

**EGZERSİZ SIRASINDA ANAEROBİK EŞİK VE
SOLUNUM KOMPANZASYON
PARAMETRELERİNİN AKCİĞER GAZ
DEĞİŞİM PERFORMANSLARI ÜZERİNE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FETHİ AHMET UĞUR

2016

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez Yüksek Lisans Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR

Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı



Tez tarafımızdan okunmuş, kapsam ve kalite yönünden Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK



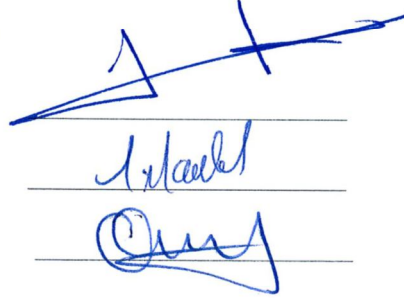
Danışman

Yüksek Lisans Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR

Doç. Dr. Süleyman SANDAL

Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde bilgisi ve temiz kişiliğiyle büyük katkıları olan, her daim yardımını ve desteklerini gördüğüm değerli danışman hocam Biyofizik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK'e hasleten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimimde katkılarını esirgemeyen Biyofizik Anabilim Dalı öğretim üyeleri Doç. Dr. Mete ÖZCAN'a, Yrd. Doç. Dr. İhsan SERHATLIOĞLU'na, Fizyoloji Anabilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Haluk KELEŞTİMUR'a,, Prof. Dr. Sinan CANPOLAT'a, Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. Emine KAÇAR'a, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ahmet AYAR'a; Yeditepe Üniversitesi Fizyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Bayram YILMAZ'a, Uzman Dr. Sermin ALGÜL'e, Arş. Gör. Ahmet YARDIMCI'ya, Arş. Gör. Nazife ÜLKER'e ve Arş. Gör. Zübeyde ERCAN'a ayrı ayrı teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
ONAY SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	ix
1. ÖZET	xi
2. ABSTRACT	xiii
3. GİRİŞ	1
3.1. Aerobik Fitnes Ölçümünde Kullanılan Parametreler	3
3.1.1. Maksimal O ₂ Alımı (VO ₂ max)	3
3.1.2. Anaerobik Eşik	6
3.1.3. Solunum Kompanzasyon Noktası	10
3.2. Egzersiz Solunum İlişkisi	12
4. GEREÇ VE YÖNTEM	17
4.1. Denekler	17
4.1.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri	17
4.1.2. Deneklerin Teste Katılabilme Kriterleri	17
4.2. Respiratuvar ve Metabolik Ölçümler	19
4.2.1. Gaz Değişim Ölçümleri	19
4.2.2. Solunum Ölçümleri	20
4.3. Egzersiz Test Protokolü	20
4.3.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yük Egzersiz Testi (Yükleme Testi veya Rapid Incremental Exercise Test)	21
4.3.2. Sabit Yük Egzersiz Testleri (Constant Load Exercise Test)	22
4.3.2.1. Sabit Yük Egzersiz Test Protokolleri	23
4.4. AE Ölçümü	25
4.5. Solunum Kompanzasyon Noktası Ölçümü	26

5. BULGULAR	28
5.1. Deneklerin Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Verdiği Cevaplar	28
5.1.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde VO_2 Cevabı	29
5.1.2. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde Kalp Atım Hızının Verdiği Cevaplar	31
5.1.3. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde Solunum Parametreleri	33
5.1.4. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevapları	34
5.2. Sabit Yük Egzersiz Testleri	35
5.2.1. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde V_E , SS ve V_T Cevapları	35
5.2.2. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde VO_2 ve VCO_2 Cevapları	39
5.2.3. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 Cevapları	42
5.2.4. Sabit Yük Egzersiz Testleri ile Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testlerindeki En Düşük V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 Değerlerinin Karşılaştırılması	47
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
6.1. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testinin Cevapları	50
6.2. Sabit Yük Egzersiz Testlerinin Cevapları	52
6.3. Yapılması gereken çalışmalar	55
7. KAYNAKLAR	56
8. ÖZGEÇMİŞ	62

TABLO LİSTESİ

- Tablo 4.1:** Deneklerin yaşı (yıl), boyu (cm), vücut ağırlığı (kg) ve vücut kitle indeksleri 18
- Tablo 5.1:** Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin istirahat (W_0), ısınma (W_{20}), anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{AE< \%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}), solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) ve maksimal egzersizdeki (W_{max}) kalp atımları (HR), dakika solunum (V_E), solunum frekansı (BF), O_2 alımı (VO_2), CO_2 atılımı (VCO_2), O_2 alım / solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 atılım / solunum eşitliği (V_E/VCO_2), tidal volüm (V_T) ve iş gücü değerleri (WR) ortalama ($\pm SH$) olarak değerleri ($n=11$). 29
- Tablo 5.2:** Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin istirahat (W_0), ısınma (W_{20}), anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{AE< \%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}), solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) ve maksimal egzersizdeki (W_{max}) kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım değerleri (VO_2/kg) ortalamaları ($\pm SH$). 30
- Tablo 5.3:** Deneklerin anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{<AE \%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VO_2 ve VCO_2 cevaplarının ortalama ($\pm SH$) değerleri ($n=11$). 40
- Tablo 5.4:** Sabit yük egzersiz testinin anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{AE< \%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktasındaki (W_{SKN}) kilogram vücut ağırlığı başına maksimal O_2 alım değerleri (VO_2/kg) ortalamaları ($\pm SH$). 41
- Tablo 5.5:** Deneklerin anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{<AE \%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testlerindeki solunum oksijen eşitliği (V_E/VO_2) ve solunum karbondioksit eşitliği (V_E/VCO_2) ortalama ($\pm SH$) değerleri ($n=11$). 42
- Tablo 5.6:** Sabit yük egzersiz testlerinin $W_{<AE \%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} iş gücündeki en düşük V_E/VO_2 değerleri ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin W_{AE} iş gücündeki en düşük V_E/VO_2 değerlerinin ortalamaları ($\pm SH$) ($n=11$). 48
- Tablo 5.7:** Sabit yük egzersiz testlerinin $W_{<AE \%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} iş gücündeki en düşük V_E/VCO_2 değerleri ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin W_{AE} iş gücündeki en düşük V_E/VCO_2 değerlerinin ortalamaları ($\pm SH$) ($n=11$). 49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1.	Wasserman'ın dişli çarkları: Egzersiz sırasında organ ve sistemlerin çalışmalarının özeti	2
Şekil 3.2:	Sağlıklı bir bireyde O ₂ alımının (VO ₂) üç tane sabit yük egzersiz testi ve bir tane şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde verdiği cevaplar	4
Şekil 3.3:	Anaerobik eşik hesaplanmasında kullanılan parametrik değerler.	9
Şekil 3.4:	Normal genç bireyde bisiklet egzersiz testi sırasında arteriyel kandaki değerlerin dengeli artışını gösteren test	11
Şekil 4.1:	Egzersiz testi sırasında deneklere takılan 12'li göğüs elektrotlarının bağlantılarının yerleşim düzeni.	19
Şekil 4.2:	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi.	21
Şekil 4.3:	Bu çalışmada uygulanan örnek bir sabit yük egzersiz testi	23
Şekil 4.4:	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denekte (denek no 1) solunum ile artan iş gücü arasındaki ilişki	25
Şekil 4.5:	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denekte (denek no 3) VCO ₂ ile VO ₂ arasındaki ilişki.	26
Şekil 5.1:	Örnek bir deneğin (denek 3) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında O ₂ alım ile artan iş gücü arasındaki ilişki.	31
Şekil 5.2:	Örnek bir deneğin (denek 4) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde kalp atım hızı ile iş gücü arasındaki ilişki	32
Şekil 5.3:	Örnek bir denekte (denek 4) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde VE-İş Gücü arasındaki ilişki	33
Şekil 5.4:	Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde dakikadaki ortalama (±SH) VE değerleri.	36
Şekil 5.5:	Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde ortalama (±SH) solunum sayısı değerleri.	37
Şekil 5.6:	Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VT değerleri. Yuvarlak içi boş daireler W<AE%25 , içi gri yuvarlak daireler WAE , içi siyah yuvarlak daireler WSKN iş gücündeki VT değerini	38
Şekil 5.7:	Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VE/VO ₂ değerleri. Yuvarlak içi boş daireler	

W<AE%25 , içi gri yuvarlak daireler WAE , içi siyah yuvarlak daireler
WSKN iş gücündeki VE/VO2 değeri 44

şekil 5.8: Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki
sabit yük egzersiz testinde VE/VCO2 değerleri. Yuvarlak içi boş daireler
W<AE%25, içi gri yuvarlak daireler WAE, içi siyah yuvarlak daireler
WSKN iş gücündeki VE/VCO2 değeri 46

KISALTMALAR

AE	: Anaerobik eşik
SKN	: Solunum kompensasyon noktası
W_{max}	: Maksimal egzersiz
VO_2	: Oksijen hacmi
VCO_2	: Karbondioksit hacmi
V_E	: Dakikada aldığı solunum
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
O_2	: Oksijen
CO_2	: Karbondioksit
VO_{2max}	: Maksimal oksijen alımı
$F_I O_2$: İspirasyon O_2 miktarı,
$F_E O_2$: Ekspirasyon O_2 miktarı,
Q_T	: Kardiyak output,
CaO_2, C_vO_2	: Arteryel ve miks venöz kanın O_2 kontentleri,
DO_2	: Difüzyon kapasitesi,
PcO_2	: Ortalama kapiller parsiyel O_2 basıncı,
$PmitO_2$: Mitokondride ortalama parsiyel O_2 basıncı
VKİ	: Vücut kitle indeksi
KPET	: Kardiyopulmoner egzersiz testi
$\Delta VO_2/\Delta WR$: Oksijen değişiminin iş gücüne oranı
V_E/VO_2	: Solunum O_2 alım eşitliği
V_E/VCO_2	: Solunum CO_2 atım eşitliği
VCO_2/VO_2	: Egzersiz sırasında tüketilen O_2 ile üretilen CO_2 ilişkisi
$PETO_2$: Tidal sonu parsiyel oksijen basıncı
$PETCO_2$: Tidal sonu parsiyel karbondioksit basıncı
İTD	: İzokapnik tamponlanma dönemi
W_0	: İstirahat dönemi iş gücü
W_{20}	: Isınma dönemi iş gücü
$W_{\%25 < AE}$: Anaerobik eşğin %25 altına denk gelecek olan iş gücü
W_{AE}	: Anaerobik eşikteki iş gücü

W_{SKN}	: Solunum kompensasyon noktasındaki iş gücü
W_{max}	: Maksimal iş gücü
HR	: Kalp atımı
SS	: Solunum sayısı
V_T	: Tidal Volüm
WR	: İş gücü
VO₂/kg	: Kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{0/kg}	: İstirahatte kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{20/kg}	: Isınma döneminde kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{%25<AE/kg}	: Anerobik eşğin %25 altındaki iş gücünde kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{AE/kg}	: Anaerobik eşikdeki iş gücünde kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{SKN/kg}	: Solunum kompanzasyon noktasındaki iş gücünde kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
W_{max/kg}	: Maksimal iş gücünde kilogram vücut ağırlığı başına O ₂ alım miktarı
MET	: Egzersiz esnasındaki enerji sarf etme oranını yansıtan metabolik eşdeğer
R	: Lineer regresyon analizi

1.ÖZET

Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi aerobik fitness değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Aerobik-anaerobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan anaerobik eşik (AE) ve egzersiz hiperventilasyonun başladığı nokta olan solunum kompanzasyon noktası (SKN) bireylerin solunum (V_E), O_2 alımı (VO_2) ve CO_2 atılımı (VCO_2) gibi sistem fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan iki önemli kriterdir. Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 arasındaki ilişki ventilasyon, perfüzyon ve solunumun etkinliği ile ilgili önemli prognostik bilgi sağlamaktadır. Bu çalışmada optimal solunum etkinliğini belirlemek için artan yüke karşı yapılan egzersiz testleri ve sabit yük egzersiz testleri arasındaki V_E ile VO_2 ve V_E ile VCO_2 arasındaki ilişki karşılaştırmalı olarak incelendi. Toplam 11 erkek denek elektromanyetik bisiklet ergometre ile artan yükse karşı yapılan egzersiz testine (15 Wdk) katılarak AE, SKN ve maksimal egzersiz kapasiteleri belirlendi. Bundan sonra her denek iş gücü AE nin %25 altı ($W_{<25AE}$), AE de (W_{AE}) ve SKN'de olmak üzere 3 tane sabit yük egzersiz testine katıldılar. Egzersiz sırasında solunum ve gaz değişim parametreleri solunumdan solunuma gaz analizörü ile ölçüldü. AE V-slope metodu ile ölçüldü. Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında en düşük V_E/VO_2 (26.2 ± 0.9) ve V_E/VCO_2 (25.7 ± 0.8) değerleri AE de bulundu. Buna karşılık sabit yük egzersiz testlerinde V_E/VO_2 değerleri 26.4 ± 0.7 ($W_{<25AE}$) 29.1 ± 0.9 (W_{AE}) 30.8 ± 1.2 (W_{SKN}) ve V_E/VCO_2 değerleri 27.3 ± 0.5 ($W_{<25AE}$) 29.2 ± 0.8 (W_{AE}) 31.8 ± 1.2 (W_{SKN}) sistematik olarak yüksek bulundular. Fakat sabit yük testlerinin ilk 4 dakikası içinde en düşük V_E/VO_2 (21.5 ± 0.7 , 23.3 ± 0.9 ve 22.2 ± 1.0) ve V_E/VCO_2 (25.1 ± 0.5 , 25.0 ± 0.5 ve 25.4 ± 0.7) değerleri artan yüke

karşı yapılan test ile benzer bulundular. Sonuç olarak V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 maksimal efor sarf edilmeden kolaylıkla sabit yük egzersiz testi ile de ölçülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik Eşik, Solunum Kompanzasyon Noktası, Aerobik Fitness, Egzersiz Testi

2.ABSTRACT

Determination of the Effects of Anaerobic Threshold and Respiratory Compensation Point Parameters on Pulmonary Gas Exchange Dynamics During Exercise

The incremental exercise test is widely used in the determination of aerobic fitness levels. Anaerobic threshold (AT), which describes the metabolic transition point from aerobic to anaerobic and respiratory compensation point (RCP, which describes the onset of exercise hyperventilation) are two important criteria's used to evaluate subjects systems functions, including ventilation (V_E), O_2 uptake (VO_2) and CO_2 output (VCO_2). The relationships between V_E/VO_2 and V_E/VCO_2 during an incremental exercise test provide prognostic values regarding ventilation, perfusion relationship and ventilatory efficiency. In the present study, we comparatively examined the relationships between V_E , VO_2 and V_E , VCO_2 during an incremental exercise and also constant load exercise test regarding the obtain optimal ventilatory efficiency. Total of 11 male subjects performed an incremental exercise test (15 W/min) using an electromagnetically braked cycle ergometer to obtain AT, RCP and maximal exercise capacity. Then, each subjects performed 3 constant load exercise test: work load corresponded to 25% below AT ($W_{<25AT}$), at the AT (W_{AT}) and at the RCP (W_{RCP}). During exercise, ventilatory and pulmonary gas exchange variables measured breath-by-breath using metabolic gas analyser. AT estimated using V-slope method. During an incremental exercise, the relationships between V_E/VO_2 (26.2 ± 0.9) and V_E/VCO_2 (25.7 ± 0.8) are found to be lowest at the AT. In constant load exercise tests, V_E/VO_2 26.4 ± 0.7 ($W_{<25AT}$) 29.1 ± 0.9 (W_{AT}) 30.8 ± 1.2 (W_{RCP}) and V_E/VCO_2 were found to be systematically higher 27.3 ± 0.5 ($W_{<25AT}$) 29.2 ± 0.8 (W_{AT}) 31.8 ± 1.2

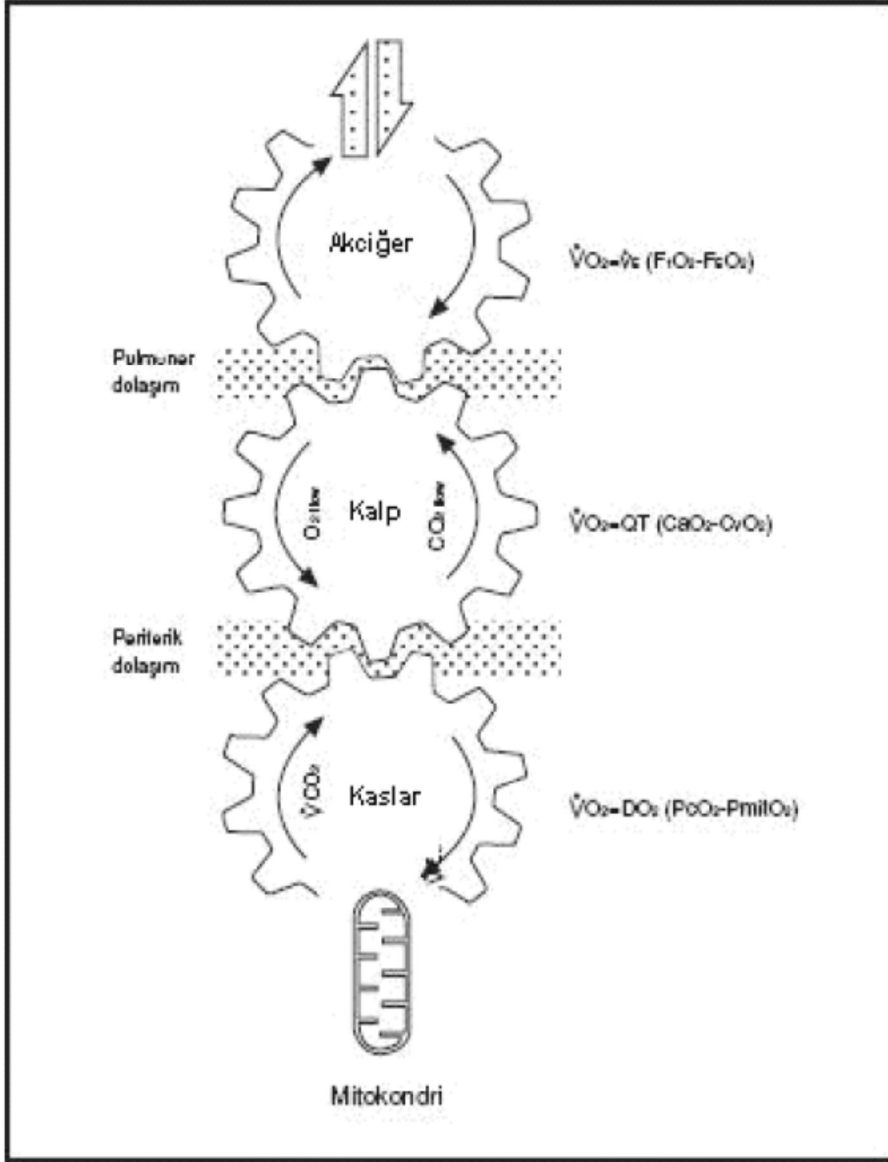
(W_{RCP}). However, the lowest values of V_E/VO_2 (21.5 ± 0.7 , 23.3 ± 0.9 and 22.2 ± 1.0) and V_E/VCO_2 (25.1 ± 0.5 , 25.0 ± 0.5 and 25.4 ± 0.7) observed in first 4 minutes of constant load exercise test were similar with the observed in incremental exercise test. As a result, we have found that lowest values of V_E/VCO_2 and V_E/VO_2 can be obtained easily in constant load exercise test without reaching maximal effort.

Key words: Anaerobic Threshold, Respiratory Compensation Point, Aerobic Fitness, Exercise Test

3. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütüne (WHO) göre sağlık kavramı sadece hastalık ve sakatlık durumunu değil o bireyin bedeni, ruhi ve sosyal yönden tam bir iyilik halini yansıtmaktadır (1). Sağlık seviyesinin düşük, normal yoksa yüksek mi olduğunun belirlenmesi günümüz dünyasında klinik ve spor bilimleri uzmanlarının üzerinde çalıştığı konuların başında gelmektedir. Sağlık kavramının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir terim olan "Aerobik Fitnes" kısaca bireylerin yorulmadan iş yapabilme kapasitelerini tanımlamakta ve vücut sistemlerinin sağlık düzeylerinin en önemli göstergelerinden biri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (2).

Aerobik fitnesin değerlendirilmesi için günümüze kadar bilim insanları tarafından çeşitli kriterler geliştirilmiştir. Aerobik fitnesin azalması beraberinde egzersiz intoleransını da getirmektedir. Dünya bilim literatüründe kabul edildiği şekliyle egzersiz intoleransı; yapılması planlanan bir fiziksel aktivitenin başarılı olarak yerine getirilememesidir (3). Aerobik fitnes değerlendirilmesinde kullanılan başlıca kriterler kardiyak, respiratuvar veya metabolik parametrelere dayanmaktadır (2, 4, 5). Kardiyopulmoner fonksiyon testleri ile belirli iş gücü stresi altında kardiyak, metabolik ve respiratuvar sistemlerin verdiği cevaplar analiz edilerek vücudun aerobik fitnes durumu değerlendirilmektedir (2). Fiziksel aktivite, egzersiz kaslarının artan enerji ihtiyacının karşılanması için kardiyovasküler, metabolik ve respiratuvar sistemlerin yakın ilişki içinde çalışmasını gerektirmektedir. Bu her üç sistem egzersiz stresi altında kendi kapasitelerine göre cevap oluşturmakta, bu ise sağlık durumlarına göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.1. Wasserman'ın dişli çarkları: Egzersiz sırasında organ ve sistemlerin çalışmalarının özeti.

Atmosferden alınan O_2 'nin mitokondrilere geçişi ile akciğerler, kardiyovasküler sistem ve kaslara O_2 transferini göstermektedir. $\dot{V}O_2$: O_2 kullanımı \dot{V}_E : Dakika ventilasyon, $F_I O_2$: İspirasyon havasındaki O_2 miktarı, $F_E O_2$: Ekspirasyon havasındaki O_2 miktarı, Q_T : Kardiyak output, CaO_2 , CvO_2 : Arteriyel ve miks venöz kanın O_2 içerikleri, DO_2 : Difüzyon kapasitesi, PcO_2 : Ortalama kapiller parsiyel O_2 basıncı, $PmitO_2$: Mitokondride ortalama parsiyel O_2 basıncı (2).

Egzersiz sırasında vücudun ve özellikle de egzersiz kaslarının artan metabolik ihtiyacın karşılanması için kalp atımında hızlanma görülmektedir. Buna

ilave olarak solunum sistemi de artan enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli olan oksijeni (O_2) sağlamak ve yan ürün olarak üretilen karbondioksiti (CO_2) ortamdan uzaklaştırmak için aktivitesini artırmaktadır (Şekil 3.1) (2).

Wasserman'ın "klasik egzersiz-sistemler çalışma dişlisi", O_2 alımı, taşınması ve kullanımı (VO_2) ile CO_2 üretimi, taşınması ve atılımı (VCO_2) arasındaki dengeyi göstermektedir (2) (Şekil 3.1). Wasserman'ın bu çalışma dişlisi kardiyak, metabolik ve solunum sistemlerinin çalışma durumunu en kısa ve özgün bir biçimde açıklamaktadır (2) (Şekil 3.1). Çalışma itibariyle birbirine bağılı olan organ ve sistemlerin egzersiz esnasındaki durumları göz önüne alınarak klinik bilimleri ile spor bilimlerinde, sporcu performansı ve spor branşlarına göre en uygun egzersiz programlarının gerek hazırlanmasında gerekse uygulanmasında önemli yere sahiptir.

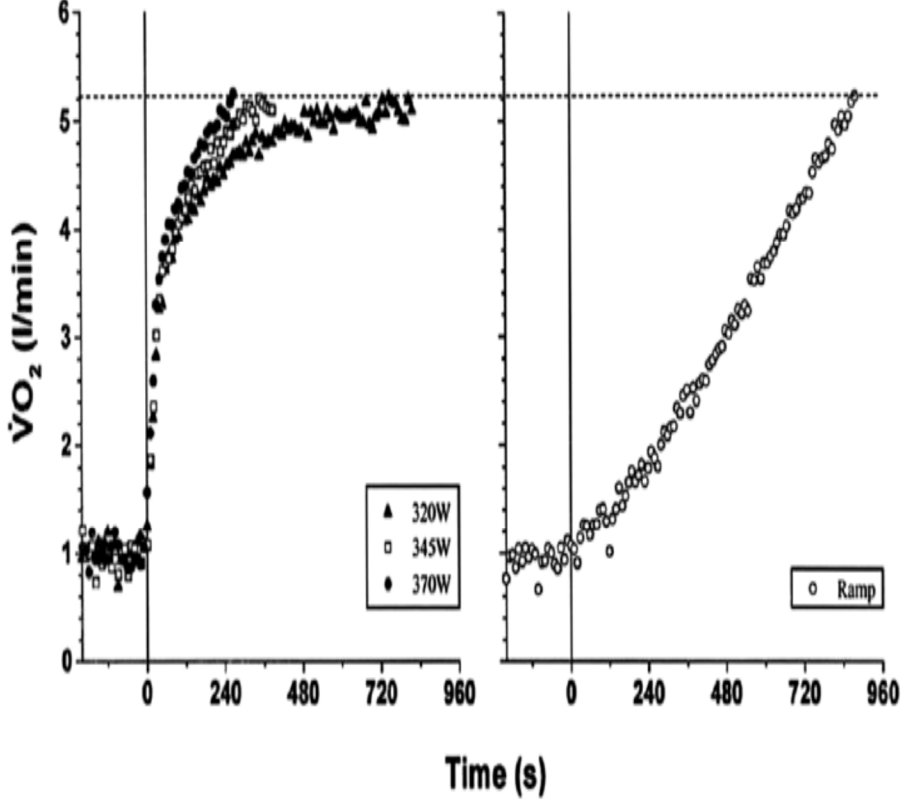
3.1.Aerobik Fitnes Ölçümünde Kullanılan Parametreler

3.1.1.Maksimal O_2 Alımı (VO_{2max})

Bireylerin aerobik fitnes seviyesinin belirlenip değerlendirilmesi amacı ile araştırmacılar tarafından çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (2, 6). Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET) aerobik fitnes belirlenmesinde ve egzersiz intoleransının nedeni veya derecesinin bulunmasında önemli bir yöntemdir.

Bunlardan en yaygın olanı bireyin egzersiz sırasında ulaşabileceği en yüksek O_2 alım seviyesi olan VO_{2max} 'ın ölçümüdür (2, 7-10). Bu parametre bireyin atmosferden O_2 alım, dokulara O_2 taşıma kapasiteleri, dokular tarafından O_2 kullanım durumları yani kardiorespiratuvar ve metabolik sistemlerin

fonksiyonel durumları ile yakından alakalıdır. Hasta, sedanter veya sporcularda kardiyovasküler, metabolik ve pulmoner sistemlerin sağlık durumlarının veya hastalıklarının tespitinde $\dot{V}O_{2max}$ önemli bir parametredir (4, 7, 11).



Şekil 3.2: Sağlıklı bir bireyde O_2 alımının ($\dot{V}O_2$) üç tane sabit yük egzersiz testi ve bir tane şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde verdiği cevaplar (12).

Fick Denklemi

$$\dot{V}O_{2max} = [\text{Kalp Atım Hızı} \times \text{Kalp Atım Hacmi}] \times [C (\text{arteryel-venöz}) O_2],$$

$\dot{V}O_{2max}$ değerleri dakikada alınan O_2 'nin litre veya mililitre cinsinden miktarı (L/dk veya ml/dk) veya vücut ağırlığı başına ml/kg/dk şeklinde kullanılmaktadır (2). Vücut ağırlığı başına tüketilen O_2 miktarı bireyler için önemli bir sağlık kriteri olarak kullanılmaktadır (13). Normal bireylerin kilogram

başına 25-40 ml/dk/kg O₂ alım ve kullanım seviyesine çıkması gerekmektedir. Bunun üzerindeki değerler fitnessin arttığına, altındaki değerler ise fitness'in azaldığına işaret etmektedir (2, 14, 15). Yüksek seviyede antrenmanlı sporcularda özellikle de maraton koşucularında kilogram vücut ağırlığı için O₂ alım seviyeleri 70-80 ml/kg/dk seviyelerine kadar çıkmaktadır. VO_{2max} değeri genellikle kardiyopulmoner sistem ile ilgili hastalıklarda normal değerinin altında (<20 ml/kg) olmaktadır (16, 17).

Performans değerlendirmesinde VO₂ ile uygulanan egzersiz protokolü arasındaki ilişki yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (2, 8, 18, 19). Genellikle şiddeti düzenli olarak artan iş gücüne karşı yapılan egzersizlerde VO₂ iş gücüne paralel olarak artar. Sağlıklı bireylerde oksijen hacmindeki değişimin iş gücüne oranı ($\Delta VO_2/\Delta WR$) yaklaşık olarak 10 ml/dk/W'tır (2, 20, 21). VO₂ ile iş gücü arasındaki paralellik belli bir iş gücünde yani VO_{2max} değerine ulaşıldığında bozularak bir plato oluşmaktadır (2, 5, 22).

Egzersiz sırasında bireylerin yaşı, cinsiyeti, egzersizde kullanılan araçlar, antrenman ve kardiyak durumları gibi çeşitli etkenler VO_{2max} değerini etkileyebilmektedir (7, 23, 24). Maksimal kardiyak output, arteryel-venöz kan arasındaki O₂ farkı, maksimal solunum kapasitesi ve VO_{2max} yakından bağlantılı olduğu için VO_{2max} bu parametrelerdeki değişikliklerden kolaylıkla etkilenmektedir (25).

Buna karşılık bazı egzersiz testleri sırasında denekler VO_{2max} seviyesine ulaşmadan testi sonlandırmakta ve VO₂-iş gücü ilişkisinde plato fazı oluşmamaktadır (Şekil 3.2) (10). Bu plato fazı VO_{2pik} değeri olarak adlandırılır

(12, 25). VO_{2max} sadece artan yüke karşı yapılan test ile tespit edilemediğinden, VO_{2max} 'ın tespiti için çok sayıda egzersiz testi yapılmaktadır (19, 2, 8). Sağlık kriterlerinin değerlendirilmesinde daha güvenilir veriler elde etmek için genellikle VO_{2max} diğer kardiyopulmoner test parametreleri ile birlikte değerlendirilmektedir (2, 9, 19).

3.1.2. Anaerobik Eşik

İlk olarak 1960'lı yıllarda tanımlanan anaerobik eşik teriminin popülerliği geçen yıllar içinde önem kazanarak klinik ve spor bilimlerinde geniş kullanım alanları bulmuştur. Egzersiz sırasında arteryel kan laktat seviyesinin belirli bir iş gücüne kadar artmadığı, egzersiz iş gücünün belirli bir nokta üzerine çıktığında ise aniden artmaya başladığı tespit edilmiştir (26). İş gücünün belli bir seviyeyi aşp arteryel kan-laktat seviyesinin artmaya başladığı andan sonra kandaki bikarbonat yoğunluğunda azalma olduğu belirlenmiştir (27, 28). Bu kan laktat seviyesindeki ani artış noktası, metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçişi olarak tanımlanmış ve "Anaerobik Eşik (AE)" olarak adlandırılmıştır (26). Metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği bu önemli geçiş bölgesi "Anaerobik eşik", "Laktat Eşiği", "Laktik Asidozis Eşiği", "Gaz Değişim Eşiği", "Ventilatör Eşik", "Optimal Solunum Etkinlik", "Elektromiyografik Yorgunluk Eşiği", "Ameliyat Anaerobik Eşiği" gibi değişik şekillerde isimlendirilmiştir (29-31).

Sporcularda kan-laktat seviyesinin normal bireylere göre daha yüksek iş gücünde arttığı, hasta bireylerde ise kan-laktat seviyesinin sağlıklı bireylere göre daha düşük iş gücünde arttığı ve kan-laktat konsantrasyonunun artmaya başladığı noktanın önemli bir sağlık kriteri olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (2).

AE yaygın olarak klinik ve spor bilimlerinde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. AE'nin kullanıldığı önemli alanların başında:

a) Hastalarda egzersiz ve rehabilitasyon performanslarının değerlendirilmesi (32, 33),

b) Normal deneklerde, obezlerde, yaşlılarda, kalp hastalarında ve akciğer hastalarında uygun egzersiz programları hazırlanması (34-38),

c) Egzersiz yoğunluğunun hafif, orta, ağır ve şiddetli olarak sınıflandırılması, egzersiz ve test protokollerinin hazırlanması, egzersiz tiplerinin belirlenmesi (34, 39, 40).

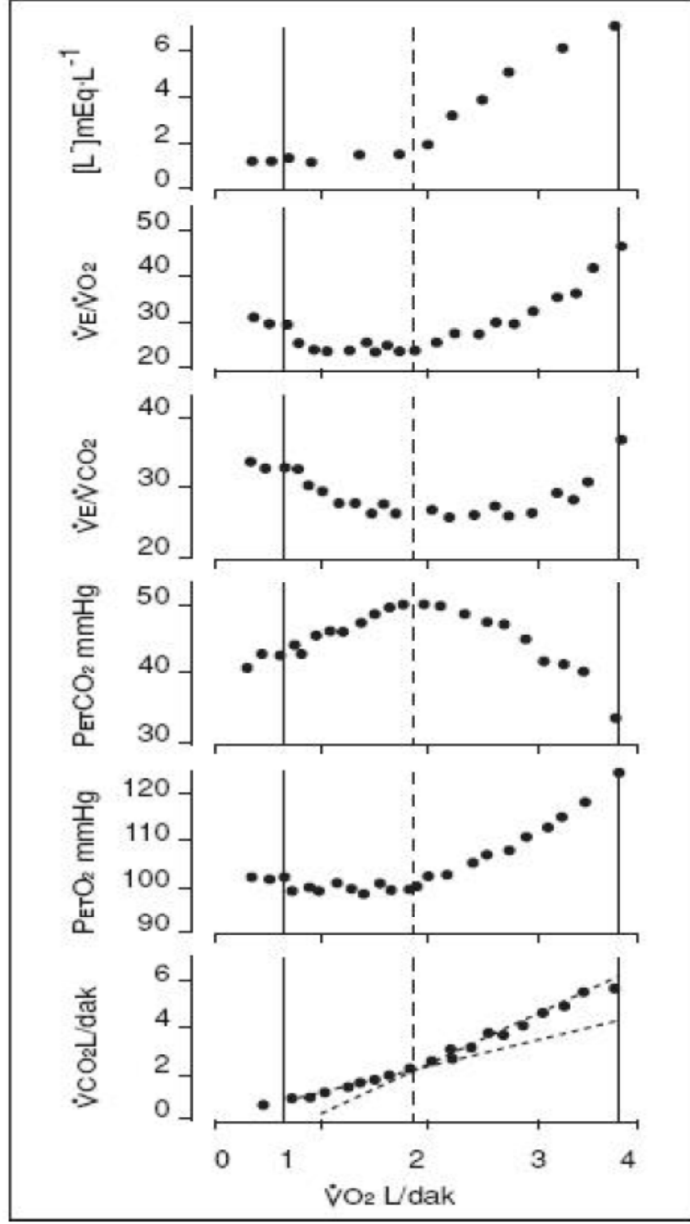
d) Özellikle ağır ameliyat sonrası ortaya çıkabilecek olan ölüm riskinin belirlenerek ameliyatların başarı oranlarının artırılması amacıyla kullanılması gelmektedir (41, 42).

Hastaların tedavi ve egzersiz protokollerinin değerlendirilmesinde, ameliyat sonrası ölüm risklerinin azaltılmasında önemli bir kriter olan AE (41, 43) özellikle ağır batım ameliyatlarının sonunda ölüm riskinin azaltılması ve metabolik strese karşı kardiyovasküler rezervin cevabının değerlendirilmesinde önemli kullanım alanına sahiptir (41, 43). AE'deki O₂ tüketiminin 11 ml/kg/dk civarında olmasının hastalarda ameliyat sonu ölüm riskini azalttığı, bu değer altındaki hastalarda ameliyat sonu ölüm oranının, bu değer üzerinde olan hastalara nazaran 25 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi bireylere düzgün bir iş gücü stresi uyguladığı için genelde tercih edilen egzersiz test protokolüdür (44). Bu egzersiz testi sırasında metabolizma istirahat seviyesinden başlayarak ulaşabileceği en yüksek seviye olan maksimale kadar artış

göstermektedir. Bu egzersiz test protokolü üç tane önemli egzersiz-metabolizma değişim bölgesini içermektedir. Bunlardan ilki metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçiş noktası olan AE'yi yani kan laktik asit seviyesinin sistematik olarak artmaya başladığı noktayı tanımlamaktadır (2). AE noninvaziv olarak solunum ve akciğer gaz değişim parametreleri ile tespit edilebilmektedir (45, 46) (Şekil 3.3).

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi V_E 'nin, solunum oksijen alım eşitliğinin (V_E/VO_2), solunum karbondioksit atım eşitliğinin (V_E/VCO_2) ve tidal sonu parsiyel O_2 basıncının ($P_{ET}O_2$) arttığı, tidal sonu parsiyel CO_2 basıncının ($P_{ET}CO_2$) azaldığı nokta olan SKN aynı zamanda hiperventilasyonun başlangıç noktasıdır (2, 46, 47). Klinik çalışmalarında solunumdan etkilenmeden, metabolik olarak üretilen CO_2 ve tüketilen O_2 ölçümüne dayanarak AE noktasının tespit edildiği V-Slope tekniği SKN ile birlikte en çok kullanılan yöntemdir (48).



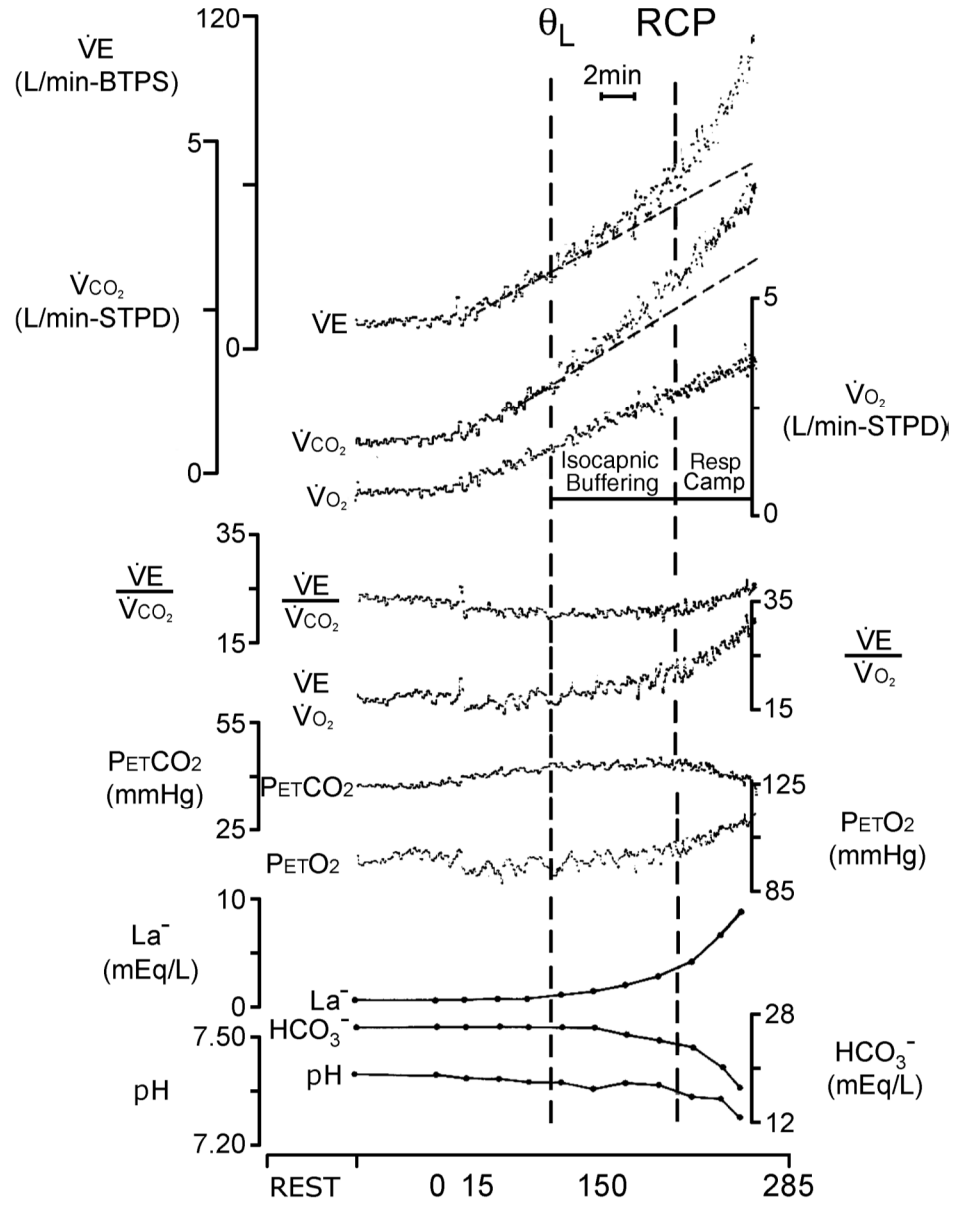
Şekil 3.3: Anaerobik eşik hesaplanmasında kullanılan parametrik değerler. [L-]: arteriyal kan laktat seviyesi, $P_{ET}O_2$: tidal sonu parsiyel O_2 basıncı, $P_{ET}CO_2$: tidal sonu parsiyel CO_2 basıncı, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$: solunum için O_2 alımı değeri ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) solunum için CO_2 atımı değeri ($\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$), $\dot{V}O_2$: O_2 alımı O_2 , $\dot{V}CO_2$: CO_2 atımı. Dikey kesik çizgi anaerobik eşığı göstermektedir. (22)'den değiştirilerek alınmıştır.

3.1.3. Solunum Kompanzasyon Noktası

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında gözlenen ikinci önemli metabolizma değişim noktası ise SKN'dir. Anaerobik metabolizmanın aktifleşmeye başlaması sonucunda artan metabolik asidin vücut tampon sistemlerince baskılanabileceği en yüksek egzersiz noktası SKN olarak tanımlanmaktadır (49). SKN bölgesindeki değerler vücudun metabolik, kardiyak ve respiratuvar sistemlerinin optimal dayanıklılık gösterdiği en yüksek parametrelerdir. Bu nedenle bu bölgede ulaşılan değerler sporcu, sedanter ve fitnes seviyesi düşük olan hastaların durumlarının analiz edilmesinde önemli avantaj sağlayabilecek olan kriterlerdir.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde iş gücü şiddeti AE'nin üstüne çıktığında arteriyel kan laktat seviyesinde artışlar görülmeye başlanmaktadır (2). Metabolik asit üretimindeki artış kısa bir süre için (yaklaşık 1-3 dakikalık) bikarbonat tampon sistemi tarafından baskılanmaya çalışılmaktadır ve bu döneme izokapnik tamponlanma dönemi (İTD) denilmektedir (49, 50). İTD döneminin sonu SKN olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.4) (2, 49).

SKN'nin üstündeki egzersiz yoğunluğunda metabolik asit baskın hale gelmekte ve bireyin egzersiz testinin sonlandırılmasına neden olmaktadır. Bu üçüncü ve son nokta ise maksimal egzersiz (W_{max}) kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (2).



Şekil 3.4: Normal genç bireyde bisiklet egzersiz testi sırasında arteriyel kandaki değerlerin dengeli artışını gösteren test.

$\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$, $PETO_2$, $PETCO_2$, $[laktat]_a$, $[HCO_3^-]_a$ ve arterial pH İzokapnik tamponlama fazında laktat eşliğinin (θ_L) ve solunumun dengelendiği nokta gösterilmiştir (RCP) (2).

3.2. Egzersiz Solunum İlişkisi

Egzersiz sırasında ventilasyon artışı başlıca egzersiz kaslarının metabolik ihtiyacı ve metabolizma sonucuna değişen asit baz dengesi tarafından düzenlenmektedir. Buna karşılık V_E ile değişen metabolik ihtiyaç durumu arasındaki denge tam olarak aydınlığa çıkarılmamıştır ve bu konuda bir çok mekanizmanın varlığından bahsedilmektedir. Egzersiz sırasında V_E artışı solunum sayısı ve solunum derinliği ile ayarlanmaktadır.

$$\text{Ventilasyonun formülü: } V_E = [863 \times V_{CO_2}] / [PaCO_2 (1 - V_D/V_T)]$$

863 :37 derecedeki vücut ısısı için sabit sayı

V_E : BTPS, barometrik basınç, ısı ve saturasyon, L/dk

V_{CO_2} : STPD saturasyon, ısı, ve kuru hava, L/dk

$PaCO_2$: Arteryel kan CO_2 parsiyel basıncı

V_D/V_T : Ölü aralık / tidal volüm

Egzersiz kapasitesi dokulara O_2 taşınması ve dokulardan CO_2 uzaklaştırılması olayında kardiyovasküler ve pulmoner sistem ile yakından alakalıdır. O_2 'nin dokulara taşınması ve CO_2 'nin dokulardan uzaklaştırılmasında:

- a) Pulmoner ventilasyon (soluk alıp-verme),
- b) Pulmoner difüzyon (akciğerlerle kan arasındaki O_2 ve CO_2 difüzyonu),
- c) O_2 ve CO_2 'nin kan ile taşınması,
- d) O_2 ve CO_2 'nin kan ile dokular arasındaki hareketi gibi olaylarda

kardiyovasküler ve pulmoner sistemler ortaklaşa faaliyet gösterir.

Soluk alıp verme ve solunum gazlarının akciğerlerle kan arasındaki değişimi eksternal solunum, solunum gazlarının kan ile dokular arasındaki değişimi ise internal solunum olarak adlandırılıp, solunum olayları dolaşım

sistemi ile de yakından ilişkilidir. Egzersiz sırasında VO_2 , VCO_2 , ve V_E arasındaki ilişkilerin araştırılması ve bunlar arasındaki eşleşmeler ve bunları etkileyen faktörler araştırmacılar tarafında geniş ilgi duyulan konulardandır (51).

Sağlıklı bireylerde şiddeti düzenli olarak artan iş gücündeki artışa paralel olarak V_E de artmaktadır (2, 52). Bu iş gücü ve solunum arasındaki paralel artış belirli bir noktanın üzerine ulaştığında bozulmakta ve solunum iş gücüne göre daha hızlı artış göstermektedir (Şekil 3.4). Solunumun hızlanmasında ana neden egzersiz sırasında metabolizmanın aerobikten anaerobiğe kayması sonucunda ortaya çıkan laktik asit ve bunun bikarbonat tampon sistemi tarafından engellenmesi sonucu ortaya çıkan metabolik olmayan CO_2 'dir (2).

Literatürde yapılan çalışmalarda solunum ile vücuda alınan O_2 miktarı yani V_E/VO_2 ve solunum ile vücuttan atılan CO_2 miktarı yani V_E/VCO_2 önemli bir prognostik değer olarak gösterilmiştir. Bireylerin aldığı her bir litre O_2 için ne kadar V_E alması gerektiği ve vücuttan atılan her bir litre CO_2 için ne kadar V_E vermesi gerektiği akciğerlerdeki havalanma/kanlanma oranının en önemli göstergelerinden birisidir. Normal istirahat durumunda sağlıklı bir bireyde yaklaşık olarak (12 nefes sayısı x 500 ml tidal volüm) 6000 ml V_E ile 200 ml CO_2 atılırken, 250 ml O_2 alımı gerçekleşmektedir (2). Bu değerler de V_E/VO_2 oranının 24, V_E/VCO_2 oranının ise 30 olmasına neden olmaktadır.

Artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 'nin en düşük değerleri ventilasyon/perpüzyon oranının etkinliğinin önemli bir göstergesidir. Artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin başlangıcı ile birlikte V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 değerleri azalma göstermekte olup AE ve SKN arası bölgede en düşük seviyeye düşerler. Bu egzersiz sırasındaki V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2

değerlerdeki azalma veya artış durumu solunumun etkinliğinin ve etkisizliğinin göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Solunumun etkinliğinin değerlendirilmesi olarak tanımlanan V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 özellikle kalp (53-56), akciğer (57) ve diyaliz hastalarında (58) önemli bir ölüm riski göstergesi olarak kullanılmaktadır (59). V_E/VCO_2 oranının yaklaşık olarak 30'un altında olması normal değer olarak kabul edilirken (57), 35 üzerinde olduğu durumlarda ise vakaların ölüm risklerinin yüksek olduğu gösterilmiştir (60).

V_E/VO_2 ile V_E/VCO_2 arasındaki ilişkinin durumu artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında geniş olarak çalışılmış bir konu olmasına rağmen, iki önemli parametredeki yani AE ve SKN sırasında verdiği cevaplar henüz aydınlığa çıkarılmamıştır.

Bilindiği gibi AE metabolizmadaki enerji üretiminin sadece aerobik kaynaklardan sağlandığı en üst noktayı temsil etmektedir. İlave olarak diğer bir önemli metabolizma geçiş noktası olan SKN ise laktik asit üretiminin başladığı fakat vücut tampon sistemlerince baskılanabildiği en üst noktayı tanımlamaktadır. Vücut dayanıklılık seviyesinin en üst noktasına denek gelen sabit yük egzersiz testi sırasında V_E/VCO_2 ile V_E/VO_2 arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde verdiği cevaplar ile karşılaştırılması sağlık açısından önemli katkı sağlayacaktır. Bu iki farklı metabolik aktivite gösteren egzersiz protokollerinde solunum ve gaz değişim cevaplarının ve özellikle de alt limitlerinin belirlenmesi ileride düşük fitness seviyesine sahip bireylere veya fitness seviyesi yüksek bireylere uygulanacak egzersizlerin belirlenmesinde yol gösterecektir.

Bu tez çalışmasının amaçları:

Deneklere vücut metabolik sistemleri için önemli egzersiz noktalarına denk gelen iş güçleri uygulanarak akciğer gaz değişimine ve değişen gazların taşınmasına katılan organ ve sistemlerinin fizyolojik durumları tanımlanmaya çalışılacaktır.

Vücut enerji metabolizmasının aerobik olduğu egzersiz bölgesinde, metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği AE bölgesinde ve metabolik asidin baskılanabildiği en yüksek egzersiz noktası olan SKN'deki iş güçlerine denk gelen sabit yük egzersiz testlerinde V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevapları artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde elde edilen V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevapları ile karşılaştırılmalı olarak incelenecektir.

Burada hedeflenen nokta artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde elde edilen ve prognostik olarak kabul edilen en düşük V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 değerleri ile 3 farklı şiddetteki sabit yük egzersiz testlerinde uzun süreli ve sürdürülebilir değerleri arasında ilişki olup olmadığı belirlenecektir. Böylece en düşük değer ve sürdürülebilir değerlerin karşılaştırılmalı olarak analizi yapılacaktır.

Aerobik egzersiz bölgesinin (AE altı), en yüksek aerobik egzersiz bölgesinin (AE) ve artan metabolik asitin (başlıca laktik asit) kontrol altında tutulabildiği en yüksek egzersiz bölgesinin (SKN) solunum cevapları normal bireylerde tespit edilerek ideal V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 seviyeleri belirlenecek, böylece hasta ve yüksek aerobik fitness sahibi bireyler için kontrol değerler elde edilmiş olacaktır. Aerobik fitness kapasiteleri düşük olan bireylerin kapasite artırımlarında rol oynayabilecek sistemlerin belirlenmesine katkı sağlanacaktır.

Egzersiz sırasında metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçiş bölgesini tanımlayan AE'nin ve deneklerin yorulmadan egzersizi uzun süre devam ettirebildikleri en yüksek iş gücünü tanımlayan bölge olan SKN'nin akciğer gaz değişim parametreleri [dakikada aldığı solunum V_E , l/dk; dakikada O_2 alım miktarı, VO_2 , l/dk; dakikada CO_2 atım miktarı, VCO_2 l/dk; solunum O_2 eşitliği (V_E/VO_2); solunum CO_2 eşitliği (V_E/VCO_2)] üzerine etkileri belirlenip vücudun egzersiz sırasında ulaştığı ideal gaz değişim oranları bularak aerobik fitnes ile ilişkisi belirlenecektir.

4. GEREÇ VE YÖNTEM

4.1. Denekler

Bu çalışmaya 18-24 yaş arası 11 sağlıklı sedanter erkek denek gönüllü olarak katıldı. Deneklerin fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu izin belgesini deneklerin tamamı gönüllük esasına göre okuyup onayladıktan sonra egzersiz testlerine katıldılar.

4.1.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri

Çalışmaya başlamadan önce deneklerin fiziksel özellikleri ölçülerek kaydedildi. Deneklerin vücut kompozisyonları sabah aç karınla saat 08.00-10.00 arası biyoelektrik analiz cihazı ile ayaktan ayağa ölçüldü (Tanita, Body Composition Analyser, TBF-300 M) (61). Biyoelektrik analiz cihazıyla yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi ile deneklerin vücut yağ oranı, vücut yağ yüzdesi, yağsız vücut ağırlığı, total vücut su miktarı ile vücut kitle indeksi tespit edildi. Deneklere çalışma öncesi ilaç, kahve gibi egzersiz performanslarını etkileyici, metabolizmalarını değiştirebilecek faktörlerden uzak durması tavsiye edildi.

4.1.2. Deneklerin Teste Katılabilme Kriterleri

a) Egzersiz yapmalarına engel olacak herhangi bir anatomik veya fiziksel bozukluklarının olmaması,

b) Sigara, alkol veya ilaç kullanmamaları,

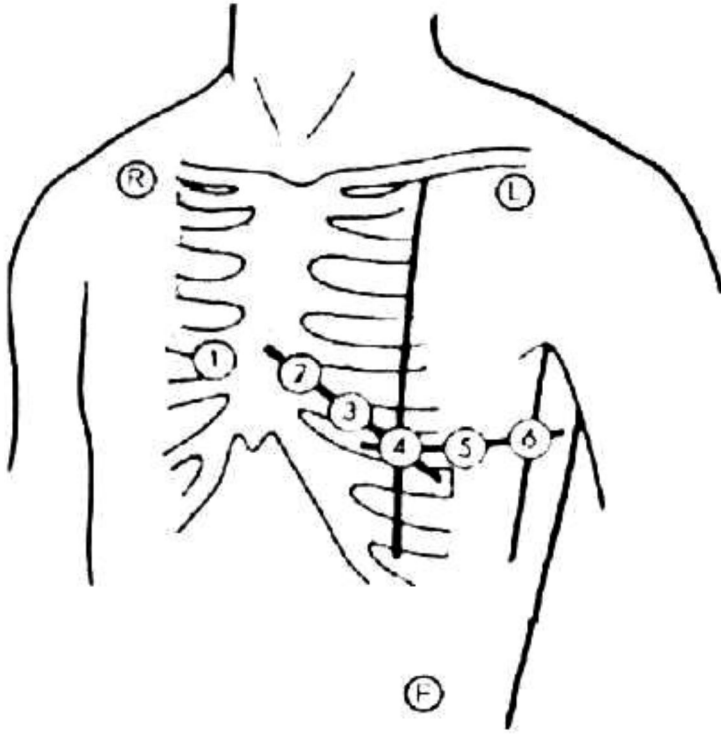
c) Akut veya kronik bir hastalığı (kardiyak, metabolik veya alerjik vb.) olmayan denekler çalışmaya gönüllülük esasına göre dahil edildiler.

Bu çalışmaya katılan deneklerin fiziksel özellikleri (yaş, boy, ağırlık ve vücut kitle indeksleri) Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Deneklerin yaşı (yıl), boyu (cm), vücut ağırlığı (kg) ve vücut kitle indeksleri (VKİ, kg/m²) (Denek sayısı (n)=11)

Denekler	Yaş	Boy	Kilo	VKİ
1	19	180	68.2	21.0
2	22	190	74.0	20.5
3	18	195	82.7	21.7
4	18	185	80.9	23.6
5	20	186	72.3	20.9
6	20	197	69.4	17.8
7	22	190	81.9	22.7
8	22	179	71.4	22.3
9	21	181	80.8	24.7
10	23	183	75.6	22.6
11	24	163	66.9	25.1
Ort (±SH)	20.8±1.9	184±9	74.9±5	22.08±2.06

Deneklere egzersiz testlerine katılmadan önce laboratuvar ortamına ve egzersiz testlerinin yapılacağı cihazlara alışmaları için laboratuvar ortamında deneme egzersizi yaptırıldı. Egzersiz öncesi deneklerin heyecan durumları ortadan kaldırılarak test sonuçlarının hatalı olmasının önüne geçilmiş oldu. Yapılan çalışmalarda test öncesinde heyecan durumunun vücut CO₂ depolarının azaltılması yönünde etki yaptığı, test sırasında ise metabolik yollarla üretilen CO₂'nin boşaltılan depolara dönmesi nedeni ile VCO₂ atılımında azalmalara ve bunun da AE hesaplanmasında büyük hatalara neden olduğu gösterilmiştir (62).



Şekil 4.1: Egzersiz testi sırasında deneklere takılan 12’li göğüs elektrotlarının bağlantılarının yerleşim düzeni.

Deneklere test öncesi on ikili göğüs elektrotları uygun şekilde yerleştirildi ve test süresince EKG'leri kontrol altında tutularak takip edildi. Tüm test süresi boyunca ST segmenti ve T dalgası kontrol edildi. Ayrıca kalp atım hızları da test süresince kaydedildi.

Ortamın sıcaklığının sonuçlar üzerine etkisini ortadan kaldırmak için klima kullanılarak laboratuvar ortamının sıcaklığı testlerin yapıldığı zaman süresince ortalama olarak 20-22 °C’de tutuldu.

4.2. Respiratuvar ve Metabolik Ölçümler

4.2.1. Gaz Değişim Ölçümleri

Deneklerin egzersiz testleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Spor ve Egzersiz Bilimleri Laboratuvarı’ndaki “metabolik gaz ölçüm cihazı”

(MasterScreen CPX, Germany) kullanılarak yapıldı. Deneklerin egzersiz testleri sırasında akciğer gaz değişim parametreleri ve metabolik değişimleri solunumdan solunuma (breath-by-breath) hesaplandı.

Egzersiz sırasında deneklerin; O₂ alımı (VO₂ ml/dk), CO₂ atılımı (VCO₂ ml/dk), dakika ventilasyonu (V_E, L/dk), CO₂ atılımı için solunum eşitliği (V_E/VCO₂), O₂ alımı için solunum eşitliği (V_E/VO₂), tidal sonu parsiyel O₂ basıncı (PETO₂ mmHg), tidal sonu parsiyel CO₂ basıncı (PETCO₂ mmHg), tespit edildi.

4.2.2.Solunum Ölçümleri

Deneklerin egzersiz sırasında solunum parametrelerinin ölçülüp değerlendirilmesinde düşük dirençli (<0.1 kPa/L/sn, 15 L/sn), düşük ölü boşluklu (30 ml), akımı 0-15 L/sn, bir defada 0-10 L kapasiteli, etkinliği 50 ml veya %2 ve 0.07 L/sn veya %3 ve rezolüsyonu 3 ml olan düşük ağırlıklı (45 gr) dijital volüm sensörü (Triple V Volume Sensor) kullanıldı.

Egzersiz sırasında deneklerin tek yönlü ağızlıktan nefes almaları sağlanarak ölçümleri yapıldı. Egzersiz sırasında yapılan ölçüm esnasında kullanılan O₂ analizörünün (elektrokimyasal prensip) cevap zamanı 80 ms olup, ölçüm gücü % 0.01, etkinliği % 0.05, CO₂ analizörü ölçüm aralığı % 0-10, ölçüm gücü % 0.005, etkinliği 0.05, ölçüm süresi 80 ms'dir. Çalışmada kullanılan cihazların etkinliği için her test öncesi kalibrasyonları yapıldı.

4.3. Egzersiz Test Protokolü

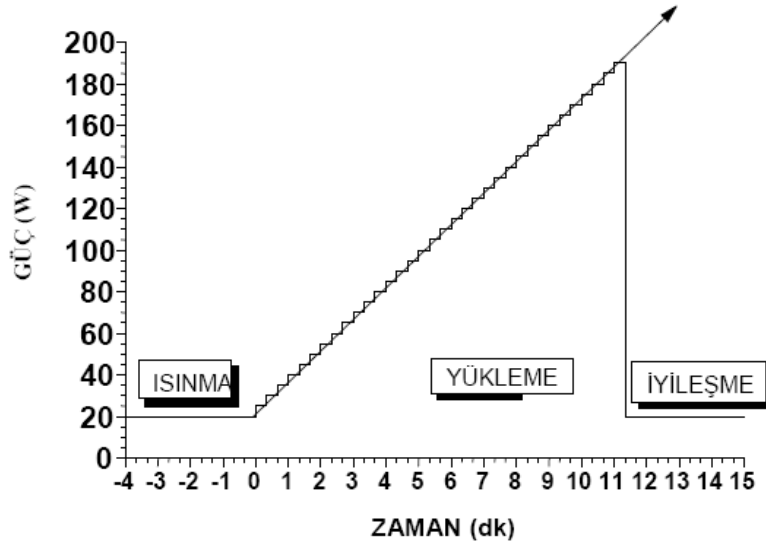
Bu çalışmada tüm deneklere öncelikle şiddeti düzenli olarak artan yük egzersiz testi (yükleme testi veya rapid incremental exercise test) uygulandı. Bunu

takiben farklı günlerde 3 tane farklı şiddette sabit yük egzersiz testleri (constant load exercise test) uygulandı.

4.3.1.Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yük Egzersiz Testi (Yükleme Testi veya Rapid Incremental Exercise Test)

Denekler başta protokolü Bruno Balke (63) tarafından bulunan, Whipp ve ark. (44) tarafından geliştirilen elektromanyetik bisiklet ergometre (VIA sprintTM 150/200P) ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı egzersiz testine tabi tutuldular (Şekil 4.2).

Egzersizde kullanılan bisiklet ergometrenin sele yüksekliği test sonuçlarının güvenilirliği için her bir deneğin fiziksel özelliklerine göre ayrı ayrı ölçülerek ayarlandı (64). Bisikletin pedal çevirme hızı ortalama 60 rpm civarında tutuldu.



Şekil 4.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi.

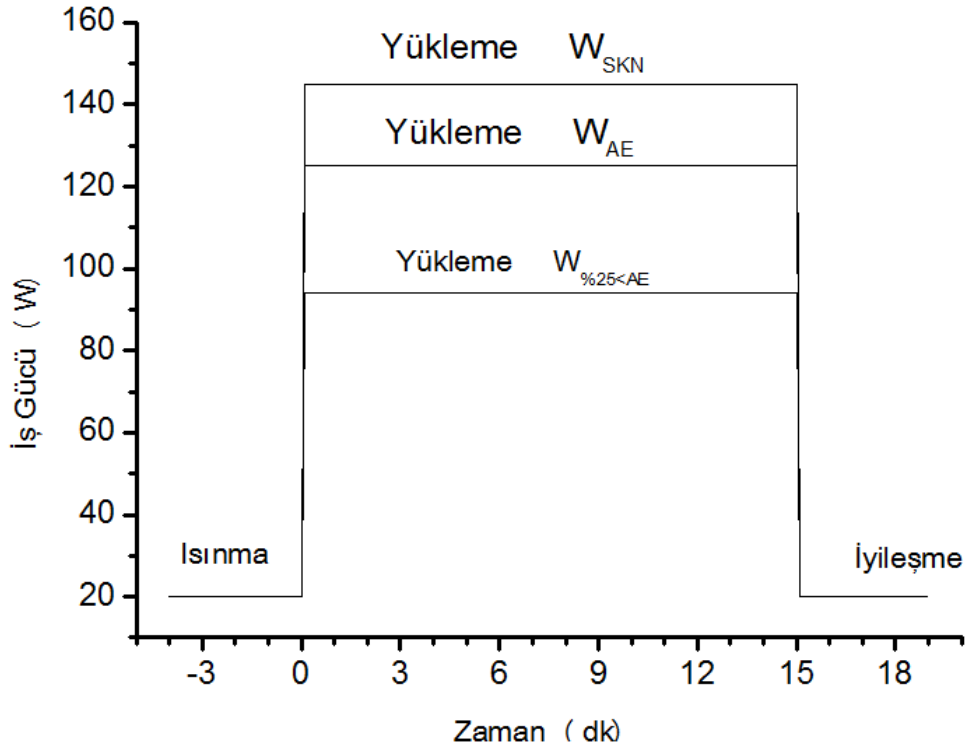
Testin ısınma dönemi 20 W'lık (-4 ile 0 dakika arası) iş gücü ile başladı. İş gücünün bilgisayar kontrolünde dakikada 15 W olarak artırıldığı yüklenme dönemiyle devam edildi (0 ile 11 dakika arası) ve iş gücünün tekrar 20 W'a indirildiği (11 ile 15 dakika arası) iyileşme dönemiyle test sonlandırıldı.

Bireylerin W_{max} 'sını, aerobik ve anaerobik iş kapasitelerini belirlemek için uyguladığımız iş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testine minimum 4 dakikalık 20 watt iş gücünde ısınma dönemi ile başlandı. Başlangıçtaki ısınma dönemi, deneklerin egzersiz cevaplarının normal olup olmadığını belirlemek için ve deneklerde oluşabilecek heyecan ya da stres durumu testin sonuçlarını olumsuz yönde etkileyebileceğinden testin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (62). Bu yaklaşık 4 dakikalık süre sonunda steady-state denilen denge durumuna ulaşıldığında bisiklete uygulanan iş gücü bilgisayar kontrolünde 15 W/dk olarak artırılmaya başlandı ve W_{max} 'a kadar (deneklerin pedal çevirmeye devam edemeyecekleri nokta) devam ettirildi. Bu noktada bisiklet ergometrenin pedal gücü tekrar 20 W'a düşürülerek iyileşme dönemi ile test sonlandırıldı (Şekil 4.2).

4.3.2.Sabit Yük Egzersiz Testleri (Constant Load Exercise Test)

Bu tez çalışmasının ikinci kısmını oluşturan sabit yük egzersiz testleri artan yüke karşı yapılan egzersiz testinden elde edilen AE ve SKN'deki iş güçleri temel alınarak hazırlandı.

Sabit yük egzersiz testi, ana olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testindeki gibi 4 dakikalık 20 W ısınma dönemi ile başlayıp belirlenen iş gücünün aniden artırılıp ve değiştirilmeden belirli bir süre boyunca devam ettiği test türüdür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Bu çalışmada uygulanan örnek bir sabit yük egzersiz testi.

Testin ısınma dönemi 20 W'lık (-4 ile 0 dakika arası) iş gücü ile başladı. Bu sürenin sonunda iş gücü bilgisayar kontrolünde deneklere uygulanacak olan iş gücüne artırılarak 15 dakika devam ettirildiği yüklemeye dönemiyle test sürdürüldü. Bu süre sonunda iş gücünün tekrar 20 W'a indirildiği iyileşme dönemiyle test sonlandırıldı.

4.3.2.1.Sabit Yük Egzersiz Test Protokolleri

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testini tamamladıktan sonra deneklerin AE ve SKN değerleri belirlenerek sabit yük egzersiz test protokolleri hazırlandı. Bu protokoller:

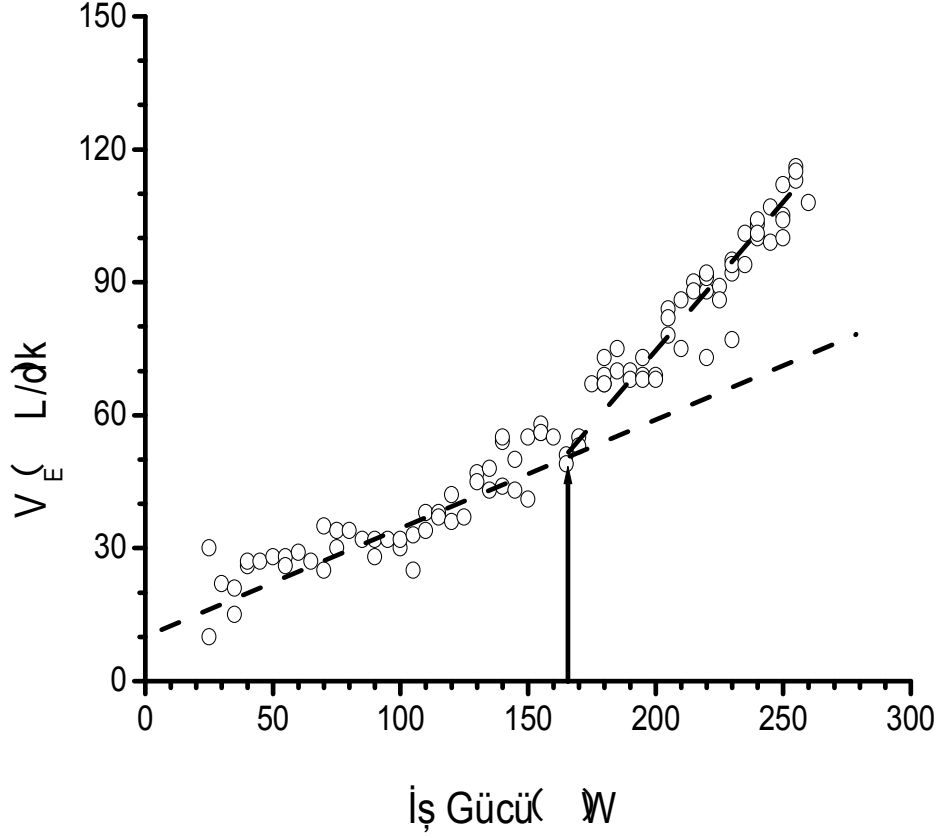
- 1) Deneklere uygulanacak olan iş gücü deneklerin AE deki değerinin yaklaşık %25 altına denk gelecek şekilde seçildi ($W_{\%25<AE}$). AE altında seçilen iş gücündeki amaç, tamamen aerobik metabolizmanın aktif olduğu egzersiz testi sırasında V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevabını değerlendirmektir. Bu test 4 dakikalık 20 W ısınma dönemi ile başladı ve her bir denek için iş gücü $W_{\%25<AE}$ 'de belirlenen

iş gücüne kadar artırılarak 15 dakika devam ettirildi. İyileşme dönemi ile test sonlandırıldı.

2) Deneklere uygulanan diğer iş gücü ise deneklerin AE'deki iş gücüne denk gelecek şekilde seçildi (W_{AE}). AE deki iş gücü metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği nokta olduğu için yani metabolik asit üretilmeden çıkılan en yüksek nokta olduğundan buradaki V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevabını değerlendirmek önemlidir. Bu test 4 dakikalık 20 W ısınma dönemi ile başladı ve her bir denek için iş gücü W_{AE} 'de belirlenen iş gücüne kadar artırılarak 15 dakika devam ettirildi. İyileşme dönemi ile test sonlandırıldı.

3) Deneklere uygulanan diğer iş gücü ise deneklerin SKN' deki iş gücüne denk gelecek şekilde seçildi (W_{SKN}). Bu egzersiz noktası yine AE gibi spesifik bir yer olup metabolik asit üretiminin başladığı fakat üretilen metabolik asidin vücut tampon sistemlerince baskılandığı en yüksek egzersiz noktasıdır. Kan metabolik asit seviyesi artmadığı için bireylerin yorulmadan gidebileceği en üst iş gücü noktasıdır. Buradaki V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevabını değerlendirmek bu nedenle önemlidir. Bu test 4 dakikalık 20 W ısınma dönemi ile başladı ve her bir denek için iş gücü W_{SKN} 'de belirlenen iş gücüne kadar artırılarak 15 dakika devam ettirildi. İyileşme dönemi ile test sonlandırıldı.

4.4. AE Ölçümü



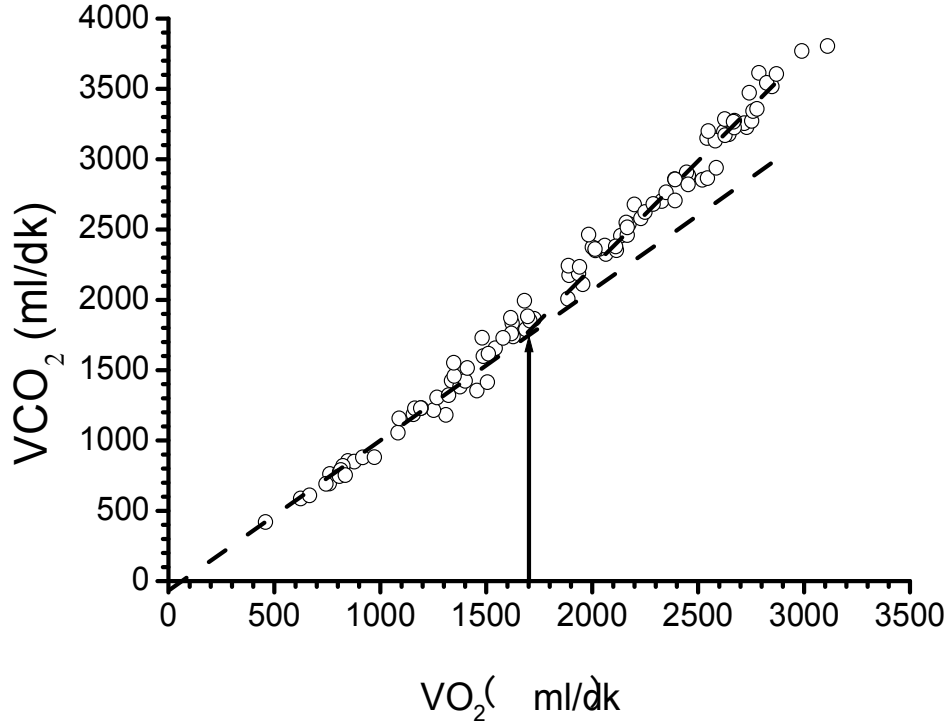
Şekil 4.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denekte (denek no 1) solunum ile artan iş gücü arasındaki ilişki.

Dikey solid çizgi metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği noktayı göstermektedir. Yatay kesik çizgi aerobik metabolizmanın gidiş durumunu göstermektedir. Diğer kesik çizgi ise anaerobik metabolizmanın etkisini göstermektedir.

Egzersiz sırasında aerobik ve anaerobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan AE hesaplanmasında solunum ve akciğer gaz değişim parametreleri kullanılmıştır. Bu kullanılan teknikler şunlardır:

a) Solunum-metabolizma-iş gücü kriterleri ile (2),

b) V-slope tekniği ile yani egzersiz sırasında tüketilen O₂ ile üretilen CO₂ (VCO₂/VO₂) ilişkisi ile (48),

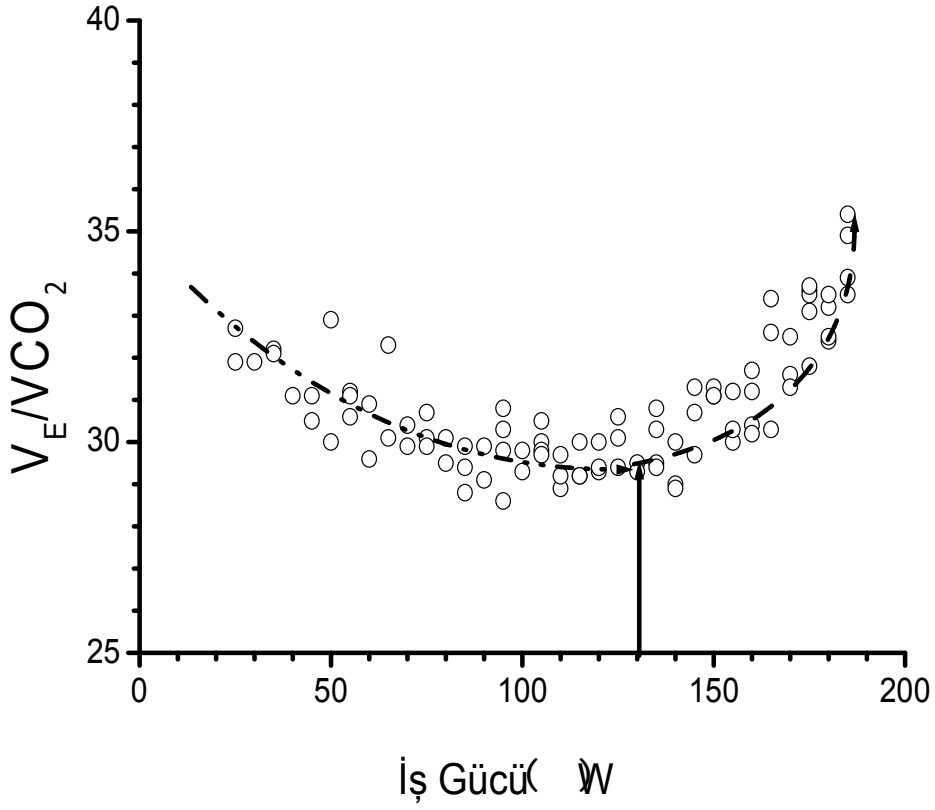


Şekil 4.5: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denekte (denek no 3) VCO₂ ile VO₂ arasındaki ilişki.

Dikey solid çizgi metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği noktayı göstermektedir. Yatay kesik çizgi aerobik metabolizmanın gidiş durumunu, diğer kesik çizgi ise anaerobik metabolizmanın etkisini göstermektedir.

4.5. Solunum Kompanzasyon Noktası Ölçümü

Deneklerin SKN'deki iş gücü değeri CO₂ için solunum eşitliği (V_E/VCO₂) kriteri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (Şekil 4.6) (2, 49). V_E/VCO₂'nin sistematik olarak artmaya başladığı nokta SKN olarak kabul edildi.



Şekil 4.6: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin (denek no 11) V_E/V_{CO_2} cevabı. Dikey solid çizgi V_E/V_{CO_2} oranının artmaya başladığı nokta olup solunum kompanzasyon noktasını göstermektedir.

İstatistiksel analiz:

Yapılan çalışmalar neticesinde kaydedilen veriler ortalama $\pm SH$ olarak hesaplandı. Tüm sabit yük egzersiz testlerinde elde edilen değerlerin gruplar arasındaki karşılaştırmasında ANOVA testi kullanıldı. Bütün testler için $p < 0.05$ değeri anlamlı olarak kabul edildi.

5. BULGULAR

5.1. Deneklerin Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Verdiği Cevaplar

Çalışmaya katılan deneklerin şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin istirahat (W_0), ısınma (W_{20}), anaerobik eşik %25 altı ($W_{AE<25}$), anaerobik eşik (W_{AE}), solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) ve maksimal egzersizdeki (W_{max}) kalp atımları (HR), dakika solunum (V_E), solunum frekansı (SS), O_2 alımı (VO_2), CO_2 atılımı (VCO_2), O_2 alım / solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 atılım / solunum eşitliği (V_E/VCO_2), tidal volüm (V_T) ve iş gücü değerleri (WR) ortalama ($\pm SH$) olarak Tablo 5.1’de verilmiştir.

İş gücü şiddetinin düzenli olarak arttığı egzersiz testinde deneklerin ulaştıkları W_{max} değeri 220 ± 8 W olarak bulunmuştur. Deneklerin her bir kilogram vücut ağırlığı başına ürettikleri maksimum iş gücü değeri ise 2.93 W/dk/kg olarak bulunmuştur. AE deki iş gücü değeri 130 ± 6.4 W, SKN’deki iş gücü değeri ise 156 ± 7.2 W olarak bulunmuştur (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin istirahat (W_0), ısınma (W_{20}), anaerobik eşğin %25 altı ($W_{AE<25}$), anaerobik eşik (W_{AE}), solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) ve maksimal egzersizdeki (W_{max}) kalp atımları (HR), dakika solunum (V_E), solunum frekansı (BF), O_2 alımı (VO_2), CO_2 atılımı (VCO_2), O_2 alım / solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 atılım / solunum eşitliği (V_E/VCO_2), tidal volüm (V_T) ve iş gücü değerleri (WR) ortalama ($\pm SH$) olarak değerleri (n=11).

	W_0	W_{20}	$W_{AE<25}$	W_{AE}	W_{SKN}	W_{max}
HR(atım/dk)	75 \pm 2	92 \pm 2	122 \pm 5	134 \pm 4	150 \pm 3	182 \pm 2
V_E (L/dk)	16 \pm 0.4	19 \pm 0.7	34 \pm 1.6	46 \pm 2.6	58 \pm 3.4	105 \pm 4.8
SS (nefes/dk)	16 \pm 0.6	20 \pm 1.5	24 \pm 1.8	26 \pm 2.1	29 \pm 1.8	45 \pm 2.7
VO_2 (ml/dk)	612 \pm 40	731 \pm 35	1397 \pm 51	1788 \pm 71	2082 \pm 92	3004 \pm 104
VCO_2 (ml/dk)	554 \pm 32	661 \pm 25	1325 \pm 54	1824 \pm 86	2207 \pm 110	3567 \pm 144
V_E/VO_2	29.5 \pm 2.4	27.3 \pm 1.1	24.7 \pm 0.9	26.2 \pm 0.9	27.8 \pm 1.0	35.1 \pm 1.2
V_E/VCO_2	32.2 \pm 2.3	30.0 \pm 1.0	26.0 \pm 0.8	25.7 \pm 0.8	26.2 \pm 0.7	32.2 \pm 2.3
V_T (L)	0.97 \pm 0.0	1.02 \pm 0.0	1.46 \pm 0.0	1.92 \pm 0.1	1.96 \pm 0.1	2.36 \pm 0.1
WR (W)	0	20	97 \pm 4.7	130 \pm 6.4	156 \pm 7.2	220 \pm 8.0

5.1.1.Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde

VO_2 Cevabı

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde W_0 'da VO_2 değeri ortalama olarak 612 \pm 40 ml/dk, W_{20} 'de VO_2 değeri ortalama 731 \pm 35 ml/dk bulundu (Tablo 5.1). İş gücünün kademeli şekilde 15 W/dk artırılmasıyla birlikte bisiklet ergometrenin pedal gücünün artmasına bağlı olarak VO_2 değeri de artış gösterdi. $W_{AE<25}$ 'de VO_2 değeri ortalama 1397 \pm 51 ml/dk, W_{AE} 'de 1788 \pm 71 ml/dk, W_{SKN} 'de 2082 \pm 92 ml/dk, W_{max} 'de ise VO_2 değeri ortalama 3004 \pm 104 ml/dk olarak bulundu (Tablo 5.1).

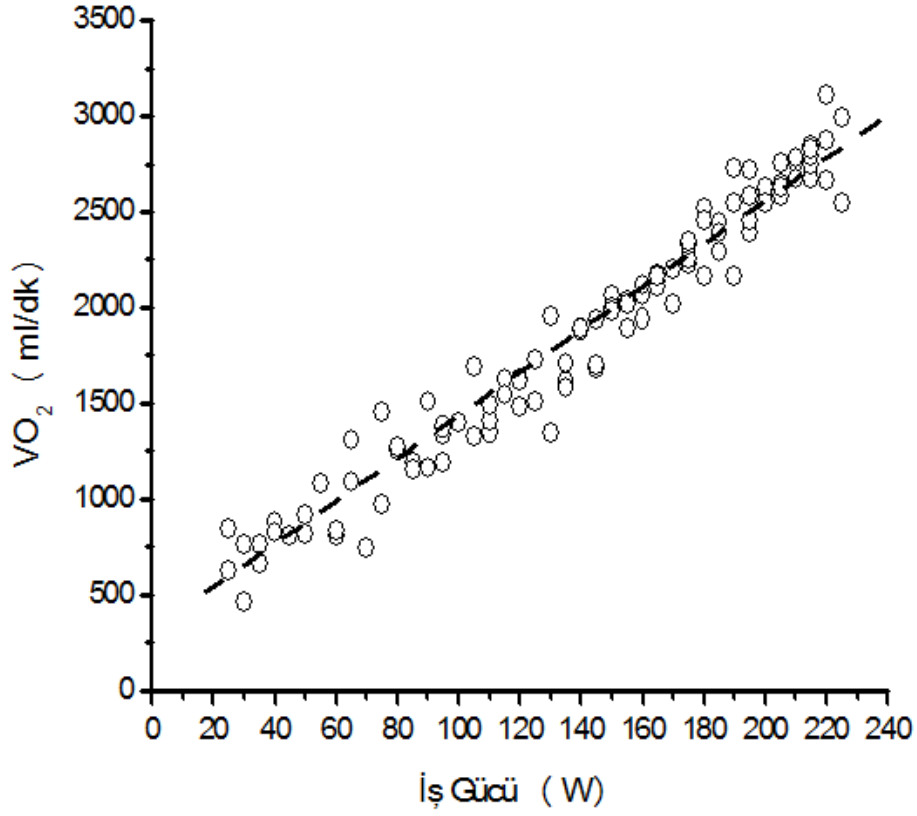
Deneklerin kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı $W_{AE/kg}$ 'de 18.6 ml/kg/dk ile 31.2 ml/kg/dk arasında değişiklik göstermekte olup ortalama ($\pm SH$)

24.0 ml/kg/dk bulundu (Tablo 5.2). $W_{SKN/kg}$ 'de kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı 20.8 ml/kg/dk ile 36.5 ml/kg/dk arasında değişip ortalama ($\pm SH$) 27.9 ml/kg/dk bulundu. Kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı $W_{max/kg}$ 'de 34.6 ml/kg/dk ile 50.3 ml/kg/dk arasında olup ortalama ($\pm SH$) 40.2 ml/kg/dk bulundu (Tablo 5.2).

Deneklerin, egzersiz esnasındaki enerji sarf etme oranını yansıtan ve MET olarak ifade edilen (MET: metabolik eşdeğer: 3.5 ml/kg/dakika da O_2 alımı) değerleri $W_{AE<\%25}$ 'de yaklaşık 5.3 MET, W_{AE} 'de 6.8 MET, W_{SKN} 'de 7.9 MET ve W_{max} da ise 11.4 MET olarak bulundu.

Tablo 5.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin istirahat (W_0), ısınma (W_{20}), anaerobik eşik $\%25$ altı ($W_{AE<\%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}), solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) ve maksimal egzersizdeki (W_{max}) kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım değerleri (VO_2/kg) ortalamaları ($\pm SH$).

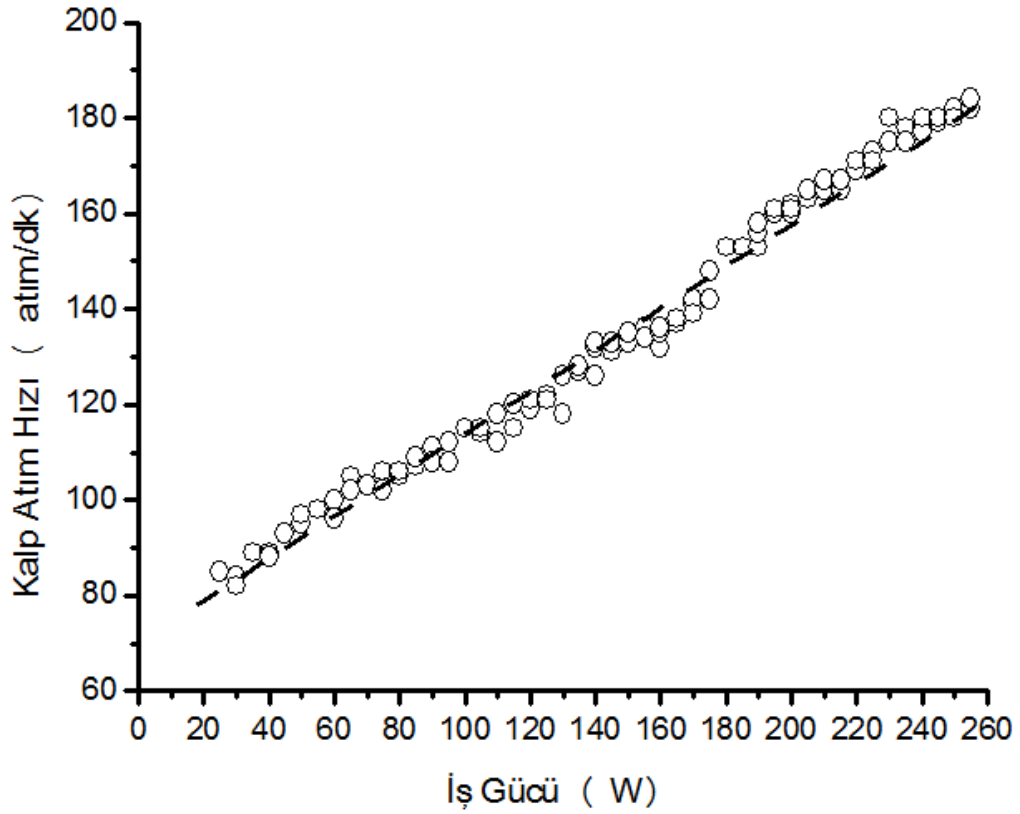
Denekler	W_0	W_{20}	$W_{AE<\%25/kg}$	$W_{AE/kg}$	$W_{SKN/kg}$	$W_{max/kg}$
	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)
1	7.9	11.4	24.0	31.2	36.5	50.3
2	8.7	9.9	18.1	23.1	26.4	34.6
3	7.6	9.4	16.9	20.6	23.4	36.1
4	11.7	10.6	20.4	26.0	31.5	39.7
5	8.9	9.7	17.1	19.9	21.7	37.5
6	7.9	12.7	21.2	29.4	32.8	44.7
7	8.6	9.9	13.7	18.6	20.8	36.5
8	7.6	10.6	20.2	26.4	31.3	45.9
9	6.5	7.0	18.8	23.2	25.1	41.8
10	5.6	7.8	16.4	22.1	29.4	40.3
11	8.1	8.0	18.9	23.5	28.5	34.7
Ort\pm(SH)	8.1 \pm 0.4	9.7 \pm 0.4	18.7 \pm 0.8	24.0 \pm 1.1	27.9 \pm 1.4	40.2 \pm 1.5



Şekil 5.1: Örnek bir deneğin (denek 3) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında O₂ alım ile artan iş gücü arasındaki ilişki. (kesik çizgi iş gücü ile VO₂ arasındaki doğrusallığı göstermektedir). (Lineer Regresyon Analizi, R=0.97779, p< 0.0001).

5.1.2. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde Kalp Atım Hızının Verdiği Cevaplar

Artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında deneklerin kalp atım hızları ile iş güçleri arasında kısmen farklılık göstermekle birlikte, deneklerin çoğunluğunda kalp atım hızı ile iş gücü arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edildi (Şekil 5.2).



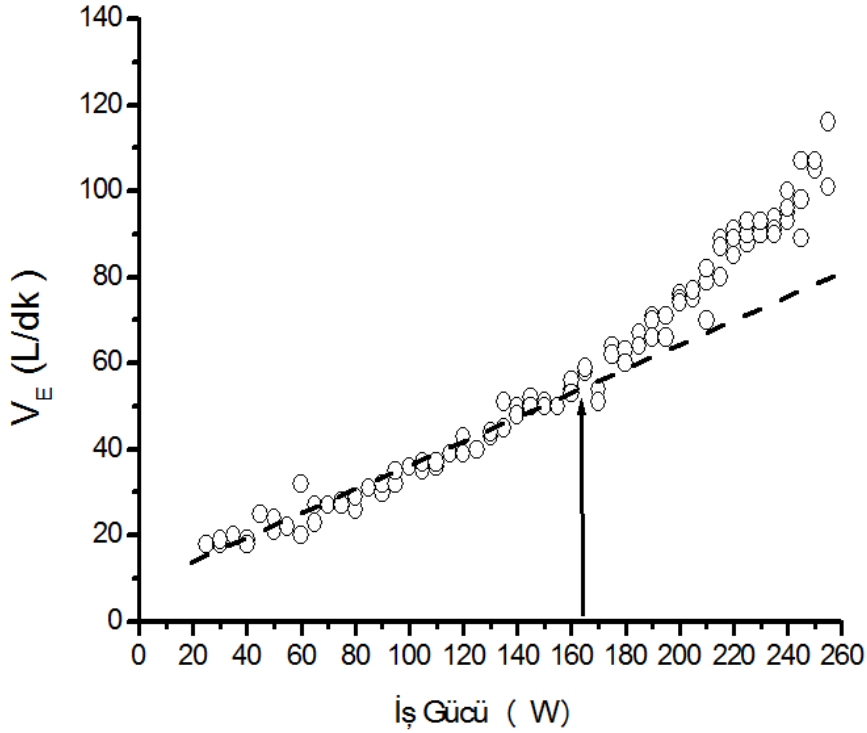
Şekil 5.2: Örnek bir deneğin (denek 4) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde kalp atım hızı ile iş gücü arasındaki ilişki (kesik çizgi iş gücü ile kalp atım hızı arasındaki doğrusallığı göstermektedir). (Lineer Regresyon Analizi, $R=0.99386$, $p<0.0001$)

W_0 'da deneklerin kalp atım hızları ortalama olarak 75 ± 2 atım/dk, W_{20} 'de kalp atım hızları ortalama olarak 92 ± 2 atım/dk olarak tespit edildi. İş gücünün 15'er W olarak arttığı yükleme döneminde ise deneklerin kalp atım hızları artarak $W_{AE<25/kg}$ 'da 122 ± 5 atım/dk, $W_{AE/kg}$ 'de 134 ± 4 atım/dk, $W_{SKN/kg}$ 'de 150 ± 3 atım/dk ve $W_{max/kg}$ 'da ise 182 ± 2 atım/dk değerine ulaştı (Tablo 5.1). Denekler egzersiz sırasında karvonen metodu ile hedeflenen maksimal kalp atım değerlerine ulaştılar.

5.1.3. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde Solunum Parametreleri

Deneklerin artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdikleri ortalama V_E cevapları Tablo 5.1 de verilmiştir. Örnek bir denneğin egzersiz sırasında verdiği cevap Şekil 5.3 te verilmiştir.

V_E (L/dk) değeri ortalama olarak W_0 'da 16 ± 0.4 L/dk, W_{20} 'de 19 ± 0.7 L/dk olarak bulundu (Tablo 5.1). Yükleme döneminde iş gücünün artmasıyla orantılı olarak V_E 'de de artış görüldü (Şekil 5.3). V_E 'nin $W_{AE < \%25}$ 'da 34 ± 1.6 L/dk, W_{AE} 'de 46 ± 2.6 L/dk, W_{SKN} 'de 58 ± 3.4 L/dk ve W_{max} da ise 105 ± 4.8 L/dk olduğu tespit edildi (Tablo 5.1).



Şekil 5.3: Örnek bir denekte (denek 4) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde V_E -İş Gücü arasındaki ilişki (kesik çizgi iş gücü ile V_E arasındaki doğrusallığı, dikey çizgi AE'yi göstermektedir). (Lineer Regresyon Analizi, $R=0.9761$, $p<0.0001$)

Deneklerin SS değeri ortalama olarak W_0 'da 16 ± 0.6 nefes/dk, W_{20} 'de 20 ± 1.5 nefes/dk olarak bulundu (Tablo 5.1). Yükleme döneminde iş gücünün artmasıyla orantılı olarak SS'de de artış görüldü. $SS_{W_{AE}<25\%}$ 'da 24 ± 1.8 nefes/dk,

W_{AE} 'de 26 ± 2.1 nefes/dk, W_{SKN} 'de 29 ± 1.8 nefes/dk ve W_{max} da ise 45 ± 2.7 nefes/dk olarak tespit edildi (Tablo 5.1).

Deneklerin V_T (L) değerleri ortalama olarak W_0 'da 0.97 ± 0.0 L, W_{20} 'de 1.02 ± 0.0 L olarak bulundu (Tablo 5.1). Yükleme döneminde iş gücünün artmasıyla orantılı olarak V_T 'de de artış görüldü. V_T $W_{AE}<25\%$ 'da 1.46 ± 0.1 L, W_{AE} 'de 1.92 ± 0.1 L, W_{SKN} 'de 1.96 ± 0.1 L ve W_{max} 'da ise 2.36 ± 0.1 L olduğu tespit edildi (Tablo 5.1).

5.1.4. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testinde V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevapları

Deneklerin istirahat ve 20 W ısınma dönemindeki V_E/VO_2 değerleri sırası ile 29.5 ± 2.4 ve 27.3 ± 1.1 bulundu. Bu iki değer istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmedi ($p=0.1$). Yükleme döneminin başlamasıyla birlikte V_E/VO_2 azalmaya başlayarak AE'deki iş gücünde 26.2 ± 0.9 değerine düşmüştür (Tablo 5.1). AE üzerinde iş gücünün artmaya devam etmesi ile V_E/VO_2 artış göstererek SKN'ye denk gelen iş gücünde 27.8 ± 1.0 değerine ulaştı. AE ve SKN'deki V_E/VO_2 değerleri arasında anlamlı farklılık görülmedi ($p=0.05$). Maksimal egzersizde ise 35.1 ± 1.2 değeri elde edildi (Tablo 5.1). SKN ve maksimal egzersizdeki V_E/VO_2 değerleri anlamlı farklı bulundu ($p<0.0001$).

Egzersize katılan deneklerin istirahat ve 20 W ısınma dönemindeki V_E/VCO_2 değerleri sırası ile 32.2 ± 2.3 ve 30.0 ± 1.0 bulundu. Bu iki değer

istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermedi ($p=0.1$). Egzersiz testinin iş gücünün düzenli olarak arttığı yükleme döneminin başlamasıyla birlikte V_E/V_{CO_2} azalmaya başlayarak AE'deki iş gücünde 25.7 ± 0.8 değerine azalmıştır (Tablo 5.1). İş gücünün AE üzerine çıkması ile V_E/V_{CO_2} 'de SKN'ye denk gelen iş gücüne kadar herhangi bir istatistiksel artış görülmemiştir 26.2 ± 0.7 ($p=0.3$). Deneklerin maksimal egzersiz kapasitelerinde ulaştıkları V_E/V_{CO_2} değeri ise 32.2 ± 2.3 olarak bulundu (Tablo 5.1). SKN ve maksimal egzersizdeki V_E/V_{CO_2} değerleri anlamlı farklılık göstermiştir ($p<0.0001$).

5.2. Sabit Yük Egzersiz Testleri

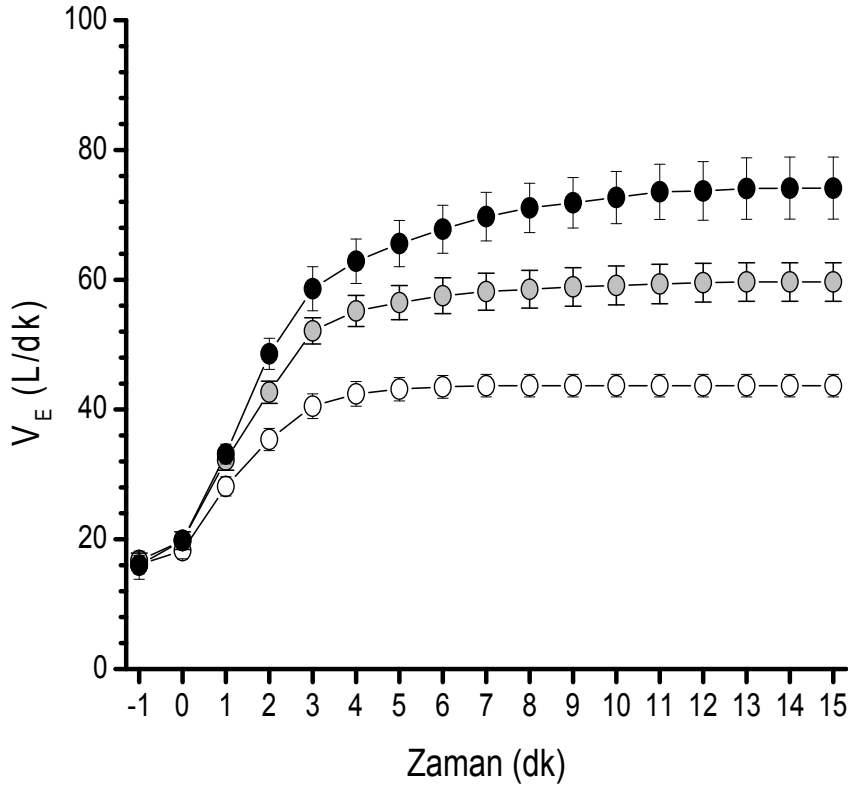
Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi ile deneklere uygulanacak olan iş gücü değerleri akciğer gaz değişim parametreleri kullanılarak (non-invaziv olarak) hesaplandı. AE baz alınarak deneklere $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} 'de olmak üzere üç farklı sabit yük testi uygulandı.

5.2.1. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde V_E , SS ve V_T Cevapları

Üç farklı şiddette yapılan sabit yük egzersiz testleri sırasında deneklerin verdikleri V_E cevapları (ortalama \pm SH) olarak Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

Deneklerin $W_{<AE\%25}$ egzersiz testindeki V_E değerleri ortalama olarak W_0 döneminde 16 ± 1.4 L/dk, W_{20} döneminde 18 ± 1.2 L/dk ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 43 ± 1.7 L/dk bulundu. Sabit egzersiz testinde, 15 dakikalık protokolün sonunda $W_{<AE\%25}$ ile W_{AE} 'daki V_E değeri ($p<0.0001$) ve $W_{<AE\%25}$ ile W_{SKN} değeri ise ($p<0.0001$) olup bu değerler istatistiksel olarak anlamlı farklı bulundu. W_{AE} için V_E değerleri ortalama olarak W_0 döneminde 16 ± 1.1 L/dk, W_{20} döneminde 19 ± 1.3 L/dk ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 59 ± 2.9 L/dk

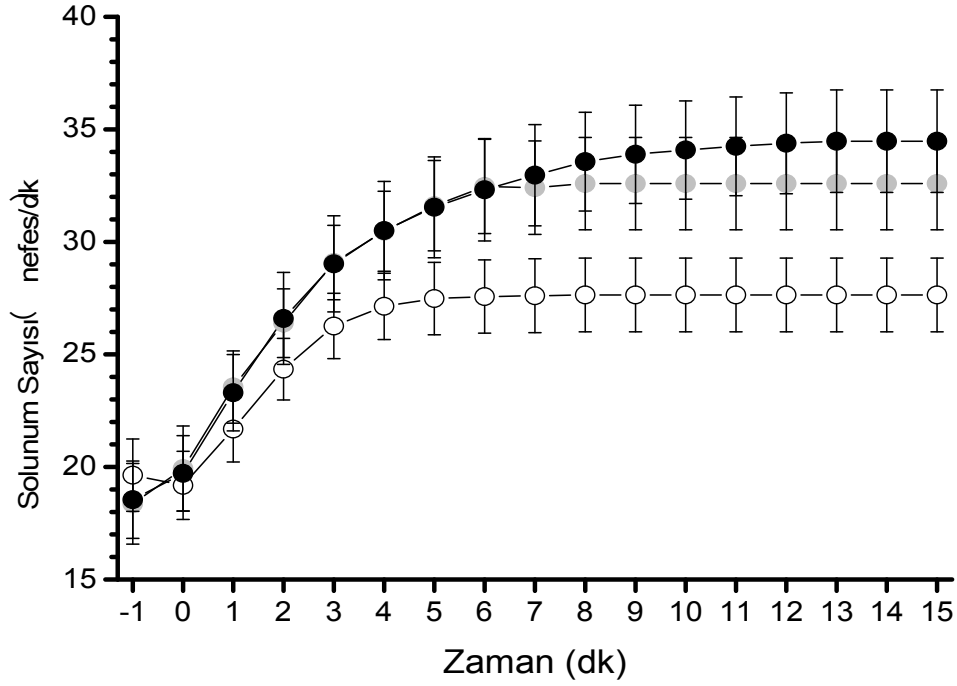
bulundu. Bu egzersiz protokolünde 15 dakikanın sonunda W_{AE} değeri W_{SKN} değeri ile istatistiksel olarak farklı bulundu ($p<0.0001$). W_{SKN} için V_E değerleri ortalama olarak W_0 döneminde 16 ± 2.1 L/dk, W_{20} döneminde 19 ± 1.2 L/dk ve testinin sonunda W_{max} döneminde ise 74 ± 4.7 L/dk bulundu.



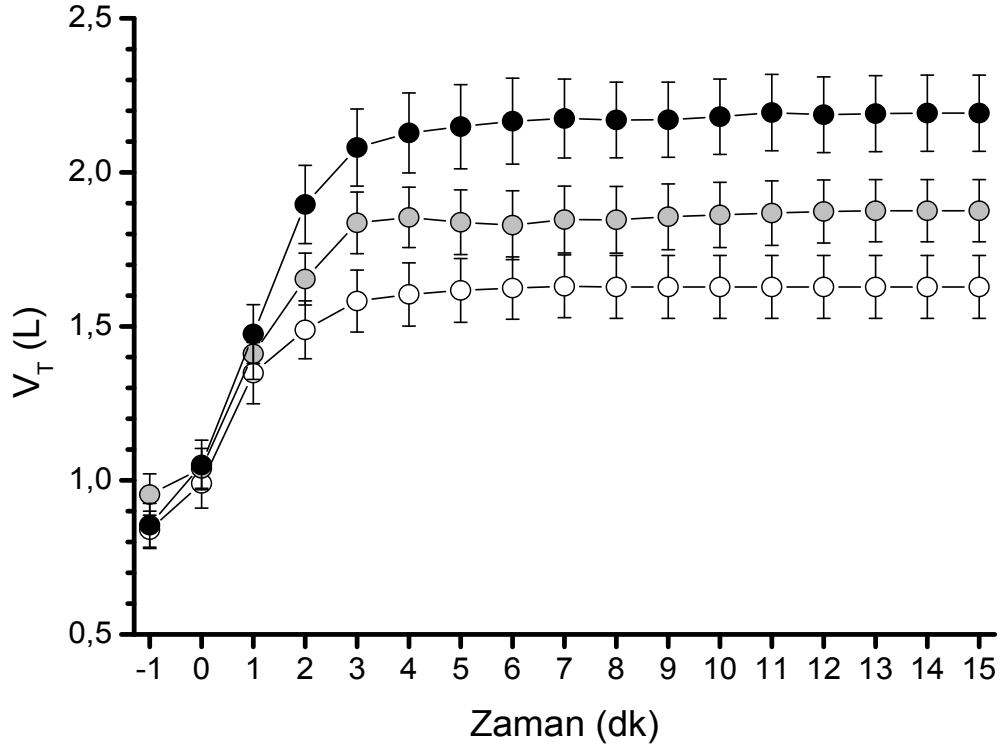
Şekil 5.4: Deneklerin $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde dakikadaki ortalama ($\pm SH$) V_E değerleri. Yuvarlak içi boş daireler $W_{<AE\%25}$, içi gri yuvarlak daireler W_{AE} , içi siyah yuvarlak daireler W_{SKN} iş gücündeki V_E değerini göstermektedir (-1. dakika istirahat seviyesindeki değeri, 0. dakika testin ısınma sonu değerini, diğer değerler ise iş gücünün yüklenmesi dönemi değerlerini göstermektedir).

Üç farklı şiddette yapılan sabit yük egzersiz testleri sırasında deneklerin verdikleri solunum sayısı (SS) cevapları (ortalama $\pm SH$) olarak Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Deneklerin $W_{<AE\%25}$ için SS değerleri ortalama olarak W_0 döneminde 19 ± 1.6 nefes/dk, W_{20} döneminde 19 ± 1.5 nefes/dk ve testinin

sonunda W_{max} döneminde ise 27 ± 1.6 nefes/dk bulundu. Bu 15 dakikalık sabit yük egzersiz test protokolü sonu $W_{<AE\%25}$ ile W_{AE} 'deki SS değeri ($p < 0.0001$) ve $W_{<AE\%25}$ ile W_{SKN} 'deki SS değeri ise ($p < 0.0001$) olup, istatistiksel olarak anlamlı farklı bulundu.



Şekil 5.5: Deneklerin $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde ortalama ($\pm SH$) solunum sayısı değerleri. Yuvarlak içi boş daireler $W_{<AE\%25}$, içi gri yuvarlak daireler W_{AE} , içi siyah yuvarlak daireler W_{SKN} iş gücündeki solunum sayısı değerini göstermektedir (-1. dakika istirahat seviyesindeki değeri, 0. dakika testin ısınma sonu değerini, diğer değerler ise iş gücünün yüklenmesi dönemi değerlerini göstermektedir).



Şekil 5.6: Deneklerin $W_{<AE\%25}$, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VT değerleri. Yuvarlak içi boş daireler $W_{<AE\%25}$, içi gri yuvarlak daireler WAE, içi siyah yuvarlak daireler WSKN iş gücündeki VT değerini (-1. dakika istirahat seviyesindeki değeri, 0. dakika testin ısınma sonu değerini, diğer değerler ise iş gücünün yüklenmesi dönemi değerlerini göstermektedir).

W_{AE} için SS değerleri W_0 döneminde 18 ± 1.7 nefes/dk, W_{20} döneminde 19 ± 1.8 nefes/dk ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 32 ± 2.0 nefes/dk bulundu. Bu egzersiz protokolünün sonunda W_{AE} ve W_{SKN} değerleri arasındaki SS değeri istatistiksel olarak anlamlı farklı bulunmadı ($p=0.06$).

W_{SKN} için SS değerleri de ortalama olarak W_0 döneminde 18 ± 1.7 nefes/dk, W_{20} döneminde 19 ± 1.6 nefes/dk ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 34 ± 2.2 nefes/dk bulundu.

Üç farklı şiddette yapılan sabit yük egzersiz testleri sırasında deneklerin verdikleri solunum derinliği (Tidal Volüm) (V_T) cevapları (ortalama \pm SH) olarak Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

$W_{<AE\%25}$ için V_T değerleri ortalama olarak W_0 döneminde 0.83 ± 0.06 L , W_{20} döneminde 0.99 ± 0.08 L ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 1.62 ± 0.1 L bulundu. Bu egzersiz protokolündeki 15 dakikanın sonu $W_{<AE\%25}$ 'deki V_T değeri W_{AE} değeri ile ($p<0.0001$) ve W_{SKN} de elde edilen değer ile ($p<0.0001$) olup bu değerler istatistiksel olarak anlamlı farklı bulundu. W_{AE} için V_T değerleri W_0 döneminde 0.95 ± 0.06 nefes/dk , W_{20} döneminde 1.03 ± 0.06 L ve testinin sonunda W_{max} döneminde ise 1.87 ± 0.1 L bulundu. Bu egzersiz protokolündeki 15 dakikalık egzersiz sonunda W_{AE} ve W_{SKN} değeri ile istatistiksel olarak farklı bulundu ($p<0.0001$). W_{SKN} için V_T değerleri de ortalama olarak W_0 döneminde 0.85 ± 0.07 L, W_{20} döneminde 1.04 ± 0.08 L ve testin sonunda W_{max} döneminde ise 2.19 ± 