
63. Kannankeril PJ, Le FK, Kadish AH, Goldberger JJ (2004). Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise. *J Investig Med* 52(6): 394-401.
64. Buchheit M, Papelier Y, Laursen PB, Ahmaidi S (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 293(1): 8-10.
65. Ostojic SM, Markovic G, Calleja-Gonzalez J, Jakovljevic DG, Vucetic V, Stojanovic MD (2010). Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 108(5): 1055-1059.
66. Watson AM, Brickson SL, Prawda ER, Sanfilippo JL (2017). Short-term heart rate recovery is related to aerobic fitness in elite intermittent sport athletes. *J Strength Cond Res* 31(4): 1055-1061.
67. Short KR, Sedlock DA (1997). Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J Appl Physiol* 83(1): 153-159.
68. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med* 341(18): 1351-1357.
69. Curtis BM, O'Keefe JH Jr (2002). Autonomic tone as a cardiovascular risk factor: the dangers of chronic fight or flight. *Mayo Clin Proc* 77(1): 45-54.

70. Desai MY, De la Peña-Almaguer E, Mannting F (2001). Abnormal heart rate recovery after exercise as a reflection of an abnormal chronotropic response. *Am J Cardiol* 87(10): 1164-1169.
71. Matsukawa K (2012). Central command: control of cardiac sympathetic and vagal efferent nerve activity and the arterial baroreflex during spontaneous motor behaviour in animals. *Exp Physiol* 97(1): 20-28.
72. Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, Do D, Myers J (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol* 38(7): 1980–1987.
73. Sears CE, Choate JK, Paterson DJ (1985). Inhibition of nitric oxide synthase slows heart rate recovery from cholinergic activation. *J Appl Physiol* 84(5): 1596-1603.
74. Veispals M, Gulbe A, Konrads A (2020). Heart rate recovery changes for high class canoe sprint athletes during training periods. Society, Integration, Education Proceedings of the International Scientific Conference, Letonya, 22 May 2020, 430-444.
75. Garnov IO, Loginova TP, Varlamova NG, Potolitsyna NN, Chernykh AA, Bojko ER (2021). Functional state dynamics in cross-country skiers in the summer and autumn preparatory phase. *Pedagogy Phys Cult Sports* 25(3): 152–159.
76. Zaim S, Schesser J, Hirsch LS, Rockland R (2010). Influence of the maximum heart rate attained during exercise testing on subsequent heart rate recovery. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 15(1): 43-48.
77. Antelmi I, Chuang EY, Grupi CJ, Latorre Mdo R, Mansur AJ (2008). Heart rate recovery after treadmill electrocardiographic exercise stress test and 24-hour heart rate variability in healthy individuals. *Arq Bras Cardiol* 90(6): 380-385.
78. Darr KC, Bassett DR, Morgan BJ, Thomas DP (1988). Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Am J Physiol* 254(2): 340-343.
79. Arena R, Arrowood JA, Fei D, Shelar S, Helm S, Kraft KA (2009). The influence of sex on the relationship between heart rate recovery and other cardiovascular risk factors in apparently healthy subjects. *Scand J Med Sci Sports* 20(2): 291–297.
80. Lamberts RP, Lemmink KAPM, Durandt JJ, Lambert MI (2004). Variation in heart rate during submaximal exercise: implications for monitoring training. *J Strength Cond Res* 18(3): 641-645.

81. Danieli A, Lusa L, Potočnik N, Meglič B, Grad A, Bajrović FF (2014). Resting heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise. *Clin Auton Res* 24(2): 53-61.
82. Carter JB, Banister EW, Blaber AP (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 35(8): 1333-1340.
83. Abad C, Kobal R, Kitamura K, Gil S, Pereira L, Loturco I, Nakamura F (2017). Heart rate variability in elite sprinters: effects of gender and body position. *Clin Physiol Funct Imaging* 37(4): 442-447.
84. 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. *Rev Port Cardiol* 34(1): 27-33.
85. Gondoni LA, Titon AM, Nibbio F, Augello G, Caetani G, Liuzzi A (2009). Heart rate behavior during an exercise stress test in obese patients. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 19: 170–176.
86. 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 Sci Health* 13: 217–223.
87. Daanen HAM, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NLU (2012). A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7(3): 251–260.
88. Lamberts RP, Swart J, Noakes TD, Lambert MI (2009). Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 105(5): 705–713.
89. Sugawara J, Murakami H, Maeda S, Kuno S, Matsuda M (2001). Change in post-exercise vagal reactivation with exercise training and detraining in young men. *Eur J Appl Physiol* 85: 259–263.
90. Kaikkonen P, Rusko H, Martinmäki K (2007). Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand J Med Sci Sports* 18(4): 511–519.
91. Hautala AJ, Rankinen T, Kiviniemi AM, Mäkikallio TH, Huikuri HV, Bouchard C, Tulppo MP (2006). Heart rate recovery after maximal exercise is associated with acetylcholine receptor M2 (CHRM2) gene polymorphism. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 291(1): 459-466.

92. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod MJ, Poulos N, Bourdon P (2010). Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 109(5): 869–878.
93. Lehmann M, Foster C, Dickhuth HH, Gastmann U (1998). Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 30(7):1140-1145.
94. McDonald KG, Grote S, Shoepe TC (2014). Effect of training mode on post-exercise heart rate recovery of trained cyclists. *J Hum Kinet* 41: 43–49.
95. Hagberg JM, Hickson RC, Ehsani AA, Holloszy JO (1980). Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. *J Appl Physiol* 48(2): 218–224.
96. Milani RV, Lavie CJ, Mehra MR, Ventura HO (2006). Understanding the basics of cardiopulmonary exercise testing. *Mayo Clin Proc* 81(12): 1603–1611.
97. Bahr R, Sejersted OM (1991). Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism* 40(8): 836–841.
98. Laforgia J, Withers RT, Gore CJ (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci* 24(12): 1247–1264.
99. Vicente-Campos D, López AM, Nuñez MJ, Chicharro JL (2014). Heart rate recovery normality data recorded in response to a maximal exercise test in physically active men. *Eur J Appl Physiol* 114(6): 1123–1128.
100. Pierpont GL, Adabag S, Yannopoulos D (2013). Pathophysiology of exercise heart rate recovery: a comprehensive analysis. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 18(2): 107–117.
101. Skaug E-A, Madssen E, Aspenes ST, Wisløff U, Ellingsen Ø (2014) Cardiovascular risk factors have larger impact on endothelial function in self-reported healthy women than men in the HUNT3 fitness study. *PLoS ONE* 9(7): e101371.
102. Mota MR, Dantas RAE, Oliveira-Silva I, Sales MM, Sotero RDC, Venâncio PEM, Teixeira Júnior J, Chaves SN, de Lima FD (2017). Effect of self-paced active recovery and passive recovery on blood lactate removal following a 200 m freestyle swimming trial. *Open Access J Sports Med* 8: 155-160.
103. Tricot GK, Araújo JA, Novelli FI, Arsa G, Cambri LT (2019). Aerobic fitness and type of recovery influence post-exercise heart rate recovery in young women. *Rev Bras Ciênc Mov* 27(2): 18-27.
104. Buchheit M, Al Haddad H, Laursen PB, Ahmaidi S (2009). Effect of body posture on postexercise parasympathetic reactivation in men. *Exp Physiol* 94(7): 795–804.

105. Boullosa DA, Abreu L, Nakamura FY, Muñoz VE, Domínguez E, Leicht AS (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *Int J Sports Physiol Perform* 8(4): 400-409.
106. Boullosa DA, Barros ES, del Rosso S, Nakamura FY, Leicht AS (2014). Reliability of heart rate measures during walking before and after running maximal efforts. *Int J Sports Med* 35(12): 999-1005.
107. Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP (2005). Task Force 8: classification of sports. *J Am Coll Cardiol* 45(8): 1364-1367.





EKLER

Ek 1. Etik Kurul Onayı



EK 1. (Devam)



Ek 2. Egzersiz Test Bilgi ve Onam Formu

BİLGİ & ONAM FORMU

Adı, Soyadı: _____ Cep Telefonu: _____
Adresi: _____ Evtelefonu): _____
(Acil durumlarında) 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 efora 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?	
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? BAYANLARA			

EK 2. (Devam)

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: 0462 377 7707 (İş) 0 533 761 99 70 (GSM)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : Özgören Burak

Uyruğu :

Doğum Tarihi ve Yeri

Telefon (İş)

E-Posta

Yazışma Adresi (İş)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı	2021
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü	2016
Lise	Samsun Anadolu Lisesi	2008

AKADEMİK/MESLEKİ DENEYİMİ

Görevi	Kurum	Süre (Yıl -Yıl)
1. Araştırma Görevlisi	Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı	2020/-

YABANCI DİL

İngilizce

