



TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ELİT DAĞ KAYAKÇILARININ SPORTİF  
KAPASİTELERİNE AİT FİZYOLOJİK  
PARAMETRELERİN KARDİYOPULMONER  
EGZERSİZ TESTİYLE İNCELENMESİ**

Kübra DÜĞENCİ

Yüksek Lisans Tezi

Prof. Dr. Ahmet AYAR

TRABZON-2019



TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ELİT DAĞ KAYAKÇILARININ SPORTİF  
KAPASİTELERİNE AİT FİZYOLOJİK  
PARAMETRELERİN KARDİYOPULMONER  
EGZERSİZ TESTİYLE İNCELENMESİ**

Kübra DÜĞENCİ

Yüksek Lisans Tezi

Prof. Dr. Ahmet AYAR

TRABZON-2019

## ONAY

Bu Tez Yüksek Lisans Tezi Standartlarına Uygun Bulunmuştur

Prof. Dr. Ahmet AYAR

Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı

.....

Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Kübra DÜĞENCİ'nin hazırladığı "Elit Dağ Kayakçılarının Sportif Kapasitelerine Ait Fizyolojik Parametrelerin Kardiyopulmoner Egzersiz Testiyle İncelenmesi" başlıklı tez KTÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, kapsam ve bilimsel kalite yönünden değerlendirilerek oybirliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. Ahmet AYAR

\_\_\_\_\_

Yüksek Lisans Sınavı Jüri Üyeleri

.....

\_\_\_\_\_

.....

\_\_\_\_\_

.....

\_\_\_\_\_

Tarih: ....../.../2018

Bu tez KTÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ....../.../2018 tarih ve ... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Ersan KALAY

Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürü

## BEYAN

Bu tez çalışmasının KTÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzu standartlarına uygun olarak 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 kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18/01/2019

Kübra DÜĞENCİ

.....

## TEŐEKKÖR

Bu tez çalıőmasının hazırlanması aőamasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan tez danıőman hocam Prof. Dr. Ahmet AYAR'a, yűksek lisans sűresince gűstermiő olduėu her tűrlű destekten dolayı sevgili hocam Doç. Dr. Mukadder OKUYAN'a, test sırasındaki her tűrlű yardımlarından dolayı Arő. Gűr. Ayőegűl KURT'a, sporcuları test için gűnderen Tűrkiye Daėcılık Federasyonu yűnetimine ve deneye katılan 15 lisanslı elit daė kayakçı sporcuya, tez çalıőmalarım boyunca her tűrlű kahrımı çeken annem Ayőe DÜĐENCI, babam İlhan DÜĐENCI ve kardeőlerim Gűlhan DÜĐENCI, Serap DÜĐENCI ve Tuėba DÜĐENCI'ye sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Kűbra DÜĐENCI

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
<b>ONAY</b>	
<b>BEYAN</b>	
<b>TEŞEKKÜR</b>	
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>vi</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>x</b>
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ</b>	<b>xiii</b>
<b>1. ÖZET</b>	<b>1</b>
<b>2. SUMMARY</b>	<b>2</b>
<b>3. GİRİŞ ve AMAÇ</b>	<b>3</b>
<b>4. GENEL BİLGİLER</b>	<b>5</b>
4.1. Kardiyopulmoner Sistem	5
4.1.1. Kalp	5
4.1.2. Akciğer	5
4.1.2.1. Pulmoner Dolaşım	5
4.2. Egzersiz	6
4.2.1. Ilımlı Orta Derecede Egzersiz	7
4.2.1.1. Periferik Direnç	7
4.2.1.2. Kardiyak Debi	9
4.2.1.3. Venöz Dönüş	9
4.2.1.4. Arteriyel Kan Basıncı	10
4.2.2. Şiddetli Egzersiz	11
4.2.3. Egzersiz Sonrası İyileşme	12
4.2.4. Egzersiz Performansının Sınırları	12
4.2.5. Fiziksel Antrenman Yapma ve Kondisyon Sağlama	13
4.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler	14
4.3.1. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp hızı	15

4.3.2. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp Debisi	16
4.3.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kan Basıncı	18
4.3.4. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kan Akımı	18
4.3.5. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Solunum Sistemi	19
4.4. Egzersiz Testleri	20
4.4.1. Laboratuar Egzersiz Testleri	22
4.4.1.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi	22
4.5. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler	24
4.5.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Aerobik Kapasite	24
4.5.1.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: MET Kavramı	26
4.5.1.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Oksijen Tüketimi ( $VO_2$ )	26
4.5.1.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Solunum Değişim Katsayısı (RER)	28
4.5.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kardiyak Etkinlik	29
4.5.2.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı	29
4.5.2.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kardiyak Rezerveri (Kalp Yedeği)	30
4.5.3. Anaerobik Kapasite ve Anaerobik Eşik Kavramları	30
4.5.3.1. Laktik Asit (LA)	31
4.5.3.2. Anaerobik Eşiğin Belirlenmesi	32
4.5.4. Aerobik-Anaerobik ATP Üretimi Arasındaki Etkileşim	34
4.5.5. Ventilasyon/Perfüzyon	34
4.5.5.1. Ventilasyonun Egzersiz Sırasında Denetlenmesi	35
4.6. Kaslar ve Egzersizde Kasa Yanıt	36

4.6.1. Egzersizde Kasın Metabolik Sistemleri	36
4.6.1.1. Oksijen Borcu	38
4.6.2. Kaslarda Güç, Kuvvet ve Dayanıklılık Kavramları	39
4.6.3. Atletik Antrenmanın Kaslara ve Kas Performansına Etkisi	40
4.7. Kayak Sporunun Tarihi	40
4.7.1. Dağ Kayağı (Tur Kayağı)	41
4.7.1.1. Dağ Kayağının Özellikleri	41
4.7.1.2. Dağ Kayağı ile Tırmanış	43
4.7.1.3. Dağ Kayağı ile Kayma	43
4.7.2. Ülkemizde Dağ Kayağı	43
<b>5. GEREÇ ve YÖNTEM</b>	<b>45</b>
5.1. Etik Kurul Onayı	45
5.2. Çalışmaya Katılan Kişilerin Seçimi	45
5.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu	45
5.4. Çalışma Dizaynı	45
5.5. Ölçümler	45
5.5.1. Vücut Kitle İndeksi (VKİ)	45
5.5.2. Spirometre Testi	46
5.5.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi	47
5.6. İstatistiksel Analiz	48
<b>6. BULGULAR</b>	<b>49</b>
6.1. Tanımlayıcı Veriler (Boy, Yaş, Kilo, VKİ)	49
6.2. Maksimal Kardiyak Değerleri	49
6.3. Pulmoner Fonksiyon Değerleri	51
6.3.1. FVC, FEV1, FEV1/%FVC ve MEF(25, 50, 75, 75/25)	52
<b>7. TARTIŞMA ve SONUÇ</b>	<b>54</b>
<b>8. KAYNAKLAR</b>	<b>59</b>
<b>9. EKLER</b>	<b>67</b>
9.1. Ek 1. Etik Kurul Onayı	67
9.2. Ek 2. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu	69
<b>10. ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>70</b>

**TABLULAR DİZİNİ**

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.</b> Kardiyopulmoner egzersiz testlerinin kontrendikasyonları	23
<b>Tablo 2.</b> Erkek ve bayanların VO <sub>2maks</sub> değerleri	25
<b>Tablo 3.</b> Çeşitli sportif aktiviteler sırasında kullanılan enerji sistemleri	37
<b>Tablo 4.</b> Elit dağ kayakçıları arasında egzersizle ilgili fizyolojik kapasite parametreleri	50



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 1.</b> Maraton koşan atletlerde çeşitli kalp debisi düzeylerinde yaklaşık atım hacmi ve kalp hızı	18
<b>Şekil 2.</b> Bacağın baldır kasının güçlü, ritmik kasılmaları sırasında kas egzersizi egzersizinin kan akımına etkisi	19
<b>Şekil 3.</b> Egzersizin oksijen tüketimi ve ventilasyon hızına etkisi	36
<b>Şekil 4.</b> 4 dakikalık maksimal egzersiz sırasında ve egzersizden yaklaşık 1 saat sonra akciğerler yoluyla oksijen alımı	39
<b>Şekil 5.</b> Elit dağ kayakçıları arasındaki tanımlayıcı veriler	49
<b>Şekil 6.</b> Elit dağ kayakçılarının kalp hızı değerleri	50
<b>Şekil 7.</b> Elit dağ kayakçılarının maksimum oksijen kullanım verileri	51
<b>Şekil 8.</b> Elit dağ kayakçılarının maksimum iş yükü verileri	52
<b>Şekil 9.</b> Elit dağ kayakçılarının dakika ventilasyon kapasitesi verileri	53

**RESİMLER DİZİNİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 1.</b> Dağ kayağı ayakkabısının bağlama mekanizması	42
<b>Resim 2.</b> Dağ kayağında kullanılan fok derisinin görünümü	42
<b>Resim 3.</b> Dağ kayağı yapan sporcuların tırmanış pozisyonu	43



## KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

### Kısaltmalar

<b>AH</b>	Atım hacmi
<b>ATP</b>	Adenozin trifosfat
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	Kalsiyum
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit
<b>DKB</b>	Diyastolik kan basıncı
<b>EKG</b>	Elektrokardiyografi
<b>FEV<sub>1</sub></b>	Zorlu ekspirasyonunun 1. saniyesinde atılan volüm
<b>FVC</b>	Zorlu vital kapasite
<b>H<sup>+</sup></b>	Hidrojen
<b>KD</b>	Kalp debisi
<b>KH</b>	Kalp hızı
<b>KPET</b>	Kardiyopulmoner egzersiz testi
<b>LA</b>	Laktik asit
<b>MEF</b>	Maksimum ekspiratuar akım
<b>MET</b>	Metabolik eşdeğer
<b>O<sub>2</sub></b>	Oksijen
<b>O<sub>2</sub>/HR</b>	Oksijen pulse
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	Arteriyel karbondioksit basıncı
<b>PaO<sub>2</sub></b>	Arteriyel oksijen basıncı
<b>PCO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit parsiyel basıncı
<b>PetCO<sub>2</sub></b>	End-tidal karbondioksit kısmi basıncı
<b>PetO<sub>2</sub></b>	End-tidal oksijen kısmi basıncı
<b>PO<sub>2</sub></b>	Oksijen parsiyel basıncı
<b>RER</b>	Solunum değişim oranı
<b>RQ</b>	Solunum katsayısı
<b>SKB</b>	Sistolik kan basıncı
<b>SR</b>	Sarkoplazmik retikulum
<b>ST</b>	S dalgası sonu ile T dalgası arasındaki yassı, izoelektrik ekg
<b>TDF</b>	Türkiye Dağcılık Federasyonu
<b>TPD</b>	Total periferik direnç
<b>TV</b>	Tidal volüm

<b>VA</b>	Alveoller ventilasyonu
<b>VC</b>	Vital kapasite
<b>VCO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit hacmi
<b>VE</b>	Dakika ventilasyonu
<b>VH</b>	Vurum hacmi
<b>VKI</b>	Vücut kitle indeksi
<b>VO<sub>2</sub></b>	Oksijen tüketimi
<b>VO<sub>2maks</sub></b>	Maksimum oksijen tüketimi
<b>V/Q</b>	Ventilasyonun perfüzyona oranı

**Formüller**

Glikojen



Laktik asit

## 1. ÖZET

### Elit Dağ Kayakçılarının Sportif Kapasitelerine Ait Fizyolojik Parametrelerin Kardiyopulmoner Egzersiz Testiyle İncelenmesi

Dağ kayağı fiziksel ve fizyolojik olarak yüksek kapasite gerektiren bir ekstrem spor branşıdır. Maksimum oksijen tüketimi, kas gücü, anaerobik güç, anaerobik ve aerobik dayanıklılık fizyolojik spor özelliklerini; boy ve beden kitle indeksi ise fiziksel vücut özellikleri yansıtır. Kardiyopulmoner egzersiz testi (KPET), bireyin dinamik egzersiz sırasındaki kapasitesini değerlendiren, tanısalsal ve prognostik amaçlı bilgiler sağlayan bir işlemdir. KPET kontrollü metabolik şartlar altında yapılan egzersizin solunum sistemi, kardiyovasküler sistem ve kas-iskelet sistemlerinin egzersize karşı oluşan yanıtın eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlar. Yani KPET ile bireyin fizyolojik parametrelerini objektif olarak belirlemek mümkündür. Bu tez çalışmasının amacı, elit dağ kayakçılarının sportif kapasiteye ait fizyolojik parametrelerin [(maksimum oksijen kullanımı:  $VO_{2maks}$ , solunum değişim katsayısı (RER), kalp hızı (KH), kalp hızı yedeği (KHY) ve spirometrik parametreler (FVC, FEV1, MEF) ile anaerobik eşik değeri gibi] KPET ile incelenmesidir. Bu kesitsel laboratuvar analizi çalışması ile hem dağ kayağı sporuyla uğraşmanın fizyolojik parametrelere etkisi hem de Türkiye Dağ Kayağı milli takımını sporcularının bu alandaki uluslararası elit sporcularla kıyasla ne durumda olduğu belirlenmiş olacaktır. Bu amaçla Türkiye Kayak Federasyonunda lisanslı 15 elit dağ kayakçısının sportif kapasitelerine ait fizyolojik parametreleri ve vücut kitle indeksleri incelenecektir. Elit dağ kayakçıları bisiklet ergometresinde şiddeti giderek artan (5 Watt/20 sn) test protokolünde (60 rpm sabit pedal hızı) maksimal egzersiz protokollü kardiyopulmoner egzersiz testi gerçekleştirecek ve bu esnada  $VO_{2maks}$ , RER, KH, KHY, spirometrik parametreler (FVC, FEV1, MEF) ve anaerobik eşik değerleri egzersiz test sistemi (12 derivasyonlu EKG, gaz analizatörü modülü ve ergospirometre donanımlı) ile ilgili yazılım programı aracılığı ile belirlenecektir. Elde edilecek fizyolojik parametreler TDF dağ kayağı milli takım sporcuları için güncel ve ilk veriyi ortaya koyacak ve bu değerler benzer sporcu sınıfı için başka ülke milli takımlarına ait literatür verileri ile karşılaştırılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Egzersiz kapasitesi, oksijen kullanımı, spirometre

## 2. SUMMARY

### **Investigation of Sportive Capacity Related Physiological Parameters of Elite Mountain Skiers with Cardiopulmonary Exercise Test**

Mountain skiing is a physically and physiologically highly demanding extreme sportive branch. Maximal oxygen uptake, muscular strength, anaerobic power, anaerobic and aerobic endurance are among to the physiological athletic characteristics and body characteristics including height and body mass are among the physical body characteristics. Cardiopulmonary exercise test (CPET) is a procedure that assess the individual's capacity for dynamic exercise and provide information for diagnostic and prognostic purposes. CPET, by performing exercise under-controlled metabolic conditions, allows simultaneous assessment of responses of respiratory, cardiovascular and musculoskeletal systems to exacerbations. Thus, CPET allows objective determination of physiological capacity of an individual. The aim of this thesis study was to investigate sportive capacity-related physiological parameters [(maximum oxygen consumption:  $VO_{2maks}$ , respiratory exchange ratio (RER), heart rate (HR), heart rate reserve (HRR) and spirometric parameters (FVC, FEV1, MEF) as well as anaerobic threshold)] using in elite mountain skiers using CPET. By this cross-sectional laboratory investigation we will determine both the impact of being engaged in mountain skiing on physiological parameters as well as determine the status of athletes among Turkish Mountaineering Team in comparison with relevant international elite athletes. For this purpose a total of 15 elite mountain skiers licensed by Turkish Mountaineering Federation was involved and their physiological parameters reflecting sportive capacity will be assessed. The elite mountain skiers will perform an incremental (5 Watt/20 sec) CPET, pedaling at 60 rpm, up to their maximum and  $VO_{2maks}$ , RER, HR, HRR, spirometric parameters (FVC, FEV1, MEF) and anaerobic threshold levels will be determined by the software of the CPET system (equipped with 12 lead ECG gas analyser and ergospirometry). Obtained data will document, for the first time, current values for the elite mountain skier team of the TMF and data will be compared with published relevant data for international athletes from other countries.

**Key Words:** Exercise capacity, oxygen uptake, spirometry

### 3. GİRİŞ ve AMAÇ

Dağ kayağı; kayak ayakkabısının altına yapıştırılan sentetik fok derisi yardımıyla eğimde yürümeyi kolaylaştıran ve kayakla ayakkabı bağlantısını topuktan serbest bırakacak şekilde tasarlanmış bir mekanizmaya sahip olan bir kayak türüdür. Dağ kayağı temel kayak eğitimi, derin ve her türlü karda kayma, tamamen pist dışı, istenildiğinde uzun süreli tırmanışların yapılabileceği, şartsız ve bağımsız gerçekleştirilebilen bir doğa sporudur. Ayrıca kış kampçılığı, dayanıklılık, çığ bilgisi, güç ve kondisyon gibi özelliklere sahip olunması ile diğer kayak çeşitlerinden farklılık gösterir (1).

Alp disiplini kayağında, “snow track” adı verilen bir araçla, kar ezilip pist oluşturulur ve mekanik bir sistemle pistin yukarısına çıkılarak buradan aşağıya doğru kayma işlemi gerçekleştirilir. Alp kayağında belli bir düzenle sınırlandırılmış bir pistte kayma mecburiyeti bulunmaktadır. Mukavemet kayağında, ezilmiş piste ihtiyaç yoktur ve çok derin olmayacak şekilde karın bol olması tercih edilir. Ayrıca mukavemet kayağında fazla tırmanış gerektirmeyen düzayak parkurlar mevcuttur. Bu bilgiler ışığında dağ kayağı alp disiplini kayak ile mukavemet kayağının bir karışımı olarak tanımlanır. Dağ kayağı, dayanıklılık gerektiren bir spor türü olup, bu sporla ilgilenen bireylerin yüksek aerobik fonksiyonel kapasiteye sahip olması gerekir. (1).

Kardiyopulmoner egzersiz testi (KPET), treadmill ve bisiklet ergometresi egzersizleri olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir. Treadmill egzersizleri her ne kadar günlük hayatta alışageldik olan yürüme aktivitesini içerse de, düz yolda yürüme aktivitesinden farklı olması ve yaşlı bireyler için denge kurmanın zor olması, ayrıca yer çekimine karşı daha fazla aktivite yapılması nedeniyle organlara daha fazla yük bindirir. Hem bu sebeplerden dolayı hem de daha ucuz ve daha az yer kaplaması nedeniyle bisiklet ergometresi yaygın olarak tercih edilmektedir (2).

Sporda elde edilebilecek üst düzeyde performans, bilimsel sonuçlara dayalı sporcu seçimine ve düzenli antrenman programlarının uygulamasına bağlıdır. Bunun gerçekleştirilmesi ancak laboratuvar çalışmalarının etkin yapılması ile mümkün olur (3).

Sonuç olarak, hangi spor dalında olursa olsun, kullanılan teçhizatın verimliliğinin artırılması uygulanan antrenman programlarının geliştirilmesine, sporcuların performanslarının belirlendiği testlerin kullanımındaki etkinliğin takip edilmesi, milli

spor branşlarında ülkemiz için yeni ilerleyici hedeflere ulaşılabilmesine katkı sağlayacaktır.

Aerobik kapasite ve bu kapasiteyle ilgili olarak değerlendirilen parametrelerden biri olan maksimal oksijen tüketimi ( $VO_{2maks}$ ) bireylerin fonksiyonel kapasitelerini ve form durumlarını belirlemek için ölçülen en önemli parametrelerden biridir. Bu parametrenin uzun süreli dayanıklılık egzersizleriyle arttığı literatür kapsamında bilinen bir konudur (4).

Bu tez çalışması temelde tanımlayıcı bir çalışmadır. Dolayısı ile hipotez geliştirilmesi pek uygun olmamakla beraber araştırmaya katılan elit dağ sporcularında yapmış oldukları antrenman ve sporun, aerobik kapasitelerini yükselttiği ve maksimal  $O_2$  alım seviyelerini arttırdığıdır. Bu tez çalışması, Türkiye’de gelişim aşamasında olan ancak henüz olimpik düzeyde yarışmamış dağ kayağı sporcularının sportif performanslarını belirlenmesi ile ilgili literatür kapsamında yapılmış bir çalışma olmaması yönüyle özgündür.

Sportif performanstaki verimliliği belirlemek için KPET yoğunluğu dereceli olarak (inkremantal) bisiklet ergometresi yöntemiyle test uygulanmıştır. Bu kapsamda aerobik kapasitenin en önemli göstergesi olan  $VO_{2maks}$  ve alakalı diğer parametreler de incelenmiştir. Bu parametreler solunum yedeği, ulaşılan maksimum yük, anaerobik eşik zamanı, anaerobik eşikte  $O_2$  tüketimi ( $VO_2$ ), maksimal yükteki kalp hızı ve pulmoner fonksiyonlardır.

## **4. GENEL BİLGİLER**

### **4.1. Kardiyopulmoner Sistem**

#### **4.1.1. Kalp**

Kalp, kanın dolaşım sistemi içerisinde sirkülasyonunu sağlayan kassal bir pompadır. Dört bölümden oluşur; bunlar sağ ve sol atrium (kulakçık) ile sağ ve sol ventriküllerdir (karıncık) (5).

İnsan ve sıcakkanlı memelilerde kalp, seri bağlı iki pompadan oluşur. Pompalardan biri kanı oksijen ve karbondioksit değiş tokuşu için akciğerlere gönderir (pulmoner dolaşım) ve diğer pompa kanı vücudun diğer tüm dokularına gönderir (sistemik dolaşım). Kalpte kan akımı tek yönlüdür. Kalpteki tek yönlü akım uygun yerleştirilmiş kapak kapakçıkları ile sağlanır. Kalpten kan çıkışı sistol ve diyastol evrelerine bağlı olarak aralıklı olduğu halde, ventrikül kontraksiyonu (sistol) sırasında aorta ve büyük dallarının genişlemesi ve ventrikül gevşemesi (diyastol) sırasında büyük arter duvarlarının elastik geri tepmesi ile kanın ileriye doğru itilmesi yoluyla, vücut dokularına doğru akım süreklidir (6).

#### **4.1.2. Akciğer**

Hava ile soluyan yüksek yapılı hayvanlarda çift olarak bulunan solunum organıdır. Akciğerlerin en önemli işlevi olan gaz değişimi, oksijenin vücuda girişi ve karbondioksitin vücuttan çıkışı olarak tanımlanır. Gaz değişimi diğer adıyla solunum süreci, nefes alma hareketi ile başlar, bu hareket diyaframın kasılması ile gerçekleşir. Kasılma sırasında, diyafram karın boşluğuna doğru yer değiştirir ve karnı dışa iter. Diyaframın aşağı doğru inmesi, göğüs kafesi içinde negatif basınç oluşturur. Üst solunum yolları açılır. Nefes verme sırasında, diyafram gevşer, göğüs kafesinin içindeki basınç artar ve gaz akciğerlerden dışarı pasif olarak çıkar (7).

##### **4.1.2.1. Pulmoner Dolaşım**

Pulmoner dolaşım akciğere ait olan ve burada gerçekleşen bir dolaşımdır. Pulmoner dolaşım sağ atriyumla başlar. Sağ atriyumdan gelen oksijenden fakir kan triküspit kapaktan sağ ventriküle girer ve pulmoner kapaktan pulmoner artere düşük basınç altında (9-24 mmHg) pompalanır. Yaklaşık 3 cm çapında olan pulmoner arter hemen sağ ve sol akciğerleri kanlandıran sağ ve sol ana pulmoner artere ayrılır.

Pulmoner dolaşımın arterleri oksijenden fakir kan taşıyan tek arterlerdir. Pulmoner arterlerdeki de oksijene kan kademeli olarak daha küçük dallara ayrılan damarlara geçer (7).

Pulmoner dolaşım sisteminin işlevleri:

- Kana oksijen kazandırmak ve kandaki karbondioksiti ( $\text{CO}_2$ ) uzaklaştırmak,
- Akciğer içerisindeki sıvı dengesine yardımcı olmak,
- Akciğerin metabolik ürünlerini uzaklaştırmaktır.

Alyuvarların oksijen ( $\text{O}_2$ ) ile yüklenmesi alveolü çevreleyen kapillerde meydana gelir. Gaz değişimi bu alveoler- kapiller ağ içerisinde meydana gelir.

Normal yetişkinlerde alveoler-kapiller ağ içerisinde, herhangi bir zamanda, 75 mL kanın mevcut olduğu tahmin edilmektedir. Bu kan hacmi, egzersiz sırasında %50'den fazla artıp 150-200 mL'ye çıkabilir. Bu artış, basınç ve akım artışına ikincil olarak yeni kapillerin devreye girmesine bağlıdır. Yeni kapillerin devreye girmesi akciğerin benzersiz bir özelliğidir ve egzersizde olduğu gibi strese uyum ve kompensasyonu sağlar.  $\text{O}_2$ ' den zengin kan alveolü küçük pulmoner venüller şebekesi ve venler ile terk eder. Bu küçük damarlar birleşerek,  $\text{O}_2$ ' li kanın kalbin sol atriyumuna döndüğü, daha büyük pulmoner venleri oluştururlar. Hava yollarının dallanma modelini takip eden arterler, arteriyoller ve kapillerin aksine venüller ve venler hava yollarından oldukça uzaktırlar (7).

#### **4.2. Egzersiz**

Egzersiz veya benzer anlamı olan bir ifade olarak fiziksel aktivite, iskelet kaslarının kasılmasıyla, bazal düzeyin üzerinde enerji harcanarak oluşturulan bedensel hareketlerin tümüdür. Egzersiz esnasında enerji sağlanmak üzere dolaşım ve solunum sistemi faaliyetleri artırılır. Egzersizde amaç; vücutta oksijenin dağılımını sağlayarak metabolik aktiviteleri düzenlemek, kondisyonu arttırmak, vücuttaki yağ miktarını azaltmak ve kas-eklem hareketlerini güçlendirmektir (8).

Kardiyovasküler sistemin egzersiz sürecine uyumunda sinirsel ve lokal faktörler birlikte görev alır. Sinirsel faktörler; merkezi komut, kasta kontraksiyonu başlatan refleksler ve baroreseptör refleksden oluşur.

Merkezi komut sempatik sinir sisteminin serebrokortikal aktivasyonu sonucu kalbin hızlanması, miyokardın kontraksiyon gücü artışı ve periferik vazokonstriksiyon cevabını doğurur. Refleksler mekanoreseptörlerin (uzama ve gerilme ile) kemoreseptörlerin (kas kontraksiyonuna cevaben açığa çıkan metabolik ürünler ile) uyarılması sonucu aktive edilirler. Reseptörlerden kalkan impulslar ince miyelinli (grup III) ve miyelinsiz (grup IV) tip afferent sinir lifleriyle merkeze iletilirler. Grup IV miyelinsiz lifler morfolojik olarak tanımlanmamış olan kas kemoreseptörlerini temsil edebilirler. Vasküler kemoreseptörler egzersiz süresince kardiyovasküler sistem cevabının düzenlenmesinde önemlidirler (8).

#### **4.2.1. Ilımlı Orta Derecede Egzersiz**

İnsanlarda veya antrene olmuş hayvanlarda fiziksel etkinliğin kalbe ulaşan vagal sinir impulslarını azalttığı ve sempatik boşalmayı arttırdığı tahmin edilmektedir. Medullanın parasempatik bölgelerinin inhibisyonu ile eş zamanlı olarak sempatik bölgelerinin aktivasyonu kalp hızında ve miyokardın kasılma gücünde artışa neden olur. Sağlanan kalp hızı artışı ve artmış kasılma gücü de kardiyak debiyi artırır (8).

##### **4.2.1.1. Periferik Direnç**

Kalp haricindeki dokuların ve organların kalbin önünde kan akımına karşı oluşturduğu dirençtir. Kardiyak uyarılma durumunda sempatik sinir sistemi periferik damar direncini de artırır. Deride, böbreklerde, dalak bölgesinde ve inaktif kaslarda sempatik etkinlik aracılı vazokonstriksiyon damar direncini artırır ve bu şekilde kan akışı bu bölgelerden başka yönlere çevrilir. Vasküler dirençteki artış egzersiz süresince kalıcı olur. Egzersiz şiddetindeki ilerleyici yükselmeyle kardiyak debi ve aktif kaslara doğru kan akımı giderek artar, iç organ kan akımı ise azalır. Miyokardın kan akımı artar, bununla birlikte beyin kan akımı değişmez (8).

Deri kan akımı egzersizin başlangıcında azalır, bununla birlikte egzersiz süresindeki uzama ve şiddetindeki artış ile vücut sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak artar. Vücut VO<sub>2</sub> maksimum değerlerine yaklaşması ile birlikte sonunda deri kan akımı tekrar azalır.

Uzun süreli egzersize en büyük dolaşımsal uyum aktif kasların damarlarında gerçekleşir. Vazoaktif metabolitlerin lokal üretimi direnç damarlarında belirgin gevşemeye yol açar. Dilatasyon egzersiz şiddetindeki artış ile birlikte ilerler. Potasyum,

kontraksiyon yapan kaslardan salınan vazodilatör maddelerden biridir ve bu iyon aktif kaslardaki damar direncinde başlangıçta ön görülen azalmadan kısmen de olsa sorumludur. Uzamış egzersiz sırasında gerçekleşen adenozin salınımı ve doku pH'sının düşmesi bu etkiden sorumlu diğer faktörlerdir. Metabolitlerin bölgesel birikimi terminal arteriyolları gevşetir. Sonuç olarak iskelet kaslarına doğru kan akımı istirahat seviyelerinin 15 ile 20 kat üzerine çıkar. Egzersiz başlangıcından itibaren çok geçmeden aktif kaslardaki prekapiller damarlarda metabolik dilatasyon gelişir.

Egzersiz süresince kapiller dolaşım önemli derecede artar. İstirahat koşullarında kapillerlerin sadece küçük bir yüzdesi perfüzyon yapar, bununla birlikte aktif olarak kontraksiyon yapan kasta kapillerlerin tamamı veya hemen hemen tamamında kan akımı sürdürülür. Gaz, su ve suda eriyen maddelerin değişimini sağlamak için yüzey alanı çoğu zaman artar. İlaveten direnç damarlarının gevşemesinden dolayı kapillerlerdeki hidrostatik direnç artar. Bundan sonra su ve suda eriyen maddeler kas dokusuna yönelir. Doku basıncı artar ve sıvının sürekli kapillerlerden dışarı hareketi sebebiyle egzersiz süresince yüksek kalır. Artan doku sıvısı lenf sistemi vasıtasıyla uzaklaştırılır. Kapiller hidrostatik basınç artışı ve kontraksiyon yapan kasların masaj yapıcı etkisi sayesinde kapak içeren lenf damarlarındaki lenfatik akımı da artar (8).

Kontraksiyon yapan kaslarda perfüze olan kandan  $O_2$  ekstraksiyonu yüksektir ve bu yüzden ilgili kası besleyen damarlarda arteriyovenöz  $O_2$  konsantrasyonu farkı (a-v  $O_2$  farkı) artar. Egzersiz süresince gelişen oksihemoglobin çözünme eğrisindeki sağa kayma sonucunda kandan  $O_2$  serbestlenmesi artar.

Egzersiz süresince yüksek karbondioksit ( $CO_2$ ) konsantrasyonu ve laktik asit (LA) üretimi doku pH'sını düşürür. Bu düşüğe ilave olarak kontraksiyon yapan kaslardaki sıcaklık artışı da oksihemoglobin çözünme eğrisini sağa kaydırır. Bu yüzden parsiyel  $O_2$  basıncındaki ( $PO_2$ ) herhangi bir azalmada, eritrositler içindeki hemoglobinde daha az  $O_2$  kalır ve bu nedenle daha fazla  $O_2$  dokulara ulaşabilir. Kas kan akımı sadece 15 kez artarken oksijen tüketimi 60 kata kadar çıkabilir. Egzersiz sırasında kas miyoglobini  $O_2$  depolamada sınırlı bir etki gösterebilir ve çok düşük  $PO_2$  ayrılarak açığa çıkabilir (8).

#### **4.2.1.2. Kardiyak Debi**

Kalbin dakikada periferik pompaladığı kan hacmi kalp debisi olarak adlandırılır. İstirahat durumunda sporcu ve sedanterler için benzer bir oksijen ihtiyacı olduğundan kalp debisi yakın değerlerde ve yetişkin bir birey için yaklaşık 5 L/dakikadır. Orta derecede antrene olmuş atletlerde 30 L/dk olan kalp debisi elit atletlerde 40 L/dk seviyelerine çıkabilir. Maksimal kalp hızı değişmeyeceğinden antrene sporcularda kalp debisindeki artış vücut hacmine bağlıdır (9).

Egzersiz süresince sinoatriyal düğüm üzerindeki artmış sempatik etkinlik ve azalmış parasempatik inhibisyon devam eder ve kalp hızı yükselmesi gerçekleşir. Şayet egzersiz şiddeti orta derecede ve yük sabit ise kalp hızı belli bir seviyeye erişir ve egzersiz süresince bu seviyede seyrederek. Yorucu bir egzersiz süresince çalışma yükü artarsa, 180 atım/dk civarındaki bir platoya erişinceye kadar kalp hızı giderek artar (9). Kalp hızındaki büyük artışa zıt olarak, atım hacmi artışı mevcut değerlerinden sadece %10 ile %35 kadar yükselirken, antrene bireylerde daha büyük değer artışları görülür. İyi antrene olmuş mesafe koşucularında atım hacmi istirahat değerinin yaklaşık iki katına kadar çıkarken kardiyak debi altı ile yedi katına kadar artış gösterebilir (8).

Egzersiz süresince kardiyak debi artışı esas olarak kalp hızındaki artış ile ilişkilidir. Şayet baroreseptörler dejenerasyonla edilirse, normal baroreseptör innervasyonuna sahip hayvanlarıki ile karşılaştırıldığı zaman egzersize kardiyak debi ve kalp hızı artış cevapları küçük kalır. Tam kardiyak dejenerasyon yapılan köpeklerde, egzersiz hala normal hayvanlardaki kadar kardiyak debi artışına sebep olur. Kardiyak debideki bu artış başlıca artmış atım hacmi vasıtasıyla sağlanır. Fakat denerve edilmiş kalpleri olan köpeklere  $\beta$ -adrenerjik reseptör antagonistleri verilirse, egzersiz performansı başarısız olur.  $\beta$ -adrenerjik reseptör blokerleri kardiyak hızlanmayı ve dolaşımdaki katekolaminlerin yükselmiş düzeylerinin sebep olduğu kontraktilite artışını belirgin bir şekilde engeller. Bu yüzden, kardiyak debideki artış maksimal egzersiz performansının sınırını oluşturur (8).

#### **4.2.1.3. Venöz Dönüş**

Toplardamarda kalbin sağ atriyumuna bir dakikada dönen kan miktarıdır. Vücudun egzersize katılan ve katılmayan kısımlarındaki venler (kan hacmi için depo görevi görürler) sempatik sistem aracılığıyla kasıldığına göre, iskelet ve solunum kaslarının

yardımcı pompalama eylemi venöz dönüşe katkıda bulunur. Aralıklı olarak kasılan kasların venlere uyguladığı basınç kan akımını sağlar. Çünkü venlerdeki kapaklar kanı kalbe doğru yönlendirir, kasılan kaslar kanı geri sağ atriyuma pompalar. Egzersizde, daha derin ve sık solunum abdominal ve torasik venler arasında ilerleme basıncını artırarak venöz kanın kalbe akışına katkıda bulunur (Egzersiz sırasında intratorasik basınç daha negatif hale gelir).

Merkezi venöz basıncın sabit değerlerinde önemli bir değişiklik olmadan kalbe dönen venöz kanın büyük hacmi etkili biçimde akciğerler ve oradan da aorta pompalanır. İstirahat eden ve egzersiz yapan bireylerin radyografik görüntülenmesi, egzersiz süresince kalp hacminde azalma olduğunu göstermektedir. Maksimum veya maksimuma yakın egzersiz süresince sağ atrium basıncı ve diyastol sonu ventrikül hacmi azalır. Venöz dönüşte artış, (sağlıklı bir kalpte) Frank-Starling yasasına göre kalp debisinde artışla sonuçlanır (8).

#### **4.2.1.4. Arteriyel Kan Basıncı**

Günlük konuşma dilinde ‘tansiyon’ olarak ifade edilen arterial kan basıncı, ventriküllerden artere atılan kanın, arter duvarına yaptığı basınçtır. Sistolik kan basıncı (SKB) ve diyastolik kan basıncı (DKB) değerleri sağlıklı kişilerde 120/80 mmHg olarak kabul edilir. Amerika ve Avrupa grubu uzmanlık verilerine göre, yüksek şiddetli dinamik egzersiz akut olarak kan basıncında 250 mmHg SKB ve 110 mmHg DKB değerlerinin ortaya çıkmasını sağlar (10).

Eğer egzersiz, koşu ve yüzme gibi vücut kas kütlelerinin büyük bir bölümünü kapsarsa total damar direncindeki düşme önemli olur. Bununla birlikte arteriyel basınç egzersizin başlangıcı ile birlikte yükselmeye başlar ve egzersiz performansının şiddeti ile kabaca paralel olarak artar. Bunun nedeni kardiyak debideki artışın total periferik dirençteki (TPD) düşüşe oranla daha büyük oluşudur. Sempatik sinir sistemi tarafından inaktif dokularda üretilen vazokonstriksiyon normal veya artmış kan basıncının sürdürülmesi için önemlidir. Sempatektomi veya ilacın sebep olduğu adrenerjik sempatik sinir liflerinin blokajı egzersiz sırasında arteriyel basıncı düşürür (11).

Sempatik sinir aktivitesi, ilave kaslar işe karıştığı zaman aktif iskelet kaslarında vazokonstriksiyona sebep olur. Deneyler, bir bacak maksimum düzeylerde çalıştığında ve ondan sonra diğer bacak çalışmaya başladığında kan akımının ilk çalışan bacakta

azaldığını gösterir. Ayrıca egzersiz süresince kan norepinefrin düzeyleri önemli derecede artar ve en fazla norepinefrin aktif kaslardaki sempatik liflerden salınır (8).

Egzersiz süresince vücut sıcaklığı arttığı için hipotalamusun ısı düzenleyici merkezinin termal yolla uyarılmasına cevap olarak deri damarları genişler ve TPD daha fazla azalır. Kardiyak debideki artış ile böbrekler, dalak ve diğer dokulardaki arteriyollerin vazokonstriksiyonuna rağmen TPD'deki azalma kan basıncında düşmeye sebep olur.

Genellikle egzersiz süresince ortalama arteriyel basınç kardiyak debideki artışa bağlı olarak yükselir. Ancak artmış kardiyak debinin etkisi TPD'deki geniş kapsamlı düşüşü dengeler ve bu yüzden ortalama kan basıncı sadece hafifçe yükselir. Aktif olmayan damar yatağındaki vazokonstriksiyon normal arteriyel kan basıncının sürdürmesi ile aktif dokuların yeterli perfüzyonuna yardımcı olur. Egzersiz süresince kardiyak debi ile TPD'in etkisiyle anlık ortalama arteriyel basınç denge haline ulaşır. SKB, DKB'ndan genellikle daha fazla artar ki bu nabız basıncının artışı ile sonuçlanır. Daha büyük nabız basıncı basitçe daha büyük atım hacmine aynı zamanda kanın sol ventrikülden daha hızlı fırlatılmasına ve kısa ventriküler fırlatma dönemi süresince periferik kaçışın azalmasına bağlıdır (12).

#### **4.2.2. Şiddetli Egzersiz**

Egzersiz şiddeti, egzersiz eforu (yürüme koşma veya aerobik egzersiz gibi kalp hızını arttıran herhangi bir aktivite) esnasında vücudun ne şiddetle çalıştığını ifade eder ve genelde bu esnada gerçekleşen kalp hızı ile belirlenir.

Yorucu egzersiz süresince telafi edici mekanizmalarda yetersizlik başlar. Kalp hızı yaklaşık 180 atım/dk'lık maksimum düzeyine erişir ve atım hacmi bir platoya ulaşır. Ondan sonra kalp hızı kan basıncının düşüşü ile sonuçlanacak şekilde azalır. Birey aynı zamanda sıklıkla dehidrate olur. Deri damarlarında vazodilatör etkinin yerini sempatik vazokonstriktör etki alır. Aynı zamanda deri damarlarının vazokonstriksiyonu ısı kaybı oranını da azaltır. Vücut sıcaklığı egzersizde normal olarak artar. Şiddetli egzersiz süresince cilde ait vazokonstriksiyon yüzünden ısı kaybının azalması çok yüksek vücut sıcaklıklarına ve akuta yol açabilir. LA ve CO<sub>2</sub> üretimindeki artışın sonucu olarak doku ve kan pH'ı azalır. Düşük pH bireyin dayanabileceği maksimum

egzersiz düzeyini belirleyen faktördür. Kas ağrısı, tükenmenin subjektif bir hissi ve sürdürme isteğinin kaybı egzersiz dayanıklılığını belirler (8).

#### **4.2.3. Egzersiz Sonrası İyileşme**

Dayanıklılık gerektiren sporlar, vücut sistemlerinin çoğunu büyük ölçüde meşgul eder. Kas-iskelet sistemi, sinir sistemi, bağışıklık sistemi ve metabolik sistemler, egzersiz sonrası iyileşme stratejilerinin bir sonraki egzersize hazırlanmasında etkili olmuştur. Egzersizde iyileşme, tekrarlanan egzersiz dönemlerinde performansta önemli bir faktör olabilir. Sporcuların birkaç gün içinde sayısız kez yarışabilecekleri bir turnuva durumunda, iyileşmeyi artırmaları, rekabette avantaj sağlayabilir. Son çalışmalar, çoğu egzersizde toparlanma amacının, psikolojik, fizyolojik ve performans değişkenlerini 'egzersiz öncesi' seviyesine veya yorgunluğun yokluğunda belirlenen başlangıç koşullarına döndürmek olduğunu vurgulamıştır. Egzersiz sonrası iyileşme, genel egzersiz eğitim paradigmasının hayati bir parçasıdır ve üst düzey performans ve sürekli iyileşme için gereklidir. Toparlanma oranı uygun ise, aşırı eğitmenin zararlı etkileri olmadan yüksek eğitim hacimleri ve yoğunluklarının uygulanması mümkün olabilmektedir. Sağlık ve fitness uzmanları, müşterilere en uygun eğitim kurtarma programını tanımlamaya yardımcı olmada önemli bir rol oynar, bu da amaca yönelik deneme ve hata gerektiren bir süreçtir (13).

Egzersiz sonlandırıldığı zaman; kalp hızı ve kardiyak debi hızla azalır, kalp üzerindeki sempatik idare devre dışı kalır. Bunun zıttı olarak, egzersiz dönemi süresince kasta vazodilatör metabolitlerin birikimi sebebiyle TPD egzersiz durduktan sonra bir müddet daha düşük kalır. Kardiyak debideki azalma ve kaslardaki vazodilatasyonun devamı sonucunda arteriyel basınç kısa bir dönem için çoğunlukla egzersiz öncesi düzeylerinin altına düşer. Bundan sonra kan basıncı baroreseptör refleksi vasıtasıyla normal düzeylerinde sabitlenir (14).

#### **4.2.4. Egzersiz Performansının Sınırları**

Egzersiz kapasitesi, anaerobik eşikte oksijen tüketimi ( $VO_2$ ) veya pik  $VO_2$ , egzersiz süresi ve metabolik eşdeğer (MET) ile objektif olarak ölçülebilir. Dayanıklılık egzersiz performansı, fizyolojik ve psikolojik olan bazı etkileyici faktörlere bağlıdır. Bunlar arasında önemli olan, havadan kas mitokondrilerine yüksek oranda  $O_2$  taşınması ve aynı zamanda adenozin trifosfat (ATP) üretimi için  $O_2$ 'i metabolize etme

kapasitesinin yüksek olmasıdır. O<sub>2</sub> transportu, akciğerlerde (ventilasyon ve alveolar-kapiller difüzyon dahil); kalp ve kalp-damar sistemi (akciğerlerden kaslara dolaşım aktarımını içeren ve aynı zamanda akciğerlerde ve kaslarda O<sub>2</sub> difüzyon dengesini etkileyen); kan (hemoglobin konsantrasyonu yoluyla ve ayrıca O<sub>2</sub> ayrışma eğrisinin şekli ve konumu); ve kasların kendileri (mikrosirüsyondan mitokondriye difüzyonla O<sub>2</sub> transport'u içerir) olmak üzere bir dizi, entegre sistem yoluyla gerçekleşir.

İnsan vücudunda iskelet kas performansını sınırlayan iki faktör kasların O<sub>2</sub> tüketim hızı ve kaslara O<sub>2</sub> teminidir. Kasların VO<sub>2</sub> kritik bir faktör değildir. Egzersiz süresince ilave kaslar aktive olduğu zaman kas kütesinin büyük yüzdesi tarafından VO<sub>2maks</sub> değişmez veya hafifçe artar. Gerçekten kuvvetli bisiklet sürme gibi, büyük kas kütlelerinin egzersiz süresince çevirme efor değişikliği olmaksızın iki taraflı kol egzersizinin ilavesi ile sadece küçük bir kardiyak debi ve VO<sub>2maks</sub> artışı üretir. Ancak kol egzersizinin ilavesi bacaklara kan akımını azaltır.

Maksimum kardiyak debi süresince baroreseptör refleksi aracılı vazokonstriksiyon kan basıncı düşüşünü engeller, aksi takdirde aktif kaslardaki metabolik yolla gelişen vazodilatasyon hakim olacaktır. Kas VO<sub>2</sub> önemli bir sınırlandırıcı faktör olsaydı, daha fazla kontraksiyon yapan kaslar artmış O<sub>2</sub> ihtiyacını karşılamak için çok daha fazla O<sub>2</sub> kullanacaklardı.

Kanın akciğerlerde yetersiz oksijenlenmesi veya kaslara O<sub>2</sub> taşıyan kanın erişimindeki yetersizlik oksijen tedarikinin sınırlandırılmasına yol açar. Kanın akciğerler tarafından oksijenlenme yetersizliği hesaba katılmayabilir, çünkü deniz seviyesinde en yorucu egzersizde bile arteriyel kan oksijenle tam olarak doyurulur. Bu yüzden aktif kaslara O<sub>2</sub> serbestlenmesi kas performansında sınırlandırıcı faktör olarak gözükmez. Bu sınırlandırmaya kritik düzeylerinin ötesindeki kardiyak debi artış yetersizliği sebep olabilir. Bu yetersizliğe atım hacmi sınırlandırması sebep olur. Çünkü VO<sub>2maks</sub>'a ulaşılmadan önce kalp hızı maksimum seviyelerine ulaşır. Bu nedenle, kas performansını sınırlandıran en büyük faktör kalbin pompalama kapasitesidir (15, 16).

#### **4.2.5. Fiziksel Antrenman Yapma ve Kondisyon Sağlama**

Düzenli egzersize kardiyovasküler sistemin cevabı aktif kaslara O<sub>2</sub> serbestleme kapasitesinde artma ve kasların VO<sub>2</sub> yeteneğinde iyileşmedir. VO<sub>2maks</sub> fiziksel kondisyon düzeyi ile değişir (17, 18). Antrenman en yüksek kondisyon düzeyinde bir

platoya ulaşacak şekilde  $VO_{2maks}$ 'ı ilerleyici biçimde artırır. İleri düzeyde antrene olmuş atletler antrenman yapmadan veya kondisyon kazanmadan önce sahip olduklarından daha düşük istirahat kalp hızı, daha büyük atım hacmi ve daha düşük periferik dirence sahiptirler. Daha yüksek vagal tonus ve daha düşük sempatik tonus düşük kalp hızından sorumludur. Egzersiz süresince antrene olmuş bireylerin maksimum kalp hızı antrene olmamış bireyelerinkine benzerdir. Fakat bu değerlere daha yüksek egzersiz düzeylerinde ulaşılır (8).

Antrene olmuş kişinin iskelet kasları düşük vasküler direnç sergiler. Örneğin, bir bacağa tek başına düzenli yüksek ve uzamış egzersiz yaptırılırken diğeri egzersiz yapmazsa antrenman yapan bacakta vasküler direnç antrenman yapmayan baktan daha düşük ve  $VO_{2maks}$  daha yüksek olur. Fiziksel kondisyon aynı zamanda iskelet kasları tarafından kandan daha fazla  $O_2$  teminini de sağlar.

Uzun süreli antrenman ile iskelet kaslarındaki kapiller yoğunluğu artar. Aynı zamanda arteriyollerin sayısında görülen artış da iskelet kas damar direncindeki azalmanın sebebinin oluşturur (19).

### **4.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler**

Egzersiz, fiziksel zindeliği arttırmak amacıyla artan metabolik oranın hareketidir. Ayrıca vücudun üstlendiği en stresli fizyolojik tepkilerden biridir. Egzersiz ile metabolik hızda, kalp hızında, kan akımında (hiperemi), solunumda ve ısı üretiminde artışlar görülür. Egzersiz sırasında artan metabolik gereksinimi çok sayıda yerel ve sistemik mekanizma tarafından düzenlenen egzersiz kanadında sağlanan  $O_2$  ve artan kan akışı ile karşılanır. Lokal mekanizmalar (faktörler) artan metabolik gereklilikleri karşılamak için kas homeostazisi ve vasküler iletme aracılık etmekten sorumlu iken sistemik mekanizmalar, esas olarak sempatik aktivasyonun aracılık ettiği kalp debisinin artması ve yeniden dağıtılması dahil olmak üzere, kan basıncı ve global kardiyovasküler homeostazisinin korunmasından sorumludur. Örneğin, vasküler dirençteki önemli düşüşler ve egzersiz sırasında kan akışındaki büyük artış, daha yüksek kan basıncı ve daha fazla kardiyak debi gerektirir, böylece metabolik olarak aktif kas yeterli kan akışı ile perfüze edilebilir (20).

Egzersiz kardiyovasküler sistem üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır. Kardiyovasküler sistem ise egzersize uyumunun büyük çoğunluğunu çizgili kastaki kan

akımını arttırmakla gerçekleştirir. Kaslarda artan kan akımı O<sub>2</sub> ihtiyacını karşılamaya çalışır. Bu sebeple kardiyovasküler sistemde akut değişiklikler meydana gelir (21, 22). Oluşan akut değişiklikler uzun süreli egzersiz programlarında kullanılamaz. Uzun vadedeki egzersizlerde akut değişikliklerin daha yararlı olabilmesi için uyumsal farklılıklar gelişir (23). Kardiyovasküler sistemin egzersize akut yanıtları şunlardır; artmış kalp hızı, artmış vurum hacmi, artmış kardiyak output, artmış kan basıncı, çalışan kaslara kan akışının yeniden dağılımı ve artmış a-v O<sub>2</sub> farkıdır (24). Bu parametrelerin bazı önemlileri aşağıda ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

#### **4.3.1. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp Hızı**

Kalp hızı kardiyovasküler fonksiyonu hem egzersiz hem de istirahatte değerlendirmenin en etkili yollarından biridir. Kalp hızı beyin sapındaki kardiyovasküler kontrol merkezi tarafından ayarlanır. Bu merkez ya merkezi komuta denilen üst kotrikal merkezlerden ya da periferik sinir sisteminden gelen uyarıların etkisiyle aktive olarak kalp hızını ayarlar. Egzersiz sırasında “merkezi komuta” kalp hızını kontrol eden en önemli faktördür (25, 26). Merkezi komuta sayesinde daha egzersizin en başında kalp hızının hızlı bir şekilde artması ve doku perfüzyonunun maksimal sınırlarda olması sağlanır (26). Motor korteksin bu stimülasyon gücü egzersiz sırasında aktive olan kas kitlesiyle ilişkilidir. Kardiyovasküler merkez aynı zamanda kan damarlarındaki kemoreseptörler ve kasların, eklemlerin içindeki mekanoreseptörlerden de refleks duyular olarak egzersiz yoğunluğuna göre kalp hızını ayarlar. Sağlıklı bireylerde normalde dinlenme sırasında kalp hızı 60-80 atım/dk olmakla birlikte elit dayanıklılık sporcularında istirahatte 40 atım/dk'ya kadar düşebilir (27).

Egzersiz sırasında ise kalp hızı yukarıda belirtilen mekanizmalar sayesinde henüz egzersiz başlamadan artabilir. Bu sempatik aktiviteye bağlı olarak gerçekleşen bir artıştır ve egzersiz yoğunluğu arttıkça kalp hızı plato noktasına ulaşıncaya kadar artmaya devam eder. Bu plato noktasındaki kalp hızı bireyin ulaşabileceği maksimal kalp hızıdır ve “220-yaş” formülü ile hesaplanır. Kalp yedeği ise maksimal egzersiz sırasında bireyin ulaştığı kalp hızının, yukarıdaki formüle göre ulaşabileceği kalp hızından çıkarılması ile elde edilir. Bireyin kardiyovasküler form durumu hakkında bilgi verir (26).

### 4.3.2. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kalp Debisi

Egzersiz sırasında kardiyak outputu artırma yeteneği, vuruş hacmini, kalp hızını veya her ikisini birden arttırabilme özelliğine bağlıdır.

Kalpten bir dakikada atılan kan miktarı olarak tanımlanır. Kalp debisi, kalp atımının frekansı (kalp hızı) ya da her bir kalp atımında bir ventrikülden atılan kan hacminde oluşabilecek değişiklikler ile değişebilir (6). Matematiksel olarak kalp debisi (KD), kalp hızı (KH) ile atım hacminin (AH) çarpımı ile hesaplanır.

$$KD=KH \times AH$$

Bu eşitliğin gösterdiği gibi kalp aktivitesinin nasıl kontrol edildiği, kalp hızı ve atım hacminin nasıl düzenlendiği incelenerek anlaşılabilir. Kalp hızı, kalp pacemaker aktivitesi ile düzenlenir. Atım hacmi doğrudan miyokard performansı ile ilişkilidir. Ancak bu iki belirleyici parametreyi birbirinden bağımsız olarak ele almak mümkün değildir. Birinde oluşan değişiklik hemen her zaman diğerini etkiler (6). İstirahatte kalp debisi değişmez ancak maksimal egzersiz sırasındaki kalp debisi artar. Bunun nedeni atım volümü arttığı halde maksimal kalp hızının aynı kalmasıdır. Genellikle yetişkin bir birey için istirahat durumunda kalp debisi 5 L/dk olarak belirlenmiştir. Buna göre antrenmansız istirahattaki erkek bir birey için kalp hızı değeri 72 vuruş/dk ve vuruş hacmi 70 mL/vuruş olarak alındığında kardiyak debi miktarı 5 L/dk olarak hesaplanır. Antrenmansız istirahattaki bayan bireyler için kalp hızı değeri 75 vuruş/dk ve vuruş hacmi 60 mL/vuruş olarak alındığında kardiyak debi miktarı 4.5 L/dk'dır (28).

Kardiyak debi egzersiz başlangıcında çok hızlı bir şekilde artış gösterir ve egzersiz yoğunluğu arttıkça maksimal yükün %60'ına kadar hızlı bir şekilde artar.

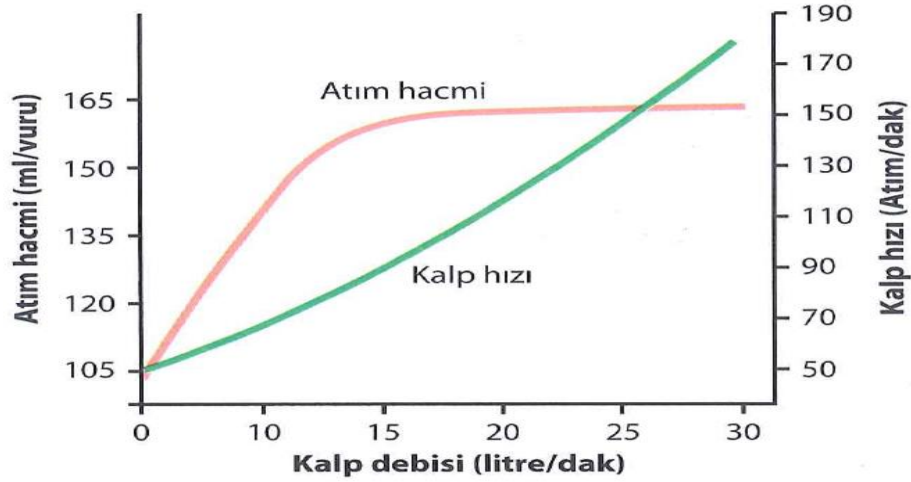
Bu artış yukarıdaki denklemde belirtildiği gibi hem kalp hızında hem de vuruş hacmindeki artışla sağlanır. Yoğun egzersiz sırasında kardiyak debi 20-40 L/dk'ya ulaşabilmektedir. Bu yükseliş bireyin antrenman durumu kadar bireyin kilo ve boyuyla da ilgilidir (27). Kardiyak debi maksimal egzersiz yoğunluğunun %60'ına ulaştıktan sonra da artmaya devam eder. Ancak bu noktadan sonraki artış vuruş hacminin yerine kalp hızındaki artıştan kaynaklanır (29).

Frank-Starling mekanizması, ideal olarak kalp debisinin venöz dönüşle karşılaştırılmasına uyar. Bir ventrikülde herhangi bir ani aşırı debi, ikinci ventriküle venöz dönüş artışına yol açar. Diyastolde ikinci ventrikül lif uzunluğunun artışı bu ventrikülün debisini, komşusunun debisini karşılayacak şekilde artırır. Bu yolla, Frank-Starling mekanizması sağ ve sol ventrikül debileri arasında kusursuz bir denge sağlar. Aksi takdirde, iki ventrikül kapalı bir devrede seri bağlandığı için ventriküller arasında herhangi bir küçük ama kalıcı dengesizlik olurdu (6).

İki ventrikül için kalp debisi ortalama arteriyel basınç eğrileri uymaz; sol ventriküle ait eğri çoğunlukla sağ ventrikül eğrisinin altında kalır. Eşit sağ ve sol atriyal basınçlarda sağ ventrikül debisi, sol ventrikülden fazladır. Yani sol ventriküle venöz dönüş sol ventrikül debisinin aşabilir ve sol ventrikül diyastol hacmi ile basıncı artabilir. Frank-Starling mekanizması ile sol ventrikül debisi artar (6).

Egzersiz süresince ventriküllerin her bir vuruşta daha fazla kan pompalamasında venöz dönüş miktarı, ventriküllerin daha çok dolmak için genişleme kapasitesi ve ventriküllerin maksimal ejeksiyon için kasılabilme yeteneği etkili olmaktadır (27).

Egzersiz sırasında arteriollerin vazodilatasyonu neticesinde periferik dirençte büyük oranda azalma olduğu için arter basıncının düşmesi beklenebilir. Ancak yapılan çalışmalarda periferik kan damarlarında oluşan dilatasyon neticesinde arter basıncının korunmasının kalp debisini 4 kata kadar arttırdığı, arter basıncının yarısına kadar düşürülmesinin ise kalp debisinin 4 kat yerine sadece 1.6 kat arttığının görülmesi arter basıncının artmasının kardiyak debiyi arttırdığını gösterir. Egzersiz sırasında büyük venlerde daralma, kalp hızında ve kontraktilesinde artış; neticede arter basıncının aynı kalmayıp hatta normalin de üstüne çıkması sayesinde kaslara daha fazla kan akımı sağlanır (30).



**Şekil 1.** Maraton koşan atletlerde çeşitli kalp debisi düzeylerinde yaklaşık atım hacmi ve kalp hızı (Guyton'dan, 30)

#### 4.3.3. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kan Basıncı

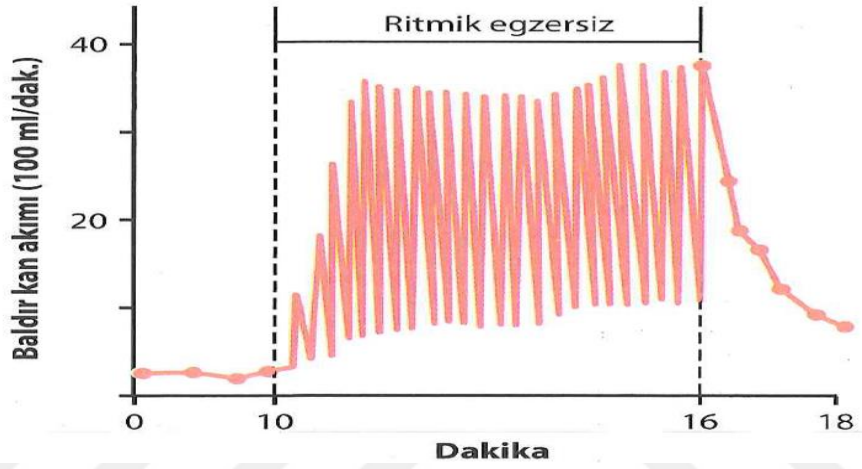
Kalbin vurumu sırasında kanın, kan damarlarının duvarına yapmış olduğu yaşı ve fizyolojik duruma göre değişebilen basınca kan basıncı denir. Şiddetli egzersizde kaslar oldukça yüksek kan akımına ihtiyaç duyarlar. Bu artış kas hücrelerinde artmış metabolizmayla oluşturulur. Egzersiz sırasında sempatik uyarılma ile arter basıncıta oluşan artış kan akımını da artırır. Genellikle şiddetli egzersizdeki arter basıncı yaklaşık %30-40 artar; bu artış kan akımında ilave iki kat daha artışa neden olur.

Egzersiz sırasında arter basıncında yükselme başlıca şu etkiden kaynaklanmaktadır: Beyin motor alanları egzersize neden olmak için aktive olurken, aynı zamanda beyin retiküler aktive edilir. Buna vazomotor merkezin vazokonstriktör ve kalp atım hızını arttırıcı alanlarının uyarılması da dahildir. Bunların sonucunda arter basıncı, kas aktivitesinde ki artışa ayak uydurmak için hızla artar (12).

#### 4.3.4. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Kan Akımı

Vücutta ortalama kan hacmi beş litredir. Dinlenme sırasında kaslara olan kan akımı bu miktarın %20'si ya da yaklaşık 1000 mL'dir. Kalp bu sırada 200 mL ya da total kalp debisinin %4'ü kadar kan akımına sahiptir. Beyin %14 ile ortalama 700 mL kan hacmine sahipken, karaciğer 1350 mL ile ortalama dolaşımdaki toplam kanın

%27'sini alır. Egzersiz sırasında kalp debisi (bireyin antrenman durumuna göre) 25 L'ye kadar çıkar. Burada çok önemli bir nokta dikkat çelmektedir. Egzersiz sırasında kaslar, ortalama 21 L ile toplam kan hacminin %84'ünü kullanır. İç organlara olan kan akımı oldukça azalır, öyle ki karaciğere olan kan akımı, istirahat değerinin %2'sine kadar düşer. Koroner kan akımı, egzersiz sırasında 1000 mL'yi bulabilir. Ancak bu oranın toplam kan hacmine oranı düşünöldüğünde, dinlenim haliyle oransal olarak çok fazla bir farklılık görülmez (24).



**Şekil 2.** Bacağın baldır kasının güçlü, ritmik kasılmaları sırasında kas egzersizinin kan akımına etkisi. Kontraksiyon sırasındaki akım, kasılma aralarınınkinden çok daha azdır (Barcroft'dan, 31).

#### **4.3.5. Egzersiz Sırasında Kardiyopulmoner Sistemde Oluşan Akut Değişiklikler: Solunum Sistemi**

Vücuttaki diğer fizyolojik sistemlerden farklı olarak solunum sistemi hem istemli hem de istemsiz olarak çalışır. Bu nedenle düşünmeden soluk alırız, ama soluk alma süremizi isteğe bağlı olarak ayarlayabiliriz ve “kırılma noktası” olarak adlandırılan noktaya kadar nefesimizi tutabiliriz. Soluk alma düzeni, konuşma ve şarkı söyleme gibi aktivitelerle de değişebilir. Solunumun kontrolü, beyin sapındaki solunum merkezi, üst beyin merkezi ve sistemik reseptörler aracılığıyla gerçekleşir.

Kimyasal bileşenlere duyarlı periferik kemoreseptörler, aortik kavisteki (aortik cisimler) ve boyun bölgesindeki internal ve eksternal karotid arterlerin çatallanma noktasının özelleşmiş hücrelerinde (karotid cisimler) yer alırlar. Bu kemoreseptörler

PO<sub>2</sub>, karbondioksit parsiyel basıncı (PCO<sub>2</sub>) ve arteryal kanın pH'sını düzenler ve aldıkları veriyi medullaya iletirler. Böylece istemsiz solunum gerçekleşir. İsteğe bağlı solunumda medulladaki solunum kontrol merkezi atlanır. Sinirsel aktivite motor kortekste oluşur ve bilgi direkt olarak omurgadaki motor nöronlara iletilir. Sonuçta istemli solunum gerçekleşir (7).

Ventilasyoda amaç atardamardaki kan gazı basıncının (özellikle arteriyel PCO<sub>2</sub>'i (PaCO<sub>2</sub>)) sabit sınırlar içerisinde tutulabilmesi için, kan ve çevresindeki hava arasında gaz değişimini sağlamaktır (7). İstirahat sırasında birey dakikada yaklaşık 12 soluk alır. Her soluk alışta ise akciğerlere ortalama 0.5 L hava girer ve bu hava tidal volüm olarak adlandırılır. Bu miktarın dakika solunum frekansı olan 12 ile çarpılması dakika ventilasyonu olan 6 L'yi verir (32).

Egzersizde yüksek verim, dokulara taşınan O<sub>2</sub> ve vücuttan atılan CO<sub>2</sub> miktarının maksimum seviyede seyretmesi ile elde edilir (7).

Egzersiz başlangıcında dakika ventilasyonu (VE) hızlı bir şekilde artar. Orta dereceli egzersizlerde bu artış çoğunlukla tidal volümdeki artışla sağlanırken, yüksek dereceli egzersizlerde ise solunum frekansı 50'ye tidal volüm ise 2 L'ye kadar çıkabilir (33, 34). Egzersizin en başında ventilasyonda hızlı ve ani yükseliş yapan faktör "merkezi komuta" dır. Korteksten gelen uyarılar daha egzersiz beklentisiyle dahi medulladaki respiratuar merkezi aktive eder. Bu durum hızlı bir respiratuar cevap başlatır (35). Bu etki aktif kasların mekanoreseptörlerinden gelen geri bildirimlerle güçlendirilir (36). Bu hızlı yükselme faz 1 olarak tanımlanır. Ardından yaklaşık 20 sn süren kısa bir plato dönemi olur daha sonra ventilasyonda yaklaşık 60-70 sn süren daha yavaş bir yükselme olur ki bu faz 2'yi oluşturur. Faz 3 de ise ventilasyon yaklaşık 3-4 dk içerisinde ventilasyonun ince ayarının yapıldığı platoya ulaşır (35). Maksimal seviyelerin dışında genel olarak egzersiz süresince kan gazlarında anlamlı değişiklikler gözlenmez (7).

#### **4.4. Egzersiz Testleri**

Egzersiz testleri, performans ve klinik egzersiz testleri olmak üzere ikiye ayrılır (37). Sporcu bireylerin sportif performanslarının bir göstergesi olan aerobik kapasitenin belirlenmesinde performans egzersiz testleri kullanılır (38).

Aerobik kapasitenin belirlenmesi için yapılan testler temelde maksimal ve submaksimal testler olmak üzere iki alt grupta incelenir. Maksimal testler birey tükenene kadar devam ederler. Aerobik kapasitenin belirlenmesinde kardiyak problemi olan, dispne problemi yaşayan bireylere de maksimum güvenlik içinde test yapılmak istenmesi daha alt sınırlarda yürütülen submaksimal test ihtiyacını doğurmuştur. Submaksimal testler başlangıç yükü ya da “first beat method” denilen başlangıç kalp hızı baz alınarak bu değerlerin egzersiz sürsince  $VO_{2maks}$  ile doğrusal bir ilişki içinde artacağı esasına dayanır. Genellikle belirli bir zaman bağımlı (astrand bisiklet testinde olduğu gibi) olmakla birlikte, PVC<sub>170</sub> testinde olduğu gibi maksimal kalp hızının %75’ine tekabül eden şiddetlerde ölçüm yapılan tipleride mevcuttur (39).

Aerobik kapasitenin ölçülmesi bu şekilde laboratuvar ortamında maksimal  $O_2$  alımının ölçülmesi ile hesaplanacağı gibi, daha az miktarda kesinlik içeren birçok saha testiyle de ölçülebilir. Laboratuvar testleri çok sayıda kişi üzerinde test yapılmasına elverişli değildir. Çünkü karşılanması gereken özel koşulları ve pahalı ekipmanları vardır. Aynı anda veya kısa zaman dilimi içinde çok fazla katılımcıya test yapmak gerektiğinde saha testleri daha çok tercih edilir. Ancak saha testleri de standart testler değildir. Çünkü aerobik kapasitenin indirekt ölçümü için ön koşul olan saha şartlarının bütün bireyler için aynı olması koşulunu sağlamazlar. Saha testleri submaksimal sınırlarda yapılabileceği gibi “1 mil yürü” veya “1 mil koş testi” gibi maksimal sınırlarda yapılanları da mevcuttur (39).

Egzersiz sırasında kardiyopulmoner sistemin değerlendirilmesi, ventilasyon, gaz değişimi, kardiyovasküler fonksiyonların belirlenmesine yönelik egzersiz testleri kullanılmaktadır (40). Egzersiz testi ile;

- Egzersizde artan iş yüküne karşı ortaya çıkan ventilasyon yetersizliği,
- Egzersizde artan iş yüküne karşı ortaya çıkan kardiyovasküler kısıtlanma,
- Kondisyonsuzluk düzeyi,
- Kişinin tolere edebildiği iş yükü ve günlük egzersiz düzeyi,
- Rehabilitasyon planlanan hastalarda öncesinde durum değerlendirmesi ve rehabilitasyon programlarının oluşturulması,

- Egzersizde oluşan oksijen desaturasyonu ve egzersiz sırasında gerekli olan oksijen destek tedavisi düzeyleri,
- Torakotomi sonrası postoperatif komplikasyon olasılığı değerlendirilir (41).

#### **4.4.1. Laboratuvar Egzersiz Testleri**

##### **4.4.1.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi ve Bisiklet Ergometresi**

Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET) bireyin egzersiz sırasındaki kapasitesinin belirlendiği bir testtir (42). Uygulamalarda farklı donanım gerektiren KPET ile klinikte birçok hastalık teşhis edilebilmektedir (42). Kardiyopulmoner egzersiz testi aşağıdaki durumlarda uygulanmaktadır (43):

- Fonksiyonel kapasitenin ve  $VO_{2maks}$ 'ın belirlenmesi,
- Egzersizi kısıtlayan faktörlerin ve altta yatan patofizyolojik faktörlerin belirlenmesinde,
- Hem kardiyak hem de pulmoner semptomların bir arada görüldüğü hastalıklarda her birinin katkısını ve katkı oranını tayin etmekte,
- İstirahat halindeki kardiyak ve pulmoner testlerde ortaya çıkmayan semptomları saptamak için,
- Gaz değişim anormalliklerini gözlemlemek için,
- Kardiyak veya pulmoner rehabilitasyon programına katılan hastalardaki ilerlemeyi ve rehabilitasyon programına nasıl yanıt verdiklerini görmek için,
- Özur seviyesinin belirlenmesinde,
- Ameliyat olacak hastaların değerlendirilmesinde kullanılır (43).

Kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında bilinmesi gereken önemli noktalardan ilki istirahat halindeki ve yüklemesiz pedal çevirme sırasındaki  $VO_2$  miktarıdır. Normal bir kişide istirahat halindeki  $VO_2$  miktarı 250 mL/dk (3.5 mL/dk/kg), yüklemsiz pedal çevirmede ise 400 mL/dk olmalıdır. Obez kişilerde bu miktarlar her ikisi için 1000 mL/dk'dan yüksek olabilir (44).

İkinci önemli nokta solunum değişim oranı (RER) değerinin kontrolüdür. RER değerinin egzersizin ilk %30-40'luk kısmında 0.8 ile 0.95 arasında olması beklenir. Bu

değerin hiçbir zaman 0.7'nin altında olması beklenmez. Bireyin iyi maksimal efor sergilemesi durumunda RER değeri maksimum efor sırasında 1.1 ve 1.3 değerlerine çıkar ve egzersiz bittikten sonra dahi 1-2 dk boyunca yükselmeye devam eder. Çünkü bu sırada kas birikmiş CO<sub>2</sub>'i temizler ama VO<sub>2</sub> azalmıştır (44).

Bir başka önemli faktör ise arteriyel O<sub>2</sub> saturasyonudur. Eğer gerçek bir saturasyon problemi varsa bu yüklem başladığı egzersizin ilk dakikalarında kendini gösterir ve yük arttıkça saturasyon progresif istikrarlı bir düşüş gösterir. Ayrıca test sırasında VO<sub>2maks</sub>'ın testin başlarında 1-2 dk boyunca aynı değerde kalması da normal karşılanmaz. O<sub>2</sub> saturasyonu test sırasında kardiyak hastalarda sabit kalırken ventilatör limitasyonu olan, pulmoner vasküler veya interstisyel akciğer hastalığı olanlarda azalır. Anaerobik eşik geçildiğinde bikarbonat miktarı düşmeye başlar ve PCO<sub>2</sub>'in bu metabolik asidoza bağlı olarak hızlı bir şekilde düşer. Stabil veya artan bir PCO<sub>2</sub> ventilatör limitasyon veya nöromuskuler bir hastalık olduğunun göstergesidir (44). Elektrokardiyografi (EKG) monitörizasyonu test sırasında, herhangi bir S dalgası sonu ile T dalgası arasındaki yassı, izoelektrik ekg (ST) çökmesi veya aritmi olup olmadığı ve bunun test sırasında hangi aralıkta olduğu konusunda bilgi verir. Kan basıncı egzersiz boyunca kontrollü bir şekilde artmalıdır (43).

**Tablo 1.** Kardiyopulmoner egzersiz testlerinin kontrendikasyonları (Ceylan'dan, 42)

MUTLAK DURUM	GÖRECELİ DURUM
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akut miyokard enfarktüsü (ilk 3-5 gün)</li> <li>• Kararsız anjina</li> <li>• Semptomik ve hemodinamik bozulmaya neden olan aritmiler</li> <li>• Aktif endokardit</li> <li>• Akut miyokardit veya perikardit</li> <li>• Semptomatik ileri dereceli aort stenozu</li> <li>• Kontrol altına alınamayan kalp yetmezliği</li> <li>• Akut pulmoner emboli, pulmoner enfarkt</li> <li>• Egzersiz performansını etkileyebilen veya egzersizle agreeve olabilen enfeksiyon, böbrek yetmezliği, tirotoz gibi klinik tablolar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol ana koroner arter daralması</li> <li>• Kalp kapaklarında orta derecede daralma</li> <li>• Elektrolit bozuklukları</li> <li>• Ağır arteriyel hipertansiyon (SKB&gt;200mmHg DKB&gt;120mmHg)</li> <li>• Belirgin pulmoner hipertansiyon</li> <li>• Taşiaritmi veya bradiaritmi</li> <li>• Hipertrofik kardiyomiyopati</li> <li>• Kooperasyonu etkileyebilecek mental bozulma</li> <li>• İleri dereceli arteriyovenriküler blok</li> <li>• Derin ven trombozu</li> </ul>

Kardiyopulmoner egzersiz testi, treadmill veya ergometresi olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir. Treadmill egzersizleri her ne kadar günlük hayatta alışageldik olan yürüme aktivitesini içerse de, düz yolda yürüme aktivitesinden farklı olması ve yaşlı bireyler için denge kurmanın zor olması ayrıca yer çekimine karşı daha fazla aktivite yapılması nedeniyle organlara daha fazla yük bindirir. Hem bu sebeple hem de daha ucuz ve daha az yer kaplaması nedeniyle bisiklet ergometresi yaygın kullanım alanı bulmuştur (2).

Bisiklet ergometresi testinde birçok farklı protokol kullanılabilir. Çok fazlı egzersiz protokolü, sabit egzersiz protokolü, inkremental progresif ya da sürekli rampa protokolü olarak da adlandırılan protokoller kullanılmaktadır.

Bu protokolde öncelikle 0 watta yapılan yüklemesiz bisiklet çevirme kullanılır. Daha sonra her bir dakikada 5 ile 25 watt arasında değişen yüklemelerin kullanıldığı inkremental faza geçilir. Bu fazın egzersiz şiddeti ayarlanırken fit görünen bireyler için 25-30 watt'lık artışlar seçilebileceği gibi kısıtlılığı olan bireylerde 5 watt'lık artışlar tercih edilebilir. Bu faz birey yorulana kadar devam etmekle birlikte genellikle 8-12 dk sürer. Sonraki 5-10 dk. EKG monitörizasyonunun devam ettiği ve birey toparlanana kadar yüksüz pedal çevirmeyi içeren toparlanma süresidir (2).

#### **4.5. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler**

##### **4.5.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Aerobik Kapasite**

Aerobik kapasite, geniş çizgili kas gruplarının, orta ve yüksek yoğunluktaki egzersizleri uzun vadede sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır. Birim zamandaki değerine de aerobik güç denir (45).

Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz testi sırasında iskelet kaslarının kullandığı en yüksek oksijen hacim değeri,  $VO_{2maks}$  olarak tanımlanır. Önceleri değeri  $O_2$  litre/dakika olarak belirtilmiş olsa da, kişinin/sporçunun dakikada tüm vücut ağırlığının kilogramı başına mililitre  $O_2$  miktarı olarak hesaplanmasının ( $O_2$  mL/kg/dk) daha kabul edilebilir bir ifade olduğu açıklanmıştır. Anaerobik eşik değer ve  $VO_{2maks}$  değerleri kişinin aerobik kondisyonunun belirlenmesi, aynı zamanda sporcularda antrenman programlarının düzenlenmesi ve klinikte egzersiz reçetesi yazılmasında egzersiz yoğunluğunun saptanması için önemlidir (46).

Kişinin maksimal aerobik gücünün ölçülmesinde en iyi yol  $VO_{2maks}$ .  $VO_{2maks}$  şiddetli egzersiz süresince iskelet kaslarında tüketilen maksimum oksijen miktarıdır ve egzersiz yoğunluğu arttırılsa bile iskelet kaslarında tüketilen  $VO_{2maks}$  miktarı değişmez (46).

$VO_{2maks}$  yaşa, cinsiyete, vücut ölçülerine veya vücut kompozisyonuna bağlıdır.  $VO_{2maks}$  hem dokuların  $O_2$ 'den yararlanma kapasitesinin hem de kardiyovasküler ve respiratuar sistemlerin kapasitelerinin bir göstergesidir.

**Tablo 2.** Erkek ve bayanların  $VO_{2maks}$  değerleri (McArdle'dan, 32)

<b>Erkek ve Bayanların <math>VO_{2maks}</math> (mL/kg/dk) Normları Yaş (Yıl)</b>						
<b>Erkek oranları</b>						
	<b>18-25</b>	<b>26-35</b>	<b>36-45</b>	<b>46-55</b>	<b>56-65</b>	<b>66+</b>
<b>Mükemmel</b>	80-63	70-58	77-53	60-47	58-43	50-38
<b>İyi</b>	59-53	54-50	49-44	43-40	39-37	36-33
<b>Ortalama Üstü</b>	51-47	47-44	42-40	38-35	35-33	32-29
<b>Ortalama</b>	46-43	42-40	38-35	35-32	31-30	28-25
<b>Ortalama Altı</b>	41-38	39-35	34-32	31-29	29-26	25-22
<b>Zayıf</b>	35-31	34-31	30-27	28-26	25-22	21-20
<b>Çok Zayıf</b>	29-20	28-20	25-19	23-18	21-16	18-15
<b>Bayan Oranları</b>						
<b>Mükemmel</b>	71-58	69-54	66-46	64-42	57-38	51-33
<b>İyi</b>	54-48	51-46	44-39	39-35	36-32	31-28
<b>Ortalama Üstü</b>	46-42	43-40	37-34	33-31	31-28	27-25
<b>Ortalama</b>	41-39	38-35	33-31	30-28	27-25	24-22
<b>Ortalama Altı</b>	37-34	34-31	30-28	27-25	24-22	22-20
<b>Zayıf</b>	32-29	30-26	26-23	24-21	21-19	18-17
<b>Çok Zayıf</b>	26-18	25-20	21-18	19-16	17-14	16-14

Aerobik kapasite bireylerin fiziksel yeterlilik kapasitesinin belirlenmesinde kalp, solunum ve metabolik cevapları aynı anda değerlendirerek çok yönlü ve kapsamlı bilgi edinilmesini sağlayan ölçütlerin başında gelir. İnsan vücudunda ortaya çıkan metabolik işleyişin genel boyutunu göstermesi nedeniyle, bireylerde kabul edilebilir sınırlardaki aerobik kapasite genellikle kalp hastalıkları, yüksek tansiyon, diyabet ve kanserin bazı formları için daha az risk göstermesi yönünden önemlidir (45).

#### 4.5.1.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: MET Kavramı

Enerji maliyetini ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Metabolik eşdeğer (İng: Metabolik Equivalent) terimi ile ifade edilir. 1 MET sakin bir şekilde otururken mL/kg/dk olarak ifade edilen enerji tüketimi olarak tanımlanmaktadır. 1 MET dinlenme VO<sub>2</sub> hızıdır. Ortalama bir yetişkinde 1 MET=3.5 mL/kg/dk'dır. Birden yüksek olan MET, kişinin dinlenmedeki metabolizmasının katlanarak arttığı anlamına gelir. 10 MET'lik bir egzersiz bir aktivitenin oksijen maliyetinin dinlenme VO<sub>2</sub>'sinden 10 kat kadar fazla olduğu anlamına gelir (32).

$$\left. \begin{array}{l} 3.5 \text{ mL/kg/dk} * 10 = 35 \text{ mL/kg/dk} \\ 70 \text{ kg} * 35 = 2450 \text{ mL/dk} = 2.45 \text{ L/dk} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 70 \text{ kg bir bireyin 10 MET değerindeki} \\ \text{oksijen tüketimi} \end{array}$$

Kadın ve erkek bireylerde vücut ağırlığına göre MET kavramı farklılık gösterir. Dinlenme durumunda erkek bireylerde MET değeri 250 mL O<sub>2</sub>/dk iken, kadın bireylerde bu değer 200 mL O<sub>2</sub>/dk'dır. Bu değer egzersiz şiddetine göre 1,5-10 kat değerleri arasında artabilir (32).

Aerobik kapasite hastalık ve yaşam kalitesinin belirlenmesi, sporcularda bireysel uygunluğun belirlenmesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilse göz ardı edilemeyecek bir başka neden de fiziksel iş kapasitesinin belirlenmesidir. Eğer bir iş bir bireyin maksimum VO<sub>2</sub> seviyesinin %50'sinden fazlasını gerektiriyorsa bu işin bu birey için uygun olmadığına karar verilir (47). Spor performansının belirlenmesi dışında, genel sağlık durumunun, özür seviyesinin, iş kapasitesinin belirlenmesi gibi amaçlarda aerobik kapasitesinin önemli bir ölçüt olması MET kavramının kullanımı için daha güçlü bir gerekçe oluşturmaktadır. Amerikan Kalp Vakfı'na göre bir bireyin majör bir ameliyat geçirebilmesi için aerobik kapasitesinin en az bir basamak çıkacak seviyede ya da 4 MET olması gerekmektedir (2).

#### 4.5.1.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Oksijen Tüketimi (VO<sub>2</sub>)

Egzersiz vücutta O<sub>2</sub> ihtiyacını arttırarak uyum sağlar. Egzersizde verimli O<sub>2</sub> kullanım kapasitesini yükseltmek için başlıca iki durum ortaya çıkar. İlki, kardiyak debiyi arttırmak, ikincisi ise kanla dokuya ulaşan O<sub>2</sub>'nin oldukça yüksek bir miktarda

kullanımını sağlayabilmektir. Bu ikinci etkinin oluşturduğu duruma da a-v O<sub>2</sub> farkı denir (48).

VO<sub>2maks</sub>, egzersiz fizyologlarının çoğunluğu tarafından solunum ve dolaşım sisteminin fonksiyonel sınırlarının en önemli ve belirgin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. VO<sub>2maks</sub>, özellikle elit düzeydeki sporcularda dayanıklılık performansını belirleyen niteliklerin başında gelmektedir.

VO<sub>2</sub> vücudun besin maddelerinden açığa çıkan enerjiyi hücresele düzeyde ATP'ye dönüştürmek için bir dakika kullandığı O<sub>2</sub> volümü ya da hacmi olarak tanımlanabilir ve ml/dk cinsinden ifade edilir. VO<sub>2</sub> büyük ölçüde vücut yüzeyi ve hacmi ile ilişkilidir. Ancak vücut yüzeyi hacme göre daha az yükselme eğilimi gösterdiğinden vücut hacmi görece olarak daha azdır. Dinlenme halinde ortalama bir bireyde oksijen tüketimi 3-4 mL/kg/dk'dır (49). Dinlenme halinde tüketilen bu O<sub>2</sub>'nin %80'i beyin, kalp, karaciğer ve böbrekler tarafından kullanılır. Egzersiz süresince artan VO<sub>2</sub> direkt olarak kas metabolizmasındaki artışla alakalıdır. Egzersiz sırasında genç antrenmansız bireylerde VO<sub>2</sub> 10-15 kata kadar artabilir. Bu değişim hem kan akımının hem de arteriyal ve venöz O<sub>2</sub> farkının yani O<sub>2</sub> kullanımının artması ile sağlanır. Çünkü Fick Eşitliği'ne göre VO<sub>2</sub> kan akımı ile arteriyal venöz oksijen farkının çarpılması ile elde edilir. Vücuda dolan total kan akımı kardiyak debiye eşit olduğundan bu değerler yerine koyulduğunda aşağıdaki eşitlik elde edilir (50).

$$VO_2 = KH \times VH \times (a-v O_2 \text{ farkı})$$

Maksimal egzersiz sırasında a-v O<sub>2</sub> farkı 100 mL kan için 15-16 mL'ye kadar çıkabilir (34). Ortalama vücut hacmi ve kalp hızının da artması ile VO<sub>2</sub> miktarı egzersiz sırasında artar. Egzersiz yoğunluğunun artması halinde VO<sub>2</sub> sabit kalmayarak artmaya devam eder (51). Egzersiz süresi 5-10 dk'dan az olduğunda ve VO<sub>2maks</sub> %70'inden az yoğunlukta yapıldığında VO<sub>2</sub> dokuların oksijen tüketimini tam olarak karşılayacak şekilde artar ve kararlı faz denilen belli bir noktada sabit kalır. Bu noktaya ulaşmak birçok bireyde 2-3 dk sürer (27).

Bu faza ulaşana kadar aerobik enerji sistemleri O<sub>2</sub>'i kullanarak yeterli ATP üretmediği için enerji daha çok O<sub>2</sub>'in kullanılmadığı anaerobik yollardan karşılanır. O<sub>2</sub> kullanımındaki bu gecikme "O<sub>2</sub> açığı" olarak adlandırılır (32). Antrene olmuş atletlerde bu faz çok daha kısadır ve kararlı faza çok çabuk ulaştıkları için de toplam VO<sub>2</sub> antrene

olmayan bireylere göre çok daha fazla olur. O<sub>2</sub> açığı ve total VO<sub>2</sub> etkileyen faktörler; egzersiz tipi, egzersiz yoğunluğu ve uzunluğu, antrenman durumu ve egzersize katılan kas lifi tipidir (27).

Uzun dönem orta ya da ağır submaksimal egzersizlerde egzersiz yoğunluğu değişmediği halde; VO<sub>2maks</sub>'ın %70'inden az yoğunlukta egzersiz yapıldığı ve egzersiz için gerekli O<sub>2</sub> ihtiyacı karşılandığı halde VO<sub>2</sub> yine artmaya devam eder. Bu artış artan sıcaklık, katekolamin hormonlarında artış, daha fazla karbohidrat üretimi ve bazı durumlarda laktat birikimi ile ilişkilidir (52, 53).

Kademeli maksimal egzersizler ise birey yorulana kadar devam eder ve iş yükü bu egzersizler sırasında kademeli olarak arttırılır. İş yükü arttığı için bu egzersizde hem VE hem VO<sub>2</sub> hem de açığa çıkan karbondioksit hacmi (VCO<sub>2</sub>) artan enerji ihtiyacını karşılamak için kademeli olarak artar. Bu ağır egzersiz sırasında bireyin enerji ihtiyacını aerobik yollardan karşılamak için solunum yoluyla alıp, dokulara taşıyarak istifade ettiği en yüksek O<sub>2</sub> miktarı VO<sub>2maks</sub> olarak tanımlanır (54).

#### **4.5.1.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Solunum Değişim Katsayısı (RER)**

Metabolizmada üretilen CO<sub>2</sub> miktarı ve kullanılan O<sub>2</sub> oranıdır. Diğer bir deyişle karbondioksit üretiminin, oksijen tüketimine oranını ifade eder (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>). Maksimal egzersizde R veya RER değeri 1.15'den büyük olmalıdır. Bu oran nefesle verilen gazları oda havasıyla karşılaştırarak belirlenir. Bu oranın ölçülmesi vücuda enerji tedarik etmek için yakıtın (karbonhidrat veya yağ) metabolize edildiğinin bir göstergesi olan solunum katsayısını (RQ) tahmin etmek için kullanılabilir. Bu tahmin yalnızca metabolizma sabit bir durumda ise geçerlidir.

Modern bir diyet ile dinlenme sırasındaki RER yaklaşık 0.8'dir. Bununla birlikte bu değer, yoğun egzersiz sırasında 1'i aşabilir. Çünkü çalışan kaslardaki CO<sub>2</sub> üretimi artar ve inhalasyona uğrayan O<sub>2</sub>'nin daha fazlası atılmak yerine kullanılır.

Orta veya daha yüksek yoğunluklu aerobik egzersiz ve anaerobik egzersiz sırasında, RQ tahmininde RER kullanılması, hidrojen iyonlarının bikarbonat tamponlanması da dahil olmak üzere, solunum sistemi tarafından atılan CO<sub>2</sub> seviyelerini etkileyen faktörlerden dolayı doğruluğu kaybeder.

RER hesaplanması yaygın olarak  $VO_{2maks}$  testi gibi egzersiz testleri ile birlikte yapılır ve katılımcıların yorgunluğa ve kardiyolojik sisteminin sınırlarına yaklaştığının bir göstergesi olarak kullanılabilir. 1.15'e eşit veya daha büyük bir RER, çoğu zaman bir  $VO_{2maks}$  testinin ikincil bir son nokta kriteri olarak kullanılır. RER 0.70, yağın baskın yakıt kaynağı, RER 0.85, yağ ve karbonhidrat karışımı olduğunu gösterir ve 1.00 veya daha yüksek bir değer, karbonhidratın baskın yakıt kaynağı olduğunu gösterir (55).

#### **4.5.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kardiyak Etkinlik**

Kalbin etkinliği, mekanik motorlardaki gibi başarılı işin kullanılan toplam enerjiye oranı olarak hesaplanır. İki ventrikül için ortalama  $VO_2$  9 mL/dk/100 g olarak kabul edilirse 300 g kalp 27 mL  $O_2$ /dk tüketecektir. Bu değer Respiratory Quotient 0.82 olduğunda 130 küçük kaloriye eşdeğerdir. İki ventrikül birlikte dakikada 8 kg iş yapar. Bu iş 18.7 küçük kaloriye eşdeğerdir. Bu nedenle kalbin brüt etkinliği yaklaşık olarak %14'tür.

$$18.7/130 \times 100 = \%14$$

Kalbin net etkinliği biraz daha yüksektir (%18) ve toplam kardiyak  $O_2$  tüketiminden atmayan (asistolik) kalbin  $VO_2$ 'nin çıkarılmasıyla belirlenir. Bu nedenle bir pompa olarak kalbin etkinliği nispeten düşüktür ve birçok yaygın mekanik cihazın etkinliği ile karşılaştırılabilir. Fiziksel egzersiz sırasında etkinlik artar. Çünkü miyokardiyal  $VO_2$ 'de oranlı bir artış olmaksızın kalp debisi ve işi belirgin olarak artarken ortalama kan basıncı çok az değişiklik gösterir. Kanın vücut boyunca ilettilmesine katkıda bulunmayan, kalp metabolizmasında harcanan enerji ısı formunda açığa çıkar. Akan kanın enerjisi de özellikle arteriyollerden geçerken ısı olarak açığa çıkar (8).

##### **4.5.2.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kalp Hızı**

Egzersiz süresince, artan enerji ihtiyacını karşılamak için vücudun ne kadar çalışması gerektiğinin bir ifadesi olan kalp hızı, egzersize başlamadan yükseliş gösterir. Çünkü birey birazdan egzersiz yapacağına dair zihninde bir olgu meydana getirdiğinden kalp hızı beklentisel refleksler tarafından arttırılır. Kalp hızına cevabı belirleyen etmenler şunlardır (56):

- Yaş
- Aktivitenin tipi
- Vücut pozisyonu
- Fitness
- Kalp hastalığı varlığı
- Kullanılan ilaçlar
- Kan hacmi
- Çevre
- Egzersizin şiddeti

Kalp hızı bireyin yaşı ile ters orantılı olacak şekilde biçimlenir. Bireyin egzersize başladıktan sonra kalp hızı, yapılan egzersiz şiddeti ile belirli bir noktaya kadar artış gösterebilir. Bu noktadan sonra egzersiz şiddeti artsa bile kalp hızı artış göstermez. Bu seviyede ölçülen kalp hızı maksimal kalp hızı olara adlandırılır. Maksimum kalp hızı miktarı genellikle “220- yaş” formülü ile yaklaşık olarak belirlenebilir (57).

#### **4.5.2.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinde Kullanılan Parametreler: Kardiyak Rezerveri (Kalp Yedeği)**

Kalp debisinin normalin üzerinde yükselebileceği maksimal yüzde oranına kalp yedeği denir. Sağlıklı genç bir bireyde kalp yedeği %300-400'dür. Atletik antrenmanlı kişilerde bazen %500-600'dür, kalp yetersizliğinde ise rezerv yoktur. Yoğun egzersizde kalp debisi 5 kat arttığından %400'lük bir yükselmeye sebep olarak kalp yedeği %400 değerine sahip olur (30).

Kalbin yeterli kan pompalamasını önleyen her bir durum kalp yedeğini azaltır. Bu, iskemik kalp hastalığı, primer miyokard hastalığı, vitamin eksikliği, miyokard hasarı valvüler kalp hastalığı ve pek çok diğer faktörlerden kaynaklanabilir. Kalp yedekleri düşük olan kişiler dinlenme durumunda kaldıkları sürece genellikle kalp hastası olduklarını bilemezler. Kalbin yükünün artmasıyla küçük miktardaki yedek hızla kullanılır ve kalp debisi vücudun yeni aktivitesini sürdürmek için yeterli derecede yükselmez (30).

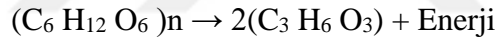
#### **4.5.3. Anaerobik Kapasite ve Anaerobik Eşik Kavramları**

Egzersizin tüm çeşitlerinde (maksimal ve submaksimal) O<sub>2</sub>'siz solunumla oluşturduğu iş kapasitesine 'anaerobik kapasite' denir. Bunun birim zamandaki değerine de güç denir (kgm/sn, kgm/dk, watt). Solunum O<sub>2</sub>'siz gerçekleştiği zaman egzersizleri uzun sürede yapmak mümkün değildir. Bunun en önemli nedeni anaerobik egzersiz sırasında kas ve kandaki biriken laktat miktarının giderek artmasıdır. Bu durum CO<sub>2</sub>'in atılımını artırır. Kanda CO<sub>2</sub> miktarının artması, pH'yı düşürerek (pH=6.4) kasta yorgunluğun ortaya çıkmasına sebep olur (58).

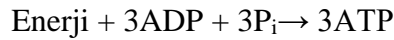
Anaerobik egzersizde CO<sub>2</sub> hacim eğrisi, O<sub>2</sub> hacim eğrisinden gittikçe uzaklaşır. Bunların birbirini kestiği noktaya diğer bir deyişle kırılma noktasına anaerobik eşik değer denir. Genel olarak anaerobik eşik değeri 4 mMol/L'dir. Ancak bazen farklılıklar gösterbilir (2.1-12.6 mMol/L) (58).

#### 4.5.3.1. Laktik Asit (LA)

Anaerobik metabolizmada, adenozin trifosfat (ATP) üretiminin sağlandığı ikinci yol olan glikolizde, glukoz veya glikojenin oksijensiz ortamda parçalanarak laktik aside kadar yıkılmasına 'Anaerobik Glikoliz'adı verilir. Anaerobik glikolizin son ürünü olan LA (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), suda çözünebilen çok güçlü bir asittir (59). Anaerobik glikolizde enerji kaynağı glikojendir. Glikojen, glikoliz esnasında laktik asitten önce pirüvik aside kadar parçalanır. Genellikle bu molekül kas hücresinin mitokondrilerine giderek, orada O<sub>2</sub> bulması halinde çok sayıda ATP'nin yapımını sağlar. Fakat bu esnada yeterli oksijen bulamaması halinde ise pirüvik asit, laktik aside dönüşür. Bu atık madde ise difüzyonla kas hücrelerinden doku sıvısına ve kana iletilir (59). Kasta üretilen glikojenin geniş bir kısmı LA'ya çevrilirken çok sınırlı VO<sub>2</sub> ile önemli miktarda ATP üretimi gerçekleşmiş olur. Anaerobik glikoliz ile ATP üretimini özetlemek istersek;



(Glikojen) ( Laktik asit)



Hücre içerisinde gittikçe artan laktik asit miktarı kas pH'ını düşürerek ATP üretimini durdurmakta ve bunun sonucu olarak da sporcu kassal yorgunluk nedeni ile aktiviteyi durdurmak zorunda kalabilmektedir. pH'ın düşmesi kasılma mekanizmasını olumsuz etkiler ve düşük pH kalsiyum (Ca<sup>2+</sup>) iyonunun sarkoplazmik retikulumdan (SR) salınmasını ve troponine bağlanmasını engeller (60). Kısa süreli (2-3 dk'lık) maksimum seviyede gerçekleşen 400-800 m gibi egzersizlerde enerji daha çok bu şekilde elde edilir (59). LA üretimi ve O<sub>2</sub> ilişkisi Hill-Mayerhof'un egzersiz sırasındaki O<sub>2</sub> transportu yetersizliği hipotezine dayanır (61).

Bu hipoteze göre LA üç koşulla ilişkili olarak artar veya azalır:

- İş yükü çalışmaya katılan motor ünite sayısını belirler. Daha fazla iş yükünde daha fazla motor ünite ve kas hücresi aktive olur.

- İş yükünün artması ve dolayısı ile daha fazla kas lifinin aktive olması kas kontraksiyonu için daha fazla yüksek enerjili fosfat bağı gerektirir.
- Eğer lokal dolaşım iş yükü için uygunsu ve yeterince kan akımı varsa bütün enerji ihtiyaçları öncelikli olarak aerobik yolla karşılanır. Bununla birlikte eğer kasılmaya katılan ünitelerin ihtiyacı sağlanan O<sub>2</sub> aşar, O<sub>2</sub> depoları tükenirse ATP üretimi anaerobik yolla olur ve bu da LA üretimini artırır (62).

Vücuttaki LA eşik seviyesi sporcu bireylerin antrenman yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Egzersiz sonrası LA biriktiği zaman kaslarda ağrılar meydana getirir. Düzenli egzersize alışmış olan kasların O<sub>2</sub> ihtiyacı dengelendiğinden, LA üretimi daha az seviyelerde seyredir. Yapılan kardiyo egzersizlerden sonra, vücut soğutma süresine ayrıldığında egzersizler ani olarak bırakılmadığında LA sebebi ile gerçekleşebilecek ağrılar azalabilir.

#### 4.5.3.2. Anaerobik Eşik Belirlenmesi

Her ne kadar anaerobik eşik artmış laktat ve CO<sub>2</sub> olarak tanımlansa da bu olaylar dizisi sırasında meydana gelen mekanizmaların çokluğu ve karmaşıklığı, birçok farklı parametrenin hesaba katılarak farklı oranlara dayalı hesaplamalar içeren grafiklerin çizilmesini zorunlu kılmıştır. Temelde iki farklı eşikten bahsedilir. Bunlardan birincisi CO<sub>2</sub> üretimine karşı artan ventilasyonla karakterize anaerobik eşik, ikincisi ise pH düşüşüyle ve bikarbonatın tamponlanmakta yetersiz kaldığı laktat artışıyla karakterize laktat eşigidir. Wasserman'a göre anaerobik eşik belirlenmesi 4 farklı yolla yapılabilir (62, 63):

- VE'deki lineer olmayan artıştan,
- VCO<sub>2</sub>'deki yine lineer olmayan artıştan,
- Solunum sonu CO<sub>2</sub>'de bir düşüş olmaksızın solunum sonu O<sub>2</sub>'de artış,
- Artmış R veya RER (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) değerinden belirlenir.

Dakikada bireyin durumuna göre 15, 20 ya da 25 wattlık artışlar gösteren bir bisiklet ergometresi testinde, bu farklı noktalar çok rahatlıkla gözlenebilir.

VO<sub>2</sub> her 1 L artış için ventilasyon 20-25 L artar. Ancak yoğun egzersizlerde ventilasyon VO<sub>2</sub> oranı 35-40 L'ye kadar çıkabilir. Ventilasyondaki bu hızlı artışın

oluştığı nokta ventilatuar eşik olarak da adlandırılır. Bu nokta aynı zamanda LA'nın kanda birikmeye başladığı noktayı ifade eder. Ancak bu noktada laktat artışı çok belirgin değildir.

İş yükünün gitgide artması sistemik laktat eliminasyon mekanizmalarının yetersiz kalmasına ve kanda laktat birikimine neden olur. Bu noktada hiperventilasyon hidrojen ( $H^+$ ) artışını kompanse edemez ve bu metabolik asidoza bağlı olarak ekspirasyon sonu  $CO_2$  birikiminde artışla birlikte  $VCO_2$  oranında artış olur.

Artan  $CO_2$  salınımıyla ilgili bir başka hesaplama yöntemi klinikte oldukça fazla kullanılan V-slope yöntemidir. Bu yöntemde  $CO_2$ 'in,  $O_2$ 'e oranının kırılma noktası baz alınır (34).

Dinlenimde alveolar  $PCO_2$  40 mmHg iken, arterial  $PaCO_2$  36-42 mmHg'dır.  $PaCO_2$  orta- hafif egzersizde sabit kalır, hafifçe yükselebilir; ağır egzersizde ise düşer. Tidal volüm sonu  $CO_2$  miktarı ( $PETCO_2$ ) da dinlenimde 36-42 mmHg'dır ve orta şiddetli egzersizde 3-8 mmHg çıkabilir, ağır egzersizde ise düşebilir. Wasserman'a göre egzersizde  $PETCO_2$  arterial basınca göre orta egzersizde sadece 4 mmHg yükselir. Bu sayede  $PETCO_2$  miktarı  $PaCO_2$  miktarı hakkında önemli ipuçları sağlayabilir.

Dinlenimde alveolar  $PO_2$  100 mmHg iken arterial oksijen basıncı ( $PaO_2$ ) dinlenimde 80 mmHg'ya yakındır ve egzersiz boyunca arterial basınç düşmez, ağır egzersizde hafifçe yükselebilir. Alveolar ve arterial  $O_2$  farkı egzersiz boyunca 20-30 mmHg'nin altında ve genellikle orta şiddetli egzersizlerde 10 mmHg'ya yakın seyreder. Tidal volüm sonu  $O_2$  parsiyel basıncı ( $PETO_2$ ) ise istirahatte 90 mmHg hatta biraz daha yüksek olabilir.  $PETO_2$  ölçümü hem  $PaO_2$  hem  $PO_2$  miktarı hakkında bilgi verir (34). Örneğin; hiperventilasyon gösteren, pulmoner vasküler hastalığı olan hastalarda ventilasyon perfüzyon oranı yüksektir. Bu durum end-tidal (ekspirasyon sonu)  $CO_2$  hacminde azalma ve  $PETO_2$ 'de yükselmeye sebep olur (64). Egzersizde ise artan laktik asidoza bağlı artan ventilasyon end-tidal  $PO_2$ 'de artışla sonuçlanır. Bu değer invaziv yöntemlerde anaerobik eşik noktası olarak kabul edilir (65). RER aerobik uygunluğun bir başka göstergesidir.  $VCO_2$  miktarının  $VO_2$  miktarına bölünmesiyle elde edilir. Düşük ve orta yoğunluktaki egzersizlerde dahi  $VO_{2maks}$  ve laktat eşikinden bağımsız olarak aerobik uygunluğun ve azalmış egzersiz toleransının bir göstergesidir (66).

#### 4.5.4. Aerobik-Anaerobik ATP Üretimi Arasındaki Etkileşim

Egzersiz sırasında ATP üretiminde aerobik ve anaerobik metabolik yollar arasındaki etkileşimin incelenmesi önemlidir. Sıkça aerobik ve anaerobik egzersizden bahsedilmesine rağmen, gerçekte enerji çoğu egzersiz tipinde her ikisinin kombinasyonundan sağlanır. Aerobik metabolizma daha uzun süreli aktivitelerde baskın hale gelirken anaerobik ATP üretimi kısa süreli, yoğun egzersizde daha etkilidir. Örneğin, 100 m'lik bir koşuda enerjinin %90'ı anaerobik kaynaklardan sağlanır ve enerjinin çoğu ATP-kreatin fosfat sisteminden gelir. Benzer şekilde 400 m koşuda (yaklaşık 55 sn) enerji büyük oranda (%70-75) anaerobik olacaktır, ATP ve kreatin fosfat depoları sınırlıdır ve glikoliz desteği gerekir. Özetle fiziksel aktivitenin süresi kıaldıkça anaerobik enerji üretim sistemlerinin katkısı artmaktadır. Tersine süre uzadıkça aerobik sistemlerin katkısı artarken anaerobik sistemlerin katkısı azalır (67).

#### 4.5.5. Ventilasyon/Perfüzyon

Akciğerlerin primer fonksiyonunda ventilasyon ve pulmoner kan akışı önemli unsurlar olmakla birlikte, ventilasyon ve perfüzyon arasındaki ilişki (V/Q oranı ile belirlenen) normal gaz değişiminde en büyük belirleyici etkidir. Ventilasyon akciğerlere temiz havanın girişi ve akciğerlerdeki havanın çıkış sürecini ifade eden bir terimdir. VE, akciğerlere dakikada giren veya çıkan hava hacmidir ve şu formülle ifade edilir (7).

$$VE=f \times TV$$

f; frekans, dakika soluk sayısı ve TV; tidal volüm veya her bir solukta alınan hava hacmidir.

Tidal volüm yaş, cinsiyet, vücut pozisyonu ve metabolik aktivite ile değişir. Ortalama yetişkin bir kişide TV 500 mL'dir. Perfüzyon ise yeterli O<sub>2</sub>'ne sahip olmayan kanın akciğerlerden geçmesi ve yeniden O<sub>2</sub>'ce zenginlenme sürecidir.

Akciğerin tamamında veya tek bir alveol için ventilasyon perfüzyon ilişkisi düşünülebilir. Bir tek alveol seviyesindeki miktar, alveolar ventilasyonun (VA) kapillerdeki kan akımına bölünmesi şeklinde ifade edilir. Akciğer seviyesinde ise bu durum, toplam alveolar ventilasyonun kardiyak outputa oranı olarak tanımlanır.

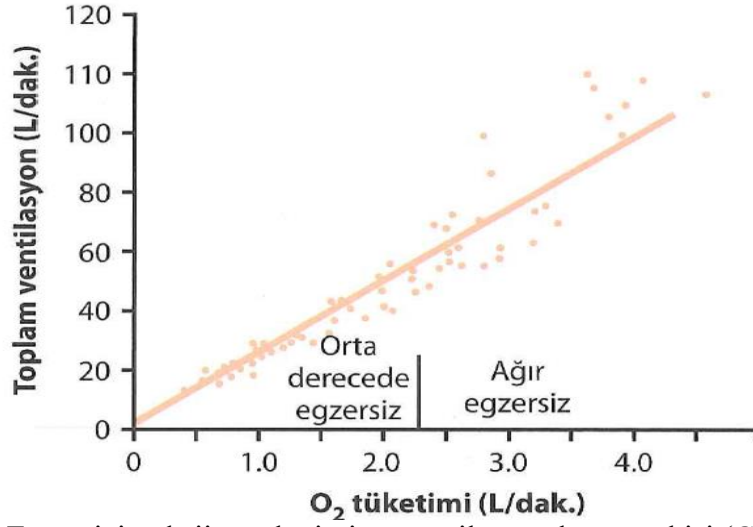
Sağlam bir akciğerde VA yaklaşık 4 L/dk ve kan debisi de 5 L/dk olduğundan V/Q oranı yaklaşık 0.8 L/dk'dır. V/Q oranı 1'den büyük veya 1'den küçük ölçüldüğü zaman bu durumun normal olmadığı kolaylıkla anlaşılabilir. Ancak V/Q oranının, normal bir değerde olması da herhangi bir sorun olmadığı anlamına gelmez. Çünkü oran normal bir değerde seyrettiğinde bile ventilasyon veya perfüzyonun herhangi birinde ya da her ikisinde de anormal bir durum mevcut olabilir (7).

#### **4.5.5.1. Ventilasyonun Egzersiz Sırasında Denetlenmesi**

Egzersiz sırasında VA 20 kata kadar artabilir. Üç değişkene yani, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub> ve H<sup>+</sup> derişimine dayanarak bu ventilasyon artışını indükte eden işlerde açıklanabilir.

Egzersiz yapan kasların daha fazla CO<sub>2</sub> üretmesi ile kan PO<sub>2</sub>'sinde artış olması beklenebilir. Bununla beraber bu önerme sadece sistemik venöz kan için geçerli olup sistemik arteryal kan için geçerli değildir. Orta şiddetteki egzersizde VA artmış CO<sub>2</sub> üretimindeki artış ile tam orantılı olarak arttığından alveoler ve dolayısıyla arteryal PCO<sub>2</sub> değişmez. Gerçekte, çok yoğun egzersiz sırasında VA, CO<sub>2</sub> üretiminden çok daha büyük bir artış göstermektedir. Bir diğer deyişle, yoğun egzersiz sırasında bir kişi hiperventilasyon gösterebilir, böylece alveoler ve sistemik PaCO<sub>2</sub> gerçekte düşmüyor olacaktır (68).

Egzersiz sırasında, dokulardaki VO<sub>2</sub>'de görülen artışa bağlı olarak sistemik venöz PO<sub>2</sub> düşerse de alveoler PO<sub>2</sub> ve dolayısı ile sistemik arteryal PO<sub>2</sub> değişmeden kalır. Bunun nedeni, hücrel VO<sub>2</sub> ve VA'nın, en azından orta düzeyde egzersiz sırasında birbirleriyle tam olarak orantılı şekilde artmalarıdır. Sağlıklı bireylerde ventilasyon, yoğun egzersizin sınırlayıcı etmeni olmayıp bu sınırlayıcı etmen kalp debisidir. Ventilasyon, sadece PaO<sub>2</sub>'yi sürdürmeye yetecek düzeyde artış gösterebilmektedir. PaCO<sub>2</sub>'nin orta derecede egzersiz sırasında değişmemesi ve yoğun egzersizde azalması nedeniyle CO<sub>2</sub> birikimi sonucu gelişmiş aşırı bir H<sup>+</sup> birikmesi görülmez. Diğer yandan, yoğun egzersiz sırasında LA üretilmesi ve kana salınmasına bağlı olarak arteryal H<sup>+</sup> derişiminde bir artış olur. H<sup>+</sup> derişimindeki bu değişiklik, kısmen yoğun egzersize eşlik eden hiperventilasyonun uyarılmasından sorumludur (68).



**Şekil 3.** Egzersizin oksijen tüketimi ve ventilasyon hızına etkisi (Gray'dan, 69)

Egzersiz sırasında ventilasyonun uyarılmasında bir grup diğer etmende bir şekilde rol oynar. Bunların arasında; eklemler ve kaslardaki mekanoreseptörlerden gelen tepki girdileri, beden sıcaklığında artış, beyinden egzersiz yapan kasları besleyen motor nöronlara inen aksonlardan çıkan dallar yoluyla solunum nöronlarına ulaşan girdiler (merkezi komut), adrenalini derişiminde artış, egzersiz yapan kaslarda potasyumun dışarı çıkışına bağlı olarak plazma potasyum derişiminde bir artış ve solunum merkezlerine giden nöral girdinin aracılık ettiği koşullu bir yanıt bulunmaktadır (68).

Egzersiz başladığında ventilasyonda saniyeler içinde ani bir artış ve egzersiz son bulduğunda aynı derecede ani bir azalma olur; bu değişiklikler kanın kimyasal yapıtaşlarında veya beden sıcaklığında bir değişiklik ile açıklanamayacak kadar hızlı gerçekleşmektedir (68).

#### **4.6. Kaslar ve Egzersizde Kasa Yanıt**

##### **4.6.1. Egzersizde Kasın Metabolik Sistemleri**

Egzersizde kasın üç metabolik sistemi vardır. Bunlar; fosfokreatin-kreatin sistemi, glikojen-laktik asit sistemi ve aerobik sistemdir.

ATP kas kontraksiyonu için ana enerji kaynağıdır. Bir ATP molekülünde bulunan yüksek enerjili fosfat bağlarının her birinde standart şartlarda 7300 kalori depo edilmiştir. Bu nedenle molekülden bir fosfat kökü ayrıldığı zaman 7300 kalorilik enerji serbestleşmiş olur. Elit sporcu bireylerde bile kas gücü maksimum 3sn sürdürülebilir. Bu

nedenle ATP üretimi birkaç saniyede bir yenilenebilir. Böylece kas sürekli atletik aktivite sırasında bile birkaç saniye dışında ATP'nin devamlı olarak yeniden yapımını gerektirir (70).

Fosfokreatin yüksek enerji bağı içeren başka bir kimyasal bileşiktir. Gerçekten de, fosfokreatinin yüksek enerjili fosfat bağlarında ATP'deki bağlardan biraz daha fazla enerji vardır. Fosfokreatinin her molekülünde 10 300 kalori vardır. Böylece fosfokreatin ATP'nin yüksek enerji bağlarının yenilenmesi için gerekli enerjiyi kolayca sağlayabilir.

Fosfokreatinde ATP'ye enerji transferinin özgül bir yönü, saniyeden daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu nedenle, kas fosfokreatininde depo edilen bütün enerji ATP'deki enerji gibi, kas kontraksiyonunda ani olarak kullanılabilir. Hücredeki ATP ile birlikte fosfokreatine fosfojen enerji sistemi adı verilir. Her ikisi birlikte 8-10 saniyelik maksimal kas gücü sağlayabilir ki, bu yüz metre koşusuna ancak yeterli olabilir. Böylece fosfojen sistemin enerjisi kısa süreli patlayıcı kas gücü için kullanılır (70).

Glikojen-laktik asit sisteminin en önemli özelliği ATP molekülünün O<sub>2</sub>'li solunuma göre 2.5 kat daha hızlı oluşmasıdır. Böylece kaslarda orta süreli kas kontraksiyonları için büyük miktarlarda adenozin trifosfat gerektiğinde, anaerobik glikoliz metabolizması hızlı bir enerji kaynağı olarak kullanılır. Bu fosfojen sistem kadar hızlı değildir, ancak yarısı kadar hızda işler. Optimal koşullarda glikojen-laktik asit sistemi fosfojen sistemin sağladığı 8-10 saniyeye ek olarak, 1.3-1.6 dk'lık bir maksimal kas aktivitesi sağlarsa da kas gücü bir miktar azalır.

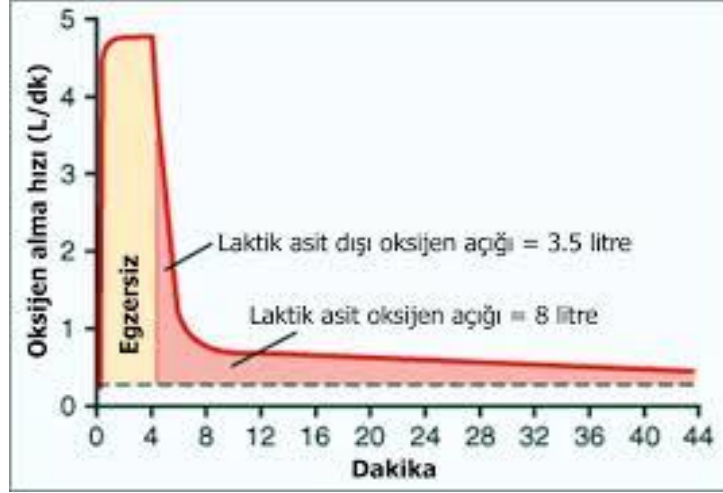
Aerobik sistem, mitokondrilerde besin maddelerinin enerji sağlamak üzere gerçekleşen oksidasyonu demektir. Aerobik sistemin dakikada ATP tüketimi açısından maksimum güç üretim hızı 1'dir. Fakat bu sistem dayanıklılık bakımından incelendiğinde, besin varlığına bağlı olarak sınırsız bir zaman dilimi içerisinde devam edebilir. Genel olarak bakıldığında zaman, fosfojen sistem kaslarda ani güç gerektiğinde, aerobik sistem ise uzun atletik aktivitelerde kullanılır (70).

**Tablo 3.** Çeşitli sportif aktiviteler sırasında kullanılan enerji sistemleri (Guyton'dan, 70)

Hemen tümüyle fosfojen sistem	Fosfajen ve LA sistemi	Başlıca glikojen-LA sistemi	Glikojen-LA ve aerobik sistemler	Aerobik sistem
100 m koşu	200 m koşu	400 m koşu	800 m koşu	10.000 m paten
Atlama	Basketbol	100 m yüzme	200 m-400m yüzme	Kır kayağı
Ağırlık kaldırma	Beyzbol koşusu	Tenis	1500 m paten	Maraton (42.2 km)
Dalma	Buz hokeyi yarışı	Futbol	Boks	Jogging
Futbol koşuları			2000 m kürek yarışı 1500 m koşu 1 mil koşu	

#### 4.6.1.1. Oksijen Borcu

Eğer egzersizdeki enerji ihtiyacı oksidatif fosforilasyon ile karşılanmazsa oksijen borcu görülür. Egzersizin tamamlanmasından sonra solunum bu oksijen açığını kapatmak için istirahat düzeyinin üzerinde kalır. Bu dinlenme dönemindeki fazla oksijen tüketimi metabolitlerin düzeyini (kreatin fosfat ve ATP gibi) eski düzeyine getirmek ve glikoliz sonucu oluşan laktatı metabolize etmek için kullanılır. Bu dinlenme dönemindeki artan kardiyak ve respiratuar iş, bu dönemde görünen artmış  $VO_2$  daha da artırarak ödünç alınandan niye daha fazla  $VO_2$ 'ni açıklar (8). Düşük düzeydeki egzersizlerde bile biraz  $O_2$  açığı oluşur. Zira sabit durum ihtiyacını karşılayan ATP üretimini oksidatif metabolizma karşılaşmadan önce yavaş oksidatif motor üniteler kreatin fosfat veya glikolizden gelen önemli miktarda ATP tüketirler.  $O_2$  borcu yaklaşık olarak, egzersiz sırasında tüketilen enerji ile oksidatif metabolizma ile temin edilenin farkına eşittir. Yukarıda da belirtildiği gibi egzersiz sırasında dinlenme döneminde kullanılan  $O_2$  normal hücrel metabolit düzeyini yerine koymak için gerekli enerji ihtiyacını karşılamaktadır (8).



**Şekil 4.** 4 dakikalık maksimal egzersiz sırasında ve egzersizden yaklaşık 1 saat sonra akciğerler yoluyla oksijen alımı (Guyton'dan, 70)

#### 4.6.2. Kaslarda Güç, Kuvvet ve Dayanıklılık Kavramları

Kastaki gücü belirleyen ana unsur kasın büyüklüğüdür. Yüksek oranda kasılma kuvveti kasın enine kesitinin  $\text{cm}^2$ 'si başına 3-4 kg kadar olur. Kas gücüne bir örnek vermek için, dünya standartlarına uygun düzeydeki bir haltercide, Quadriseps kasının enine kesitinin  $150 \text{ cm}^2$  kadar olabileceği söylenebilir. Buna göre, maksimum kontraksiyon kuvveti 525 kg demektir. Bu gücün tamamının patella tendonuna uygulanacağı düşünüldüğünde, bu tendonun yırtılma ya da dizin altından tibiyyaya yapıştığı yerden ayrılma ihtimali çok yüksektir. Ayrıca bir eklemi hareket ettiren tendonda büyük bir kuvvet oluştuğu zaman, eklem yüzeylerine de aynı kuvvetler uygulanmış olur. Bazen de eklem etrafındaki ligamentlere uygulanan kuvvet kartilaj kaymasına, eklem etrafında kompresyon kırıklarına veya ligamentlerin yırtılmasına yol açmaktadır.

Kas gücüne bir dakikada 1 kg ağırlığı 1 m yükseğe çıkarabilen güce denir. 1 kg-m/dk olarak ifade edilir. Kas kontraksiyonun gücü bireyin sahip olduğu kasın belirli bir sürede yaptığı işi göstermektedir (70).

Kasta önemli olan bir diğer faktör dayanıklılık kavramıdır. Bu terim, kasın glikojen beslenme miktarını ifade eder. Yani dayanıklılık, karbonhidrat miktarı yoğun bir diyetle beslenen bireylerde, diğer besinlerle beslenme şekillerine göre daha fazla artış göstermektedir (70).

#### 4.6.3. Atletik Antrenmanın Kaslara ve Kas Performansına Etkisi

Bireylerin belirlenmiş antrenman programı ile kas kuvvetinin %30 oranında artış, aynı zamanda kas kitlesinde de benzer bir artışa sebep olur. Bu duruma kas hipertrofisi denir.

İnsanlarda kasların büyüklüğünü, başta genetik ve testosteron hormonunun salgılanma düzeyi belirlemektedir. Bu hormon sayesinde erkek kası, kadınlarınkinden daha güçlü olur. Ayrıca kasların gelişimi düzenli bir antrenman programı ile %30-60 arttırılabilir. Kas gücü artışı, az miktarda kas liflerinin sayısının artışı ile olurken, büyük oranda artış çaplarının genişlemesi ile mümkün olmaktadır. Karbonhidrattan zengin bir diyetle beslenmede, kasta depo edilmiş glikojen miktarıda aynı oranda yükseliş gösterir. Hipertrofi kas liflerindeki değişikliklerin başlıcaları şunlardır (70):

- Miyofibrillerin sayısı hipertrofi derecesiyle orantılı olarak artar.
- Mitokondri enzimleri % 120'den fazla artabilir.
- ATP ve fosfokreatin dahil fosfajen metabolik sistemin komponentleri % 60-80'e kadar artar.
- Glikojen deposu %50 kadar artar.
- Trigleserid deposu %75-100 oranında çoğalır.

Bütün bu değişiklikler aerobik ve anaerobik metabolik sistemlerin her ikisini de arttırdığı için maksimum oksidasyon hızı ve oksidatif metabolik sistemin etkinliği %45 oranında yükselir.

#### 4.7. Kayak Sporunun Tarihi

Tarihte kayak adına yapılan ilk yarışma Cristina şehrinde 1866 yılında gerçekleşmiştir. Düzenlenen bu yarışmanın yoğun ilgi toplaması üzerine bu kez Oslo'da 1879 yılında bir yarışma daha yapılmıştır.

1877 yılında Norveç'te "Ski Club de Cristina" adıyla literatürde kayıtlı ilk kayak tesisi oluşturulmuştur. Ardından Avusturya, Almanya, Fransa ve İngiltere gibi ülkelerde de çeşitli kayak tesisleri kurularak kayak sporunun gelişmesine olumlu etkide katkı sağlamıştır (1).

Kayak kayma çeşitleri; Alp Kayağı, Cross-Country Kayma, Mukavamet Kayağı ve Dağ Kayağı şeklindedir.

#### **4.7.1. Dağ Kayağı (Tur Kayağı)**

Dağ kayağı; kayak ayakkabısının altına yapıştırılan sentetik fok derisi yardımıyla eğimde yürümei kolaylaştıran ve kayakla ayakkabı bağlantısını topuktan serbest bırakacak şekilde tasarlanmış bir mekanizmaya sahip olan bir kayak türüdür. Dağ kayağı temel kayak eğitimi, derin ve her türlü karda kayma, tamamen pist dışı, istenildiğinde uzun süreli tırmanışların yapılabileceği, şartsız ve bağımsız gerçekleştirilebilen bir doğa sporudur. Ayrıca kış kampçılığı, dayanıklılık, çığ bilgisi, güç ve kondisyon gibi özelliklere sahip olunması ile diğer kayak çeşitlerinden farklılık gösterir. Dağ kayağı diğer adıyla tur kayağı sporu ülkemizde; turizm amaçlı gelen turistlerin dağlarımızda tırmanış yapmalarıyla bilinmeye ve uygulanmaya başlanmıştır (1).

##### **4.7.1.1. Dağ Kayağının Özellikleri**

Bu kayak sporunda geliştirilmiş aparatlar sayesinde sporcu/dağcı hem istediği şekilde tırmanabilmekte hem de kolayca kayak yapabilmektedir. Özgürce yapılan bu kayma tekniği fok derisi adı verilen ve ileriye doğru kaymayı kolaylaştırırken, geriye doğru kayganlılığı azaltarak tutan sentetik bir deri yardımıyla gerçekleşir. Bu amaçla dağ kayaklarının, gerek kayakları, gerekse bağlamaları oldukça farklı yapılmıştır. Dağ kayağında kullanılan parçaları ve bazılarının özelliklerini tanımlamak bu spordaki kayak tekniğinin anlaşılabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Bunlar arasında bağlama, stoper, coll-tex (fok, sentetik deri) ve kayak kramponu sayılabilir.

Bu kayağın en önemli parçalarından biri olan bağlama; kayak ile ayakkabıyı birbirine sabitleyen bir mekanizmadır. Diğer kayak çeşitlerinde de kullanılan bu mekanizmadaki tek fark topuk kısmının isteğe bağlı olarak serbest bırakılmasıdır. Bu durumda topuk hareketli olur ve kayak kaldırılmadan sürtünerek yürüme gerçekleştirilir. Klasik kayaklarda ise bu mekanizma ayakkabıyı burun ve topuktan kilitler ve yürüme daha da zorlaştırır (1).



**Resim 1.** Dağ kayağı ayakkabısının bağlama mekanizması (71)

Coll-Tex (fok, sentetik deri); kayağın altına yapıştırılarak eğimli alanda geri kaymayı önlemek ve yürümeyi kolaylaştırmak amacıyla kullanılan bir malzemedir. Tıpkı fokların derisi sayesinde eğimli buzda yukarı doğru kaymadan çıkması ve aşağı doğru da rahatça inebilmesi gibidir. Bu hareketi sahip oldukları kılların bakış yönüyle gerçekleştirirler.



**Resim 2.** Dağ kayağında kullanılan fok derisinin görünümü (71)

Stoper; bağlamanın atması durumunda, kayağı kişiden uzak tutarak çarpmayı engelleyen ama aynı zamanda da karda kayağın kaybolmasını engellemek amacıyla kullanılan ayak bileğine bağlanan bir bağdır.

Kayak kramponu; eğimli bölgelerde, bağlamanın altında bulunan ve sert karda geri kaymayı engelleyen parçadır. Kayağın kenar çeliklerinin az olduğu zamanlarda veya riskli bölgelerde kullanılabilir (1).

#### 4.7.1.2. Dağ Kayağı ile Tırmanış

Öncelikle deri kayağa takılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta derinin kuru olmasıdır. Eğer deri ıslak ise birgün önceden mutlaka kurutulmalıdır. Tırmanışlar çok dik olmayacak şekilde yapılmalıdır. Dağ ile 15-20 derecelik bir açı olmalıdır. Eğimli bölgelerde gövde öne verilmemeye çalışılmamalıdır. İki elle ve dengeli bir şekilde tutarak tırmanışı gerçekleştirmelidir. Kişi vücut pozisyonunu mümkün olduğunca dik ve dengeli bir şekilde tutarak tırmanışı gerçekleştirmelidir (1).



**Resim 3.** Dağ kayağı yapan sporcuların tırmanış pozisyonu (71)

#### 4.7.1.3. Dağ Kayağı ile Kayma

Tırmanış tamamlandığında deri çıkarılır. Daha çok yamaç kayma tekniği uygulanmalıdır. Dağ kayağı derin ve bol karda yapıldığından kayma esnasında ağırlık topuklara verilir. Burada amaç; kayak burunlarının karda gömülmesini engellemektir. Ayrıca ağırlığın topuklara verilmesi ile dönüşlerde kolaylıkla yapılmaktadır.

#### 4.7.2. Ülkemizde Dağ Kayağı

Türkiye’de dağ kayağı sporu ilk olarak 1986 yılında yapılmaya başlanmıştır. Ülkenin farklı bölgelerinde çeşitli etkinlikler düzenlenmiştir. Erzurum’dan Kars’ın Sarıkamış ilçesine dağ kayaklı yürüyüş, Isparta Davraz’da, Erzincan’da, Fethiye’de ve Muş’taki dağ kayağı eğitimleri ve yapılan çeşitli yarışmalarla dağ kayağı sporu aktif hale gelmeye başlanmıştır. Bu eğitimler ve yarışmalar yoğun istek ve heyecanlarla

sürdürülmektedir. Ayrıca her sene Türkiye Şampiyonası Dağ Kayağı müsabakaları tertip edilmiştir (1).

Bu tez çalışmasını amacı elit dağ kayağı sporcularında sportif kapasiteye ait fizyolojik parametrelerin belirlenmesidir. Hem dağ kayağı sporuyla uğraşmanın fizyolojik parametrelere etkisi hem de Türkiye Dağ Kayağı milli takımı sporcularının bu alandaki uluslararası elit sporcularla kıyasla ne durumda olduğu belirlenmiş olacaktır. Türkiye Kayak Federasyonu'nda lisanslı 15 elit dağ kayakçısının yapmış oldukları sporun vücutlarında oluşan fizyolojik cevabını anlamak amacıyla kardiyopulmoner egzersiz testi uygulanacaktır. Bunun için bisiklet ergometresi kullanılarak;  $VO_{2maks}$ , RER, KH, KHY, spirometrik parametreler (FVC, FEV1 ve MEF) ve anaerobik eşik değeri gibi standart parametrik değerler ile yapılmış benzer çalışmaların literatür kapsamında ki verilerle karşılaştırılacaktır. Buna göre çalışmadaki sporcu verilerinin hem pulmoner hem de kardiyak yönünden literatür değerleriyle olumlu ya da olumsuz açıdan bir paralellik gösterip göstermediğine bakılacaktır. Bu sayede testten elde edilen sonuçlar doğrultusunda, teste tabi tutulacak 15 elit dağ kayakçısının, gelecekteki performansları hakkında ön bilgi edinilerek, sporcular için uygun olacak antrenman yöntemi belirlenebilecektir.

## **5. GEREÇ ve YÖNTEM**

### **5.1. Etik Kurul Onayı**

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulunun 09/07/2018 tarih ve 465 sayılı yazısı ile onaylanmıştır (EK 1).

### **5.2. Çalışmaya Katılan Kişilerin Seçimi**

Çalışmada Erzurum, Erzincan ve Kayseri'den gelen, dağ kayakçılığı (tur kayağı da denen) yapan genç sporcular alındı. Çalışmaya genç sporculardan 4 kişi kadın, 11 kişi erkek olmak üzere toplamda 15 kişi katıldı.

Çalışmada sporcular üzerinde yapılacak KPET uygulaması için bireylerin seçiminde sporcu kişilikleri göz önünde bulunduruldu. Çalışmaya katılan sporculara, çalışmaya başlamadan önce her biri için uygunluk ve onam formu dolduruldu. Böylece herhangi bir risk durumunun olmadığı da belirlenerek çalışmaya katıldılar.

### **5.3. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu**

Çalışmada KPET parametrelerini belirlemek için kardiyopulmoner egzersiz testi uygulandı. Bu test maksimum sınırlarda yapıldığı için bazı güvenlik kriterlerini elimine etmek adına bireylere, kardiyak genetik bir hastalığın olup olmadığı, sigara kullanım durumu, astım vb. kronik rahatsızlıklarının olup olmadığı, düzenli egzersiz yapıp yapmadıkları ve herhangi bir ilaç kullanıp kullanmadıkları ile ilgili soruları içeren bir form doldurulmaları istendi. EK 2'de bu forma yer verilmiştir. Belgeyi imzalayarak risk grubunda olmadığını beyan etmiş olan bireyler egzersiz testine alındı.

### **5.4. Çalışma Dizaynı**

Çalışmaya, sporcuların gönüllü olarak katılım isteklerine bağlı olarak başlandı. Çalışma süresi iki içerisinde tamamlandı. İlk gün sadece 8 erkek sporcudan oluşan grupta çalışma yapılırken, ikinci gün 4'ü kadın, 3'ü erkek olan grupta çalışma yapıldı. İkinci gün yapılan çalışmada ilk olarak kız grubu teste katıldı.

### **5.5. Ölçümler**

#### **5.5.1. Vücut Kitle İndeksi (VKİ)**

Bireyin boy uzunluğunun, kilosunun karesine oranı anlamına gelen VKİ ölçümünde ve yağsız vücut ağırlığının belirlenmesinde Tanita Body Composition

Analyzer TBF-300 (FEED) marka cihaz kullanılarak ölçümler yapıldı. Bu cihazın çalışma yöntemi, elektriğin yüksek su ve elektrolit içeren dokularda daha hızlı yayıldığı esasına dayanmaktadır. Yağsız doku yüksek oranda elektrolit içermesinden dolayı yağlı dokulara göre elektriğe daha az direnç gösterir. 800 mikroamperlik sabit frekansta (genellikle 50 kHz) sabit bir akım elektrotlar arasında geçiş yapar ve elektrotlar arasındaki voltaj, impedans hakkında bilgi verir. Bu sayede vücuttaki yağ ve kas dokusu miktarı ve toplam vücut ağırlığının ne kadar olduğu belirlenir. Testten 12 saat öncesine kadar çay ya da kahve içmemiş olmasına ve mesanenin mümkün olduğunca boş olmasına dikkat edildi. Bireylerin üzerlerindeki bilezik, saat, yüzük gibi metal eşyalar çıkarıldı. Daha sonra bireylerin çıplak ayakla cihaza basarak sabit durmaları istenerek ölçümler yapıldı.

### **5.5.2. Spirometre Testi**

Spirometre ölçümünde, ölçüm yapan ile denek arasında kesinlikle tam bir işbirliğinin olması gereklidir. Ayrıca ölçüm yapanın, ölçümü istek ve şevkle yöneterek deneği maksimal çaba göstermeye sevk etmesi gereklidir. Ölçümün geçerliliği, ölçüm yapanın deneği yapabileceğinin en iyisini yapması için ikna etmesine bağlıdır. Bu genelde deneğin performansının yüksek bir sesle teşvik edilmesi anlamına gelir.

Ölçüm sırasında deneğin hafif elbiseler giymesi tercih edilir. İlk defa ölçüme katılan deneğe metodun basit bir açıklaması yapılmalıdır. Maksimal bir çabanın gerekli olduğu gerçeği belirtilmeli ve bu olmadan sonuçların anlamsız olacağı, deneğin teşhis ve tedavisine yardımcı olmayacağı vurgulanmalıdır. Ölçüm yapan, açıklamadan sonra ve denek test olurken solunum hareketini tekrar eder ise, bu deneği teşvik için en etkili metottur. Denek ile ilgili kişisel bilgiler (cinsiyet, yaş, boy, vb.) spirometreye kayıt edilir.

Denek daha sonra solunum tüpünü bir eline alır ve zorlayarak maksimal bir şekilde, nerede ise patlama noktasına kadar nefes alır. Denek hortumun ağız kısmını dudaklarının arasına alır ve hava kaçağının olmamasına dikkat ederek, aletin içine üfler. Eğer statik vital kapasite ölçülüyorsa zamanın anlamı yoktur ve denek devam edemeyeceği noktaya gelene kadar nefes vermeye devam eder. Zorlamalı ekspirasyon veya dinamik ölçüm yapılıyorsa ekspirasyon başlamadan önce alet üzerindeki kayıt (Record/Return) düğmesine basılmalıdır. Kayıt düğmesi, kayıt taşıyıcıyı harekete

geçirir. Bu anda, deneğin mümkün olduğu kadar çok ve çabuk olarak nefesini dışarıya vermesi için zorlaması gerekir. Bu sırada ölçümü kayıt eden yazı iğnesi maksimum devir hareketine ulaşana kadar deneği el hareketleri ile ve sözlü olarak teşvik etmelidir. Kayıt düğmesinin açılmasıyla, grafik taşıyıcı otomatik olarak başlama pozisyonuna döner ve diğer testler için hazır duruma gelir (72).

Burundan meydana gelebilecek hava kaçışını önlemek için, ölçüm sırasında bir burun mandalı kullanılmalıdır. Dinamik test, maksimum çaba göstererek üç defa tekrar edilmelidir. Aynı grafik üç defa kullanılabilir ve en yüksek değer sonuç olarak kabul edilir. Statik test için bir deneme yeterlidir (72).

Spirometre testleri sırasında “masterscreen” marka (O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>) gaz analizatörü ve Lab Manager 4.0 yazılım programının spirometre modülü kullanıldı. Bireylerden önce birkaç tekrarlı yüzeysel soluk almaları istendi. Daha sonra alabilecekleri maksimum havayı solumaları ve ciğerlerinde hiç hava kalmayacak şekilde hızlı bir biçimde üflemleri istendi. Uyum sağlayamayan bazı bireyler için bu test 2-3 kez tekrarlandı. Spirometre testi istirahat sırasındaki vital kapasite miktarını ve solunum yedeğini belirlemek için yapıldı. Vital kapasite bireyin maksimal inhalasyondan sonra ekspire ettiği maksimal hava miktarıdır. Solunum yedeği ise maksimal istemli ventilasyonun egzersiz sırasındaki ventilasyondan çıkarılması ile elde edilir. Solunum yedeği hesaplanırken genellikle bu değer maksimum ventilasyona oranını yüzde cinsinden ifadesi kullanılır (72).

### **5.5.3. Kardiyopulmoner Egzesiz Testi ve Bisiklet Ergometresi**

KPET sırasında VIA Sprint 150P marka bisiklet modüllü, bilgisayara entegre olabilen QRS-card, 12 derivasyonlu EKG (Cardinal Health, Norristown, ABD), pulse oksimetre, ergospirometre ve gaz analizatörü ile donanımlı Lab Manager 4.0 yazılım programı sistemi kullanıldı. Test sırasında iki dakikada bir tansiyon takibi ergoline marka tansiyon ve ergoline marka tansiyon monitörü ile yapıldı.

Testler iki gün süreyle sabah 10:00 ile öğleden sonra 14:00 arasında yapıldı. Bireylerin sabah kahvaltı yapmış olması ve öğlen yemeği yenmiş olması ve yemekten sonra en az bir saat süre geçmiş olmasına dikkat edildi. Ayrıca çay veya kahve gibi içeceklerden içilmemiş olmasına dikkat edildi.

Gaz maskesi her birey teste başlamadan önce ve test bittikten sonra olacak şekilde dezenfekte edildi. Ayrıca her testten önce gaz analizatörleri atmosfer havası ve karışımı önceden bilinen bir gaz havası ile kalibre edildi. Her birey için 12 derivasyonlu EKG kullanıldı. “Breath-by-breath” yöntemi denilen, her nefeste ölçüm yapan sistemle her 5 sn’de bir kayıt alınarak solunum gaz değerleri takibi yapıldı. Tansiyon ölçümü her iki dakikada bir yapıldı. Yük ilk beş dakikalık ısınma sürecinde 20 watta sabitti. Daha sonra her bir dakikada 15 wattlık artışlar gösteren protokol kullanıldı. EKG ekranı izlenerek ST segmentinde çökme veya yükselme olup olmadığı takip edildi. Saturasyon ölçümünde saturasyonun %95’in altına düşmesi güvenlik sınırı olarak değerlendirildi. Ancak bu sınırın altına düşen denek olmadı.

Bireyin bisikleti dakikada 60 devir olacak şekilde çevirmesi istendi. Yorgunluk oluşana kadar birey bisikleti çevirmeye devam etti. Daha sonra yük alınarak 30 devirde bireyin bisikleti çevirmeye devam etmesi istendi. Bu toparlanma periyodu RER değeri 1.00’in altına düşünceye kadar ve kalp hızı 100 atım/dk’nın altına düşünceye kadar devam etti. Ardından birey testi sonlandırdı. Egzersiz testinin maksimal sayılabilmesi için belli kriterler göz önünde bulunduruldu. Bu kriterler, RER değerinin 1.10’dan büyük olması, bireyin artık testi devam ettiremeyecek durumda olduğunun beyanı ve maksimal oksijen tüketiminin plato noktasına ulaşmış olmasıydı. VO<sub>2</sub>’nin egzersiz yoğunluğu arttırıldığı halde aynı kalması plato noktası olarak belirlendi.

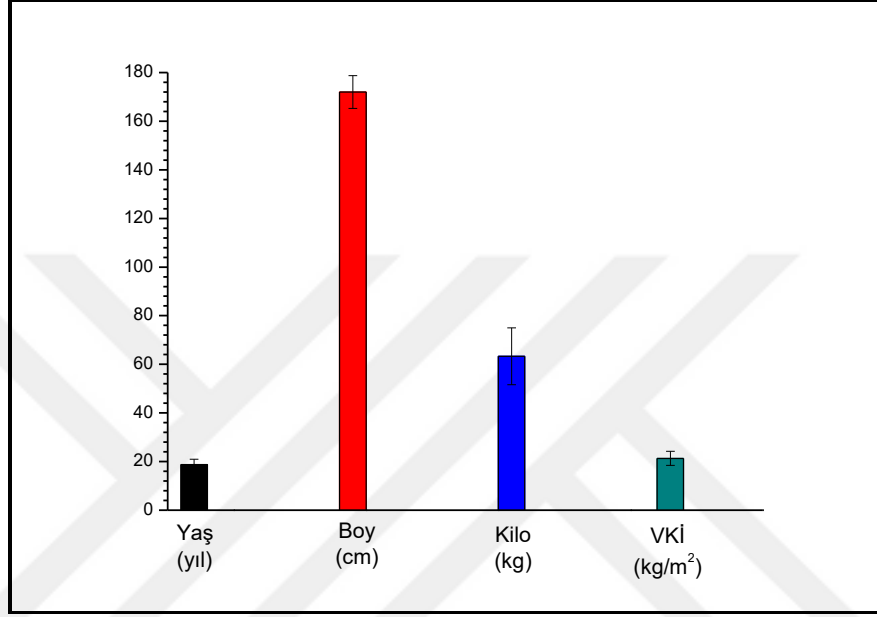
## **5.6. İstatistiksel Analiz**

Bütün istatistiksel analizlerde ORIGIN 8 tanımlayıcı istatistik programı kullanıldı. Karşılaştırma yapılmadı. Tüm veriler n=15 kişilik bir grup için aritmetik ortalama ± standart hata (SEM) olarak verildi.

## 6. BULGULAR

### 6.1. Tanımlayıcı Veriler (Boy, Yaş, Kilo, VKİ)

Bireylerin tanımlayıcı verileri boy, yaş, kilo ve VKİ olarak belirlendi. Bu veriler Şekil 5’te tüm bireylerin hesaplanmış ortalama değerleri olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Elit dağ kayakçılarına ait tanımlayıcı veriler

Çalışmada elit sporcuların yaş, boy, kilo ve VKİ’leri ölçülmüştür. Yapılan çalışmada elit sporcuların sahip oldukları sportif performanslarının tespit edilmesinin hedeflendiğinden, VKİ sadece KPET’i öncesinde bir kere ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre sporcuların VKİ ortalaması  $22.8 \pm 1.2$  kg/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

### 6.2. Maksimal Kardiyak Değerleri

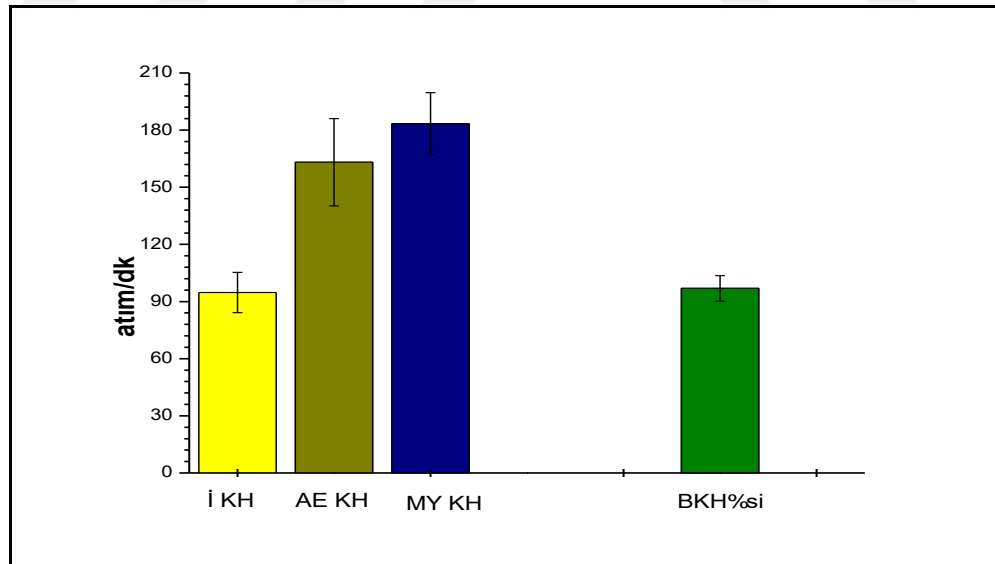
Çalışmaya katılan elit dağcıların tüm bireyler için ortalama fizyolojik kapasite parametreleri Tablo 4’de ayrıntılı olarak vermiştir. Bu değerler, anaerobik eşikte (AT), maksimum iş yükünde ve test sırasında bireylerin ulaştıkları yüzde maksimum seviyelerinde belirlenerek hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Elit dağ kayakçıları arasında egzersizle ilgili fizyolojik kapasite parametreleri

	AT (Vslope)	Maksimum	% Maksimum beklenen
Kalp hızı	163±22	183±16	96.9±6.7
VO <sub>2</sub>	42.4±9.3	57.2±10.9	128±20
VE (L)	77±22	118.5±27	106±15
Yük (Watt)	175±50	230±56	104±19

Çalışmada sporcuların, ortalama kalp hızları, sportif performanslarının en iyi göstergelerinden biri olan VO<sub>2maks</sub>'larının ortalama değerleri, dakika ventilasyonları ve uygulanan yük miktarlarının ortalama değerleri yukarıdaki tabloda gösterildiği gibidir. Bulunan bu değerler bireyler arasında herhangi bir karşılaştırmaya gidilmeden sadece tanımlayıcı veriler olarak değerlendirilmiştir (n=15).

Çalışmaya katılan tüm bireylerin test başlangıcında, anaerobik eşikte, maksimum yükte ve bireylerden bekleneni gerçekleştirme yüzdelerinin maksimum seviyesindeki ortalama kalp hızları Şekil 6'da gösterilmiştir.



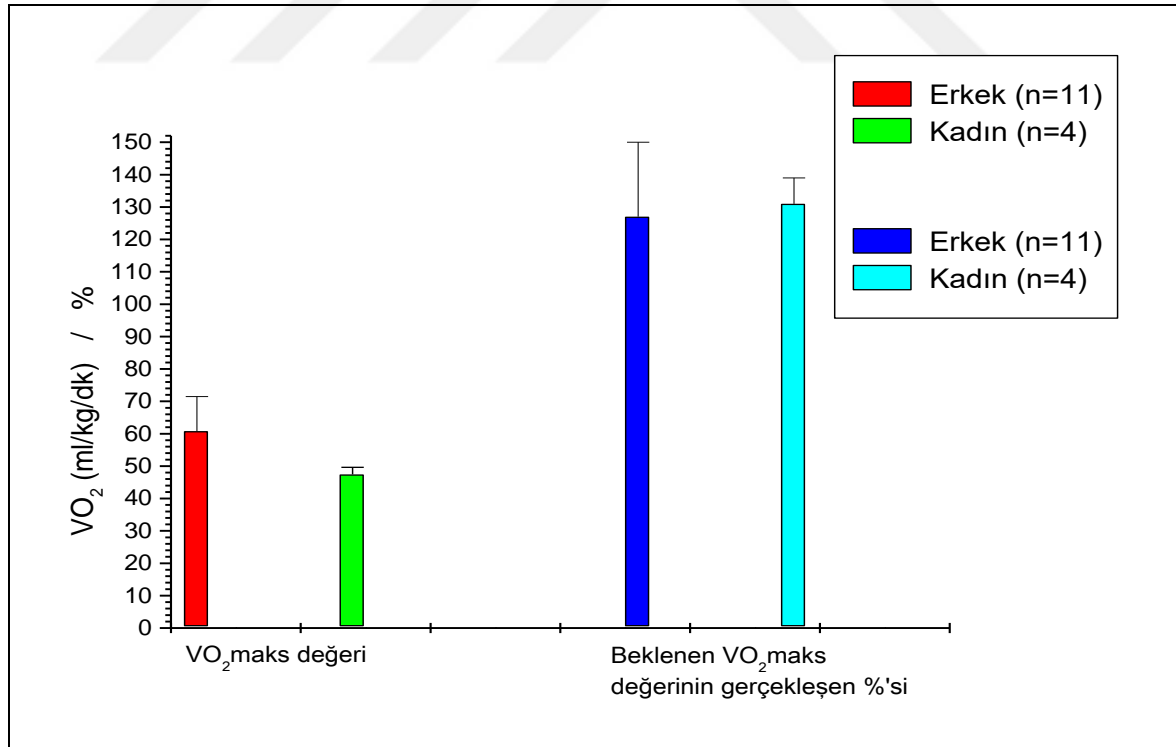
**Şekil 6.** Elit dağ kayakçılarının kalp hızı değerleri

(İKH: Test başlangıcındaki kalp hızı; AEKH: Anaerobik eşikteki kalp hızı; MYKH: Maksimal yük esnasındaki kalp hızı; BKH%si: Beklenen kalp hızı değerinin gerçekleşen yüzdesi)

Maksimum iş yükü seviyesinde (kişi yorulmadan bırakmadan hemen önce) kalp hızı değerleri erkekler için  $190.9 \pm 8.92$  (n=11) kadın dağ kayakçıları için ise  $177.1 \pm 10.81$  (n=4) olarak tespit edildi. Hedeflenen kalp hızı değerlerinin yüzdesi bakımından erkekler için  $\%97.6 \pm 7.3$  (n=11) kadınlar için ise  $\%95 \pm 4.7$  (n=4) olarak belirlendi. Maksimal egzersiz düzeyinde kalp hızı yedeği erkekler için  $5.90 \pm 8.60$  atım/dk; kadınlar için ise  $14.3 \pm 7.50$  atım/dk olarak gerçekleşti.

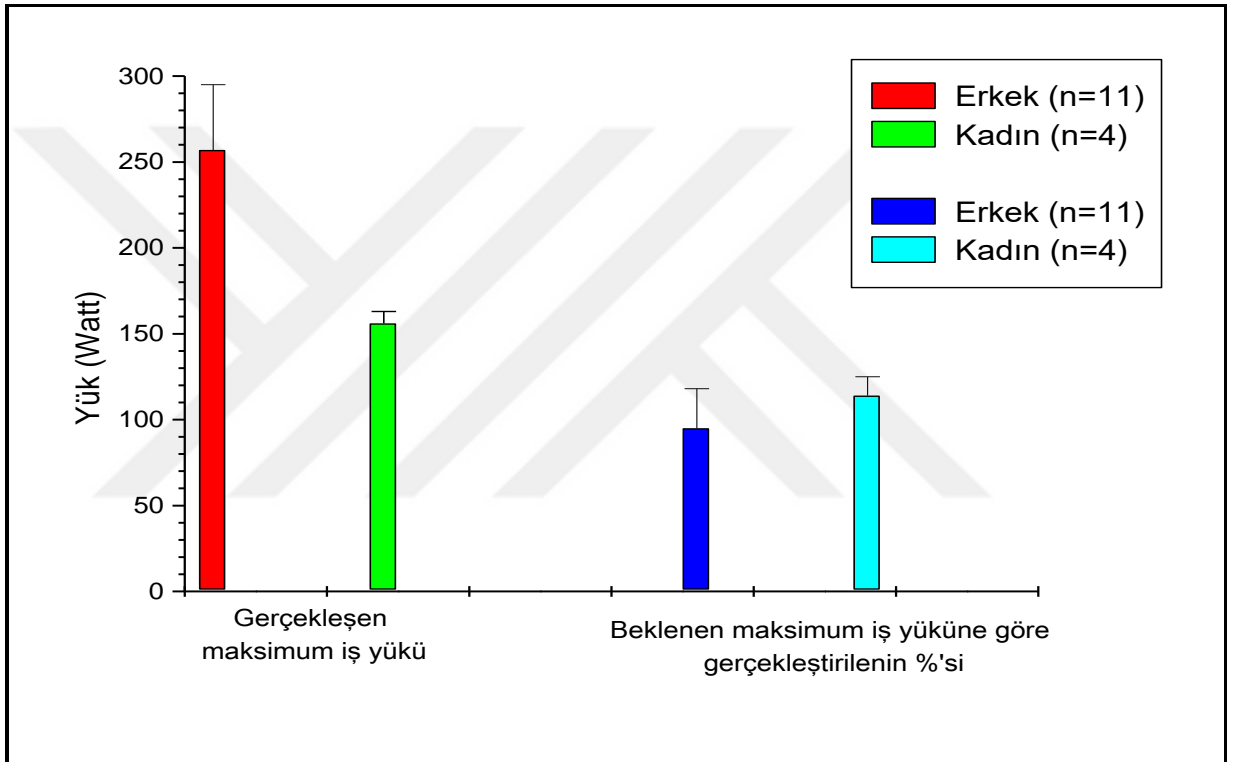
Araştırmaya katılan elit dağ kayağı sporcularının KPET esnasında  $VO_{2\text{maks}}$  verileri hem erkek hem de kadın sporcular için ortalama değer olarak hesaplanmış olup elde edilen bulgular Şekil 7’de gösterilmiştir.

Ölçülen  $VO_{2\text{maks}}$  erkek sporcular için  $60.81 \pm 10.64$  mL/kg/dk (n=11) kadın sporcular için  $47.42 \pm 2.20$  mL/kg/dk (n=4) olarak tespit edildi. Beklenen değerlerin yüzdesi bakımından ise erkekler için  $\%127 \pm 23$ , kadın sporcular için ise  $\%131 \pm 8$  olarak belirlendi.



Şekil 7. Elit dağ kayakçılarının maksimum oksijen kullanım verileri

Çalışmaya elit dağ kayağı sporcularının KPET esnasında şiddeti giderek artan yüke karşı yapılan egzersiz protokolünde ölçülen maksimum iş yükü verilerinin erkek ve kadın sporcular için ortalama değerleri Şekil 8’de belirtilmiştir. Buna göre ulaşılan maksimal egzersiz iş kapasitesi ortalaması erkek dağ kayakçıları için  $257.27 \pm 37.77$  watt, kadın dağ kayakçıları için ise  $156.25 \pm 6.29$  watt olarak belirlendi. Maksimal iş yükü bakımından erkek sporcular kendilerinden beklenenin  $\%95.27 \pm 22.58$ 'ini, kadın sporcular ise  $\%113.5 \pm 11.09$ 'unu gerçekleştirdi.



Şekil 8. Elit dağ kayakçılarının maksimum iş yükü verileri

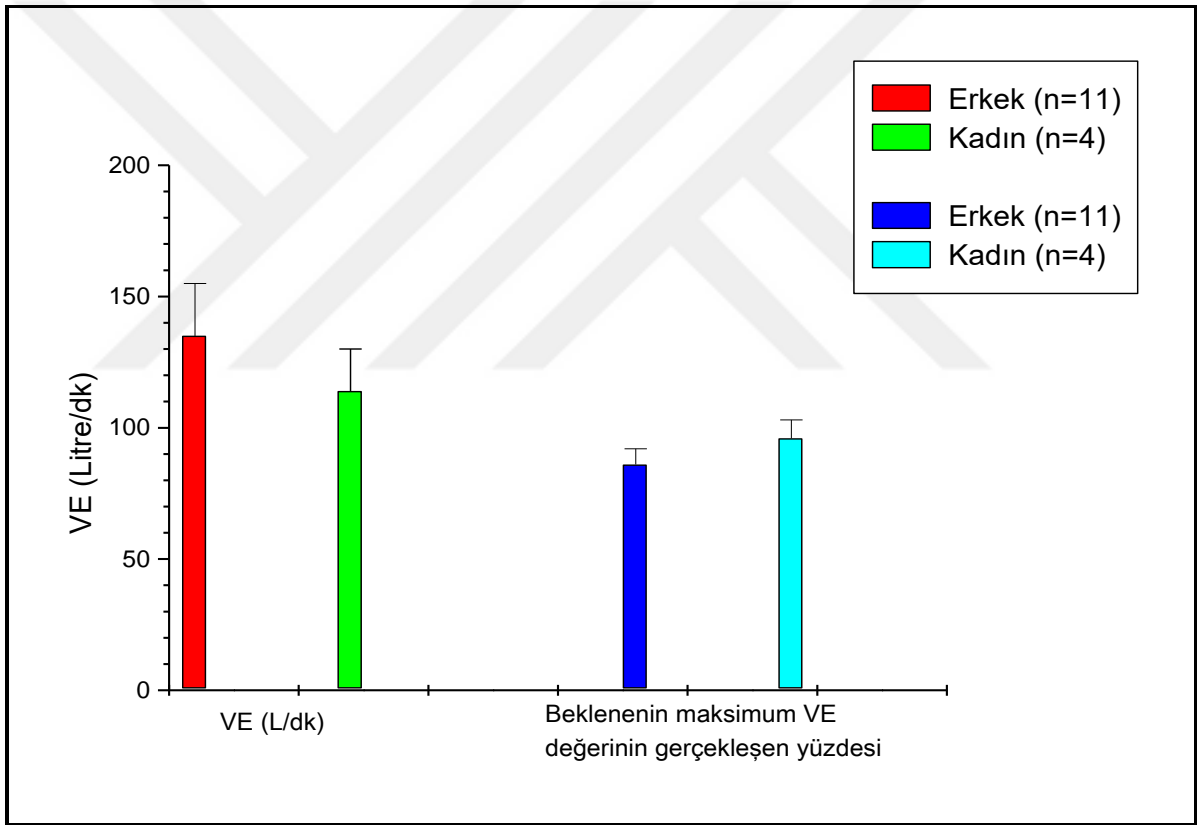
### 6.3. Pulmoner Fonksiyon Değerleri

#### 6.3.1. FVC, FEV1, FEV1/%FVC ve MEF(25,50,75,75/25)

Yapılan çalışmada solunum parametreleri olarak zorlu vital kapasite (FVC), zorlu ekspirasyonunun 1. saniyesinde atılan volüm (FEV1), FEV1/%FEVC ve maksimum ekspiratuar akım ( $MEF_{25,50,75,75/25}$ ) kriterleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular bireyler arasında karşılaştırmalı olarak değil, yine tanımlayıcı parametre olarak kullanılmıştır. Elit sporcuların ortalama FVC değeri  $4.70 \pm 1.05$ , FEV1 değeri  $4.19 \pm 0.82$ ,

FEV1/%FEVC değeri  $89.58 \pm 8.46$ , MEF<sub>25</sub> değeri  $3.26 \pm 1.03$ , MEF<sub>50</sub> değeri  $5.20 \pm 1.48$ , MEF<sub>75</sub> değeri  $6.88 \pm 1.62$  ve MEF<sub>75/25</sub> değeri  $4.76 \pm 1.30$  olarak ölçülmüştür.

Çalışma grubundaki elit sporcuların VE kapasiteleri hem erkek hem de kadın elit kayakçılar için mutlak VE ve beklenenin maksimum VE değerinin yüzdesi olarak Şekil 9'da ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir. Araştırma grubundaki dağ kayakçılarından; erkek sporculara ait ortalama VE değeri  $135.36 \pm 20.02$  L; kadınlara ait VE değeri ise  $113.90 \pm 15.62$  L olarak tespit edildi. Elde edilen bu değerler demografik özelliklerine göre sporculardan beklenen değerlerin erkekler için  $\%85.6 \pm 6.16$  kadınlar için ise  $\%95.75 \pm 6.75$  düzeyinde gerçekleşti.



Şekil 9. Elit dağ kayakçılarının dakika ventilasyon kapasitesi verileri

## 7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dağ kayağı, uluslararası yarış için kabul edilen parkurun mesafesi ( $\cong 20$  km) dikkate alındığında fiziksel olarak performans gerektiren bir aktivitedir (73). Bu sportif aktivitenin yüksek rakımlarda ( $>1800$  m) gerçekleştirilmesi fiziksel kapasite bakımından ilave gereksinim doğurur (74). Bu tanımlayıcı araştırmada Türkiye’de gelişmekte olan bu spor alanındaki elit sporcuların egzersiz ile alakalı fizyolojik parametreleri ölçülerek, alandaki uluslararası sporcular için rapor edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Egzersiz esnasında kasılan kaslara besin ve oksijen ihtiyacı arttığında ve oluşturdukları metabolik atık ve ısı yükseldiğinde kardiyovasküler sistem bu duruma kalp debisini artırarak cevap verir. Egzersiz başlamadan veya metabolik ihtiyaç doğmadan önce kalp hızının arttığı da bir gerçek olup; bu durum egzersize otonom sinir sistemi aracılığı ile hazırlık olarak kabul edilir. İstirahatte kalp hızı ve egzersize cevaben kalp hızı artış profili kişinin antrenman durumu ve kardiyovasküler sağlık durumuna ilave olarak kısa vadede kardiyovasküler sebeplerden ölüm riski (özellikle koroner arter hastalığı olanlarda) hakkında bilgi verir (75). Belli bir düzeye kadar, kalp hızı egzersiz şiddeti ile paralel bir şekilde artış gösterir. Egzersize cevaben kalp debisinde artış, kişinin maksimum kalp hızı değerinin (220-yaş formülüne göre hesaplanan) %50-60’ına kadar hem kalp hızında yükseliş (bu değer 110-120 atım/dk civarında kabul edilebilir) hem de vurum hacminde artışın katkısı ile gerçekleşir (76). Bu seviyenin üzerindeki egzersiz şiddetinde ise kalp hızındaki artış tamamen kalp hızındaki artışla sağlanır. Kalp hızındaki yükseliş diyastolik doluş evresini sekteye uğratacağından belli değerden sonra (genelde 180 atım/dk sonra) vurum hacminde ve dolayısıyla kalp debisinde platoya ulaşmaya hatta düşmeye yol açar. Egzersiz esnasında kalp hızındaki maksimum artış kişinin yaş ve cinsiyetine bağlıdır (77).

Bu tez protokolünde de kullanılan KPET esnasında iş yükündeki artışa yani egzersiz şiddetindeki artışa paralel olarak kalp hızı yükselir ve kişi yorulma seviyesine yakın (testte yükün alındığı safha) kalp hızı zirve yapar. Elde edilen bu değer ile kişinin yaşı dikkate alınarak hesaplanan hedef kalp hızı arasındaki fark kalp hızı yedeği olarak bilinir. Normalde maksimal egzersiz esnasında beklenen kalp hızı değerinin %80’ine ulaşılır. Kalp hızı hedefinin  $>80$  düzeyinde düşük kalp yedeği durumu ortaya çıkar.

Bu durum kişinin egzersiz şiddetini artırmaya kalp bakımından müsait olmadığını ifade eder. Normal kardiyak fonksiyona sahip sağlıklı ve antrenmanlı bireyler  $>80\%$  değerine ve normal  $VO_{2maks}$  değerlerinde ulaşır. Sağlıklı olmayan ve iyi derecede antrene olmamış bireyler düşük  $VO_{2maks}$  değeri sahiptirler.

Bu araştırmada maksimum kalp hızı değerleri erkekler için  $190.9 \pm 8.92$  (n=11) kadın dağ kayakçıları için ise  $177.1 \pm 10.81$  (n=4) olarak tespit edildi. Hedeflenen kalp hızı değerlerinin yüzdesi bakımından erkekler için  $97.6 \pm 7.3$  (n=11) kadınlar için ise  $95 \pm 4.7$  (n=4) olarak belirlendi. Maksimal egzersiz düzeyinde kalp hızı yedeği erkekler için  $5.90 \pm 8.60$  atım/dk; kadınlar için ise  $14.3 \pm 7.50$  atım/dk olarak gerçekleşti. Elit erkek dağ kayakçılarında gerçekleştirilen bir araştırmada; maksimum kalp hızı  $175 \pm 10$  atım/dk; yaş dikkate alınarak hedeflenen kalp hızı değerlerinin yüzdesi bakımından ise  $87 \pm 0.2$  olarak bildirilmiştir (78). Yine elit dağ kayakçılarının maksimum egzersizi hedeflenen kalp hızının  $93.4 \pm 1.8$  ile gerçekleştirdiği bildirilmiştir (73, 79). Dünyadan elit dağ kayağı sporcularına ait verilerle bu tez çalışmasına konu olan Türk sporcular kıyaslandığında maksimum egzersize maksimum kalp hızı artışı cevabı ve kalp hızı yedeği bakımından benzer cevap verdiği tespit edilmiştir. Bu durum da bu sporcuların hem spor öyküleri hem de kalp sağlığı yarışma kapasitesi bakımından uluslararası rakiplerinden farklı olmadığını ortaya koymaktadır. Bu araştırmada veri elde edilen sporcuların ilgili literatürde yer alan sporculardan daha genç olduğu da dikkate alınmalıdır.

$VO_{2maks}$  aerobik kapasiteyi belirlemede en güvenilir ve önemli parametredir. Yüksek aerobik kapasite dağ kayağı gibi dayanıklılık gerektiren sporlar için önemli bir gerekliliktir. Dünya çapında ölçülen rekor değerleri 18 yaşında bir erkek bisikletçi olan Oskar Svendsen için  $97.5$  mL/kg/dk; Norveçli kros kayakçı Espen Harald Bjerke  $96$  mL/kg/dk ile onu takip ederken kadınlarda maraton koşucusu Joan Benoit  $78.6$  mL/kg/dk ve kayakçı Bente Skari  $76.6$  mL/kg/dk değerleri ile dünyada zirvede yer alanlar arasında kayıtlı sporculardır. Aralarında elit ve amatör sporcuların da yer aldığı Alman, İsviçreli ve İtalyan dağ kayakçılarında ölçüm ve yarış performans değerleri kullanarak kestirme yöntemiyle elde edilen  $VO_{2maks}$  değerleri erkekler için  $61.1 \pm 13.8$  mL/kg/dk (n=877) kadın atletler için ise  $55.4 \pm 12.5$  mL/kg/dk (n=144) olarak bildirilmiştir. Aynı araştırmada bu değerler bu sporcu grup için beklenen  $VO_2$  değerlerinin yüzdesi bakımından erkekler için  $161.1 \pm 46$  (n=877) kadın atletler için ise

%155±37 (n=144) olarak bildirilmiştir (80). Bu değerlerle karşılaştırıldığında ölçülen  $VO_{2maks}$  erkek sporcular için ( $VO_{2maks}$ : 60.81±10.64 mL/kg/dk) karşılaştırılabilir düzeyde olmakla birlikte kadın sporcular için ( $VO_{2maks}$ : 47.42±2.20 mL/kg/dk) kısmen düşük seviyededir. Ancak, kız sporcuların sayısının düşük olduğu da dikkate alınmalıdır. Beklenen değerlerin yüzdesi bakımından ise Türk sporcularının gerçekleştirdiği değer hem erkek (%127±23) hem de kadın sporcular için (%131±8) daha düşüktü.

Anaerobik eşikteki  $VO_2$  değeri erkek sporcular için 51.1±11.3 mL/kg/dk (n=877), kadın sporcular için ise 45.4±10.2 mL/kg/dk (n=144) olarak rapor edilirken aynı değerler mevcut tez araştırma grubunu teşkil eden Türk sporcular için sırasıyla 44.9±9.2 mL/kg/dk (n=11) ve 30.6±9.6 mL/kg/dk (n=4). Bu tez çalışması ile incelenen Türk sporcuların ortalama yaşının (erkek: 18.73±2.33 (n=11); kadın: 19.00±1.83 (n=4)) karşılaştırılan bu gruptan daha genç olduğunu da dikkate almak gerekir (80). Yine 2009 yılında İtalya adına uluslararası bir yarışta yer alan 9 elit erkek dağ kayakçısında (ortalama yaş: 37±8 yıl) gerçekleştirilen fizyolojik kapasite ölçümlerinde  $VO_{2maks}$  68.18±6.11 mL/kg/dk (n=9) (78).

İtalya kökenli 9 elit dağ kayakçısında gerçekleştirilen bir araştırmada (7 erkek 2 kadın)  $VO_{2maks}$  değeri 69.3±7.4 olarak tespit edilmiştir (81). Bu tez çalışması ile Türk dağ kayakçılarında ölçülen değerler dünya çapında bu spor için rapor edilen değerlere yakın olmakla birlikte; yarış esnasındaki rakım dikkate alındığında; >1500 metre üzerindeki her 100 m koşusunda aerobik kapasitenin ortam hipoksisi nedeniyle %1 düşüş göstereceği (3000 m seviyelerinde aerobik kapasitenin yaklaşık 15 düşeceği) dikkate alınmalıdır (82). Elit dağcılarda yapılan incelemede  $VO_{2maks}$  değerinin 60 mL/kg/dk civarında olduğu tespit edilmiştir (83).

Kalbin her bir vuruşu ile kalpten çıkan kan miktarına (vurum hacmi) isabet eden oksijen tüketimi miktarına “oksijen nabızı” denir. Basit olarak oksijen alımının kalp hızına bölünmesi ile hesaplanabilir. Oksijen nabızı vurum hacminin indirek bir belirteci olarak kullanılabilir (84). Oksijen nabızı maksimal aerobik kapasitenin bir belirtecidir.

Kardiyopulmoner egzersiz testinde maksimal eforun sonunda gerçekleşen “oksijen nabızı” kardiyak output ile direk orantılıdır. Sağlıklı bireylerde maksimum egzersiz esnasında 10-15 mL/atım civarında olan bu değer geniş vücut yapısına sahip elit

atletlerde 30 mL/atım düzeylerine kadar çıkabilir. Yani bu değer ne kadar yüksek ise kişinin o derecede iyi atletik kapasiteye sahip olduğunu ve antrenmanlı olduğunu yansıtır. Oksijen nabızı erkek sporcular için (n=11) testin ısınma safhasında  $7.23 \pm 1.9$  mL/atım, anaerobik eşikte  $17.12 \pm 2.4$  mL/atım, maksimum iş yükü seviyesinde  $20.75 \pm 3.4$  mL/dk olarak tespit edildi; kadın dağ kayakçıları için ise testin ısınma safhasında  $5.83 \pm 1.0$  mL/atım, anaerobik eşikte  $11.38 \pm 4.5$  mL/atım (n=4), maksimum iş yükü seviyesinde  $14.92 \pm 2.4$  mL/dk olarak tespit edildi. Bu değerler sporcu gruplarının demografik özelliklerine göre kendilerinden beklenen yüzdesi olarak ifade edildiğinde erkekler için  $\%143 \pm 22$ , kadınlar için ise  $\%140 \pm 16$ 'sı olarak tespit edildi. Dağ kayakçılarında rapor edilen test verileri arasında oksijen nabız değeri yer almadığından direk karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak kros kayağı yapan elit sporcularda (8 erkek, 8 kadın sporcu) oksijen nabızı erkekler için submaksimal egzersiz esnasında  $18.5 \pm 3.4$  mL/atım (n=8), maksimum egzersiz esnasında ise  $24.0 \pm 4.0$  mL/atım (n=8); kadın sporcular için ise submaksimal egzersiz esnasında  $11.3 \pm 1.4$  mL/atım (n=8), maksimum egzersiz esnasında ise  $15.3 \pm 2.1$  mL/atım (n=8) olarak bildirilmiştir (85). Bu değerler dikkate alındığında test edilen sporcuların oksijen nabız verileri de iyi derecede kabul edilebilir.

VE dakikada ekshale edilen gaz miktarı olup; tidal volüm ile dakikadaki solunum sayısının çarpımı sonucu elde edilir. İstirahat değeri 5-6 L/dk olup, maksimal egzersiz esnasında erkeklerde 180 L kadınlarda ise 130 L civarına kadar çıkabilir.

Dokuz elit dağ kayakçısında (5 erkek, 4 kadın) yapılan bir araştırmada VE pik değeri  $137 \pm 26$  L olarak tespit edilmiştir (79). Yine elit dağ kayakçılarında gerçekleştirilen bir araştırmada maksimal ventilasyonun  $131 \pm 12$  L olduğu rapor edilmiştir (78). Araştırmaya konu dağ kayakçılarından erkek sporculara ait ortalama VE değeri  $135.36 \pm 20.02$  L; kadınlara ait VE değeri ise  $113.90 \pm 15.62$  L olarak tespit edildi. Elde edilen bu değerler demografik özelliklerine göre sporculardan beklenen değerlerin erkekler için  $\%85.6 \pm 6.16$  kadınlar için ise  $\%95.75 \pm 6.75$  düzeyinde gerçekleşti. Bu veriler de çalışma grubunda yer alan sporcuların dakika ventilasyonu bakımından beklenen düzeyde olduklarını göstermektedir.

KPET esnasında şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz protokolünde ulaşılan maksimal egzersiz iş kapasitesi ortalaması erkek dağ

kayakçılarında  $257.27 \pm 37.77$  watt, kadın dağ kayakçılarında ise  $156.25 \pm 6.29$  watt olarak belirlendi. Maksimal iş yükü bakımından erkek sporcular kendilerinden beklenenin  $\%95.27 \pm 22.58$  kadın sporcular ise  $\%113.5 \pm 11.09$ 'unu gerçekleştirdi. Bu bulgular dağ kayağı sporcularının egzersiz kapasitesi bakımından oldukça iyi düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmada yer alan sporcu grup VKİ bakımından hem sporcu değerleri hem de uluslararası verilerle uyumlu değerlere sahipti. Elit dağ kayakçılarında ait verilerde VKİ ( $\text{kg/m}^2$ )  $22.8 \pm 1.2$  olarak ölçüldü.

Bu araştırmanın en önemli kısıtlılığı denek sayısının (özellikle kadın sporcular bakımından) düşük olmasıdır. İlgili dönemde bu sporla ilgilenen ve milli takım için düşünülen bütün sporcularda ölçüm yapılmıştır. Ayrıca, ölçümler oda sıcaklığında ve laboratuvar koşullarında yapılmıştır; bu spor yarışlarının gerçekleştirildiği doğa koşullarında ölçüm yapılmamıştır. Ayrıca, test esnasında istirahat kalp hızı yüksek ölçülen sporcuların test ile alakalı heyecanlı başladıkları bir başka kısıtlılıktır. Toplam fizyolojik zirve ölçümlerini anlamlı derecede etkilemesi beklenmeyen bu verilerin; ilgili sporcuların istirahat nabız değerleri bakımından sporcu ve antrenman öyküsünü kuşkululu hale getirmekle birlikte bu sporculara ait zorlu egzersiz seviyelerinde elde edilen değerler ( $\text{VO}_{2\text{maks}}$  ve egzersiz iş yükü, kalp yedeği kullanımı vb.) bu sporcuların dünya standartlarına yakın olduğunu ortaya koymaktadır. Daha yüksek sayıda sporcuda ve bu sporun yapıldığı rakım koşullarında test yapılması hatta gerçek pist ortamında ve yarış esnasında giyilebilir teknoloji ile gaz analizi ve kalp verilerini alabilen teknoloji mevcuttur) bu ölçümlerin alınması en ideal test koşulu olacaktır.

Bu araştırmanın sonuçları Türk Dağ Kayağı takımındaki elit sporcuların alanlarındaki sporculara ait egzersizle alakalı fizyolojik verileri ortaya koymaktadır. Bu ölçüm sayesinde ilgili sporcular için alanda uluslararası verilerle kıyas yapmak mümkün olmuştur. Aynı zamanda antrenör ve yöneticiler için somut veriler ortaya koyan bu araştırmanın bu alanda yarışmacı olmak isteyen sporcular için de bir kriter ortaya koyma potansiyeli vardır.

## 8. KAYNAKLAR

1. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kayak>.Yazan: Yıldırım SEÇMEN, TDF Eğitmeni. [Erişim tarihi 20 Mart 2018]
2. Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines on perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery (2008). ACC/AHA 2007 guidelines on on perioperavite cardiovascular evaluation and car efor noncardiac surgery: executive summary: a report of the American Collage of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Anesth Analg* (106)3: 685-712.
3. <http://www.slideshare.net/gazicoach/sporda-performas-testleri>. [Erişim tarihi 12 Nisan 2018]
4. Montero D, Díaz-Cañesto C (2015). Endurance training and maximal oxygen consumption with ageing: Role of maximal cardiac output and oxygen extraction *Eur J Prev Cardiol* 2(7): 733-743.
5. Tamer K (2000). Sporda fiziksel-fizyolojik performansın ölçülmesi ve değerlendirilmesi. İkinci baskı. Bağırğan Yayınevi, Ankara; 9.
6. Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA (2008). *Fizyoloji*. 5th ed. Çeviren: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği, Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., Ankara, 223-242.
7. Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA (2008). *Fizyoloji*. 5th ed. Çeviren: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği, Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., Ankara, 445-520.
8. 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.
9. Agostani P, Vignati C, Gentile P, Boiti C, Farina S, Salvioni E, Mapelli M, Magri D, Paolillo Ş, Corrieri N, Sinagra G, Cattadori G (2017). Reference values for peak exercise cardiac output in healthy individuals. *Chest* 151(6): 1329-1337.

10. Mancia G, de Backer G, Dominiczak A (2007). Guidelines for the management of arterial hypertension: the task force for the Management of Arterial Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 28(12): 1462-1536.
11. Gielen S, Schuler G, Adams V (2010). Cardiovascular effects of exercise training: Molecular mechanisms. *Circ* 122: 1221-1238.
12. Carpio-Rivera E, Moncada-Jiménez J, Salazar-Rajas W, Solera-Herrera A (2016). Acute effects of exercise on blood pressure; a meta-analytic investigation. *Arq Bras Cardiol* 106(5): 422-433.
13. Beck KL, Thomson JS, Swift RJ, Von Hurst PR (2015). Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *J Sports Med* 6: 259-267.
14. Vanderlei FM, de Albuquerque MC, de Almeida AC, Machado AF, Netto JJ, Pastre CM (2017). Post-exercise recovery of biological, clinical and metabolic variables after different temperatures and durations of cold water immersion: a randomized clinical trial. *J Sports Med Physiol Fitness* doi: 10.23736/S0022-4707/17/06841-4.
15. Bassett DR, Howley ET (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32(1): 70-84.
16. Bouchard C, An P, Rice T, Skinner JS, Wilmore JH, Gagnon J, Perusse L, Leon AS, Rao DC (1999). Familial aggregation for  $VO_{2max}$  response to exercise training: results from the heritage family study. *J Appl Physiol* 87: 1003-1008.
17. Hendrickson NR, Sharp MA, Alemany JA (2010). Combined resistance and endurance training physical capacity and performance on tactical occupational tasks. *Eur J Appl Physiol* 109(6): 1197-1208.
18. Hootman JM, Macera CA, Ainsworth BE, Martin M, Addy CL, Blair SN (2001). Association among physical activity level, cardiorespiratory fitness and risk of musculoskeletal injury. *Am J Epidemiol* 154(3): 251-258.
19. Carvolha Sovza Vieira M, Boing L, Leitão G, Coutinho de Azevedo Goimaraes A (2018). Effect of physical exercise on the cardiorespiratory fitness of men: A systematic review and meta-analysis doi: 10.1016/j.maturitas/2018/06/006.

20. Xiang L, Hester RL, Granger DN (2016). Cardiovascular responses to exercise: Colloquium series on integrated systems physiology: From molecule to function. 2nd ed. Morgan & Claypool Publishers Life Sciences. 122.
21. Wingate S (1991). Acute effects of exercise on the cardiovascular system. *J Cardiovasc Nurs* 5(4): 27-38.
22. Laughlin MH (1999). Cardiovascular response to exercise. *Am J Physiol* Dec 277(6): 244-259.
23. Wilson MR, Webb A, Wylie LJ, Vine SJ (2018). The quiet eye is sensitive to exercise-induced physiological stress. *Prog Brain Res* 240: 35-52.
24. Rivera-Brown AM, Frontera WR (2012). Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training. *PMR* Nov 4(11): 797-804.
25. Williams, JW, Nobrega, AC, Winchester PK, Zim S, Mitchell JH (1995). Instantaneous heart rate increase with dynamic exercise: central command and muscle-heart reflex contributions. *J Appl Physiol* 78(4): 1273.
26. 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.
27. Arkinstall M, Dawson T, Johnson C, Sinclair P, Zahra M (2010). Macmillan VCE Physical Education. MacMillan Education., Australia, 122-145.
28. Sathyaprabha TN, Pradhan C, Rashmi G, Thennarasu K, Raju TR (2008). Noninvasive cardiac output measurement by transthoracic electrical bio impedance: influence of age and gender. *J Clin Monit Comput* 22(6): 401-408.
29. Sundstedt M, Hedberg P, Jonason T, Ringqvist I, Brodin LA, Henriksen E (2004). Left ventricular volumes during exercise in endurance athletes assessed by contrast echocardiography. *Acta Physiol Scand* 182(1): 45-51.
30. Guyton AC, Hall JE (2007). *Tıbbi Fizyoloji*. 11rd ed. Çeviren: Çavuşoğlu H, Yeğen BÇ, Aydın Z, Alican İ., Nobel Tıp Kitabevleri., İstanbul, 235-250.

31. Barcroft H, Swan HJC (1953). Sympathetic control of human blood vessels. Arnold, London; 165-218.
32. McArdle WD, Katch VL (2010). Exercise physiology: nutrition, energy and human performance. 8rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 295-360.
33. Astrand PO, Rodhal K (1986). Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. 3rd ed. McGraw-Hill doi:10.2310/6640.2004.00030
34. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Sietsema KE, Sun XG, Whipp BJ (2012). Principles of exercise testing and interpretation. 5th ed. Wolters Kluwer., US, 88-213.
35. Miyamura M (1994). Control of ventilation during exercise in man with special reference to the feature at the onset. J Physiol 44(2): 123-139.
36. Bell HJ (2006). Respiratory control of exercise onset: an integrated systems perspective. Resp Physiol Neuro 152(1): 1-15.
37. Milani RV, Lavic CJ, Mehra MR, Ventura HO (2006). Understanding the basics of cardiopulmonary exercise testing. Mayo Clin Proc Dec 81(12): 1603-1611.
38. Albovaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DS (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. Postgrad Med J Now 83(985): 675-682.
39. Ranković G, Mutavdžić V, Toskić D, Preljević A, Kocić M, Nedin-Ranković G, Damjanović N (2010). Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports. Bosn J Basic Med Sci 10(1): 44-48.
40. Sevinc C (2012). Kardiyopulmoner egzersiz testlerinin kullanım alanları ve temel parametreler. (Ed: Saryal S, Ulubay G). Solunum Fonksiyon Testleri. Toraks Kitapları 16: 329-335.
41. Mottram C (2009). Cardiopulmonary exercise testing. In: Gregg L. Ruppel, MEd, RRT, RPFT, FAARC edition. Manual of pulmonary function testing. 9rd ed. Mosby Elsevier 185-237.
42. Ceylan E (2014). Kardiyopulmoner egzersiz testleri. JCEI 5(3): 504-509.

43. American Thoracic Society, American College of Chest Physicians (2003). ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Medicine* 167(2): 211-277.
44. Luks AM, Glenny RW, Robertson HT (2013). Introduction to cardiopulmonary exercise testing. NY: Springer., New York, 6-10.
45. American Collage of Sports Medicine (2013). ACSM's health-related physiol fitness assessment manual. 4rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 111-135.
46. Yıldız SA (2012). İstanbul Üniversitesi. İstanbul Tıp Fakültesi. Spor Hekimliği AD. *Solunum Dergisi* 44(2): 1-8.
47. Ilmarinen J (1992). Job design for the aged with regard to decline in their maximal aerobic capacity. *Int J Ind Ergon* 10: 53-77.
48. Manley AF (1996) Physical Activity and Health: A report of the surgeon general. Chapter 3: Physiologic responses and long-term adaptations to exercise. Diane Publishing., USA; 61-80.
49. Singer D, Schunck O, Bach F, Kuhn HJ (1995). Size effects on metabolic rate in cell, tissue, and body calorimetry. *Thermochim Acta* 251: 227-240.
50. Joyner MJ, Casey DP (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiol Rev* 95(2): 549-601.
51. Morgan DW, Martin PE, Krahenbuhl GS (1989). Factors affecting running economy. *Sports Med* 7(5): 310-330.
52. Daniels JT (1985). Aphysiologist's view of running economy. *Med Sci Sport Exer* 7(3): 332-338.
53. Volkov NI, Kornienko TG, Tambovtseva RV (2014). Rates of breathing values and kinetics of respiration in critical patterns of muscular activity in midlle and long distance running. *Human Physiol* 40(5): 542-547.
54. Plowman SA, Smith DL (2013). Exercise physiology for health fitness and performance. 4rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 665-667.

55. Schmidt- Nielsen, Knut (1997). Hayvan Fizyolojisi. Cambridge University Press., İngiltere; 171.
56. Myers JN (1996). Essentials of cardiopulmonary exercise testing. 10rd ed. Human Kinetics Publishing., Australia; 1-36.
57. McArdle WD, Katch FI and Katch VL (2000). Essentials of exercise physiology: 2rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 240-255.
58. Jonathan M, Euan A (1997). A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. Chest 111: 787-795.
59. Günay M, Tamer K, Cicioğlu İ (2006). Spor fizyolojisi ve performans ölçümü: Enerji metabolizması, solunum sistemi ve egzersiz. Gazi Kitabevi., Ankara; 39-181.
60. Hermansen L, Osnes J.B (1972). Blood and muscle pH after maximal exercise in man. J Appl Physiol 32(3): 304-308.
61. Hill AV (1932). The revolution in muscle physiology. Physiol Rev 12(1): 56-67.
62. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35(2): 236-243.
63. Vailler JM, Bigard AX, Carré F, Eclache JP, Mercier J (2000). Determination of lactic and ventilatory thresholds. Sci Sport 15(3): 133-140.
64. Wasserman K, Zhang YY, Gitt A, Beardinelli R, Koike A, Lubarsky L (1997). Lung function and exercise gas exchange in chronic heart failure. Circ J 96: 2221- 2227.
65. Kano H, Koike A, Hoshimoto-Iwamoto M, Nagayama O, Sakurada K, Suzuki T, Wasserman K (2012). Abnormal end-tidal  $P_{O_2}$  and  $P_{CO_2}$  at the anaerobic threshold correlate well with impaired exercise gas exchange in patients with left ventricular dysfunction. Circ J 76(1): 79-87.
66. Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP, Torres-Durán PV, Romero-Gonzalez J (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.

67. Powers SK, Howley ET (1997). Exercise physiology. Theory and Application to fitness and performance. 3rd ed. WI: Brown & Benchmark., Madison; 231-250.
68. Widmaier EP, Raff H, Strang KT (2014). Vander insan fizyolojisi ve vücut fonksiyon mekanizmaları. 13rd ed. Çeviren: Tuncay Özgüven. Güneş Tıp Kitabevleri., İstanbul; 418-480.
69. Gray JS (1950). Pulmonary ventilation and its physiological regulation. The control of pulmonary ventilation in physiological hyperpnea. Can Med Assoc J 27(20): 133–136.
70. Guyton AC, Hall JE (2007). Tıbbi Fizyoloji. Çeviren: Çavuşoğlu H, Yeğen BÇ, Aydın Z, Alican İ. Nobel Tıp Kitabevleri., İstanbul; 968-973.
71. [http:// www.sporcity.com tr.](http://www.sporcity.com.tr) [Erişim tarihi 17 Nisan 2018].
72. Tamer K (2000). Sporda fiziksel- fizyolojik performansın ölçülmesi ve değerlendirilmesi. İkinci baskı. Bağırğan Yayınevi., Ankara; 74-75.
73. Duc S, Cassirame J, Durand F (2011). Physiology of ski mountaineering racing. J Sports Med 32(11): 856-863.
74. Burtscher M, Gatterer H, Kleinsasser A (2015). Cardiorespiratory fitness of high altitude mountaineers: The underestimated prerequisite. High Alt Med Biol 16: 169–170.
75. Kiviniemi AM, Lepojärvi S, Kenttä TV, Juntila MJ, Perkiömäki JS, Piira OP, Ukkola O, Hautala AJ, Tulppo MP, Huikuri HV (2015). Exercise capacity and heart rate responses to exercise as predictors of short-term outcome among patients with stable coronary artery disease. Am J Cardiol 116(10): 1495-1501.
76. Astrand PO, Cuddy TE, Saltin B, Stenberg J (1964). Cardiac output during submaximal and maximal work. J Appl Physiol 19: 268–274.
77. Sheffield LT, Maloof JA, Sawyer JA, Roitman D (1978). Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. Circ 57: 79–84.

78. Schenk K, Faulhaber M, Gatterer H, Burtscher M, Ferrari M (2011). Ski mountaineering competition: Fit for it? *Clin J Sport Med* 21(2): 114-118.
79. Cassirame J, Tordi N, Fabre N, Duc S, Durand F, Mourot L (2015). Heart rate variability to assess ventilator threshold in ski-mountaineering. *Eur J Sport Sci* 15(7): 615-622.
80. Burtscher J, Gatterer H, Faulhaber M, Burtscher M (2017). Exercise capacity of amateur mountain runners and ski mountaineers. *High Alt Med Biol* 18(4): 436-437.
81. Fornasiero A, Savoldelli A, Boccia G, Zignoli A, Bortolan L, Pellegrini FS (2018). Physiological factors associated with ski-mountaineering vertical race performance. *Sport Sci Health* 14 (1): 97–104.
82. Burtscher M (2004). Endurance performance of the elderly mountaineer: requirements, limitations, testing, and training. *Wiener Klinische Wochenschrift* 116: 703–714.
83. Oelz O, Howald H, Di Prampero PE, Hoppeler H, Claassen H, Jenni R, Bühlmann A, Ferretti G, Brückner JC, Veicsteinas A (1986). Physiological profile of world-class high-altitude climbers. *J Appl Physiol* 60: 1734-1742.
84. Cohen-Solal A, Barnier P, Pessione F (1997). Comparison of the long term prognostic value of peak exercise oxygen pulse and peak oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *Heart* 78: 572–576.
85. Hegge AM, Myhre K, Welde B, Holmberg HC, Sandbakk Ø (2015). Are gender differences in upper-body power generated by elite Cross-Country Skiers augmented by increasing the intensity of exercise?. *10(5): 127-509.*

## 9. EKLER

### 9.1. Ek 1. Etik Kurul Onayı



T.C.  
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
KTÜ TIP FAKÜLTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL  
BAŞKANLIĞI

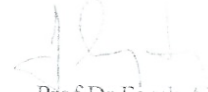
Sayı : 24237859- 465  
Konu: Etik Kurul onay belgesi

09/07/2018

Sayın; Prof. Dr. Ahmet AYAR  
Fizyoloji ABD.

“Elit Dağ Kayakçılarının Sportif Kapasitelerine Ait Fizyolojik Parametrelerin Kardiyopulmoner Egzersiz Testiyle İncelenmesi” başlıklı etik kurul 2018/164 protokol numaralı tez çalışma önerisi raportör ve etik kurul görüşleri doğrultusunda; tıbbi etik açıdan uygun olduğuna karar verilmiştir.

Bilginizi ve gereğini rica ederim.

  
Prof.Dr.Faruk AYDIN  
Etik kurul Başkanı

Ek: 1 adet onay belgesi

KTÜ TIP FAKÜLTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	"Elit Dağ Kayakçılarının Sportif Kapasitelerine Ait Fizyolojik Parametrelerin Kardiyopulmoner Egzersiz Testiyle İncelenmesi"		
	ARAŞTIRMANIN PROTOKOL/PLAN KODU	2018 / 164		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI ÜNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Ahmet AYAR		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Fizyoloji		
	TEZ SAHİBİ/DİĞER ARAŞTIRICILAR, ÜNVANI/ADI/SOYADI	Yük.Lis.Öğr.Kübra DÜĞENCİ		
	DESTEKLEYİCİ			
	ARAŞTIRMANIN NİTELİĞİ			
	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	TEZ <input checked="" type="checkbox"/>	AKADEMİK AMAÇLI <input type="checkbox"/>	
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input type="checkbox"/>

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
		ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI		
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama		
	TÜRKİYE EĞİTİM ÖRNEĞİ	<input type="checkbox"/>		
	SİGORTA	<input type="checkbox"/>		
	ARAŞTIRMA BÜÇÇESİ	<input type="checkbox"/>		
	FİZYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	<input type="checkbox"/>		
	İLAN	<input type="checkbox"/>		
	YILLIK BİLDİRİM	<input type="checkbox"/>		
	SONUÇ RAPORU	<input type="checkbox"/>		
GÜVENLİK BİLDİRİMLERİ	<input type="checkbox"/>			
DİĞER	<input type="checkbox"/>			

## 9.2. Ek 2. Egzersiz Testi Uygunluk ve Onam Formu

### BILGI & ONAMI FORMU

Adı, Soyadı: \_\_\_\_\_ Cep Telefonu: \_\_\_\_\_

Adresi: \_\_\_\_\_ Evi telefon): \_\_\_\_\_ 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 etona elverişliliğin, atakali parametreleri sporitif fiziksel performansım ve etona zorlama şartlarında sağlık durumum hakkında bilgi elde edileceği bu tesin sağlık riski taşımadığı, testi esnasında istediğim her an testi kendi isteğimle sonlandırabileceğim ve meyva testi gerçekleştiren Fizyoloji Uzmanı tarafından gerekli görüldüğü takdirde testi sonlandırmaya isteğine uymam gerektiği bana anlatıldı ve kendi isteğimle bu tesle katılımı kabul ediyorum.

Egzersiz stres testine girmeden önce lütfen bu formu doldurarak imzalayınız		
GENEL SAĞLIĞINIZLA İLGİLİ		
	Evet (E) Hayır (H)	SİZİNLE İLGİLİ
1- Herhangi bir sağlık personeli tarafından fiziksel egzersiz yapmanızı tavsiye edildi mi?		Sigara içiyor musunuz?
2- Fiziksel egzersiz yapmaktan 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- Bayılma, 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?		Düzensiz egzersiz yapar mısınız?
7- Şu anda herhangi bir ilaçlı tedavi alıyor musunuz?		Kendi temponuza belirlerseniz, durmadan ne kadar mesafe koşabilirsiniz?
<small>8- Hamile misiniz? Veya çok yakında doğum yapınız mı? BAYANLARA</small>		

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

Teste Katılan Kişinin Adı Soyadı (Kendi El Yazısıyla): \_\_\_\_\_  
İmzası ve Tarihi: .....

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: Ahmet AYAR, Prof. Dr.  
İmza & Tarih

(Acil durumlarda) İrtibat Bilgisi: 0462 377 7707 (İş) 0 533 761 99 70 (GSM)

## 10. ÖZGEÇMİŞ

**Soyadı, Adı** : DÜĞENCİ, Kübra  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum tarihi ve yeri** : 09.06.1990/ Bandırma  
**Medeni hali** : Bekar  
**E-Posta** : kubradugenci.61@gmail.com

### EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
<b>Yüksek Lisans</b>	: Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı	2019
<b>Lisans</b>	: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü	2014
<b>Lise</b>	: Karacabey Lisesi	2009

**YABANCI DİL** İngilizce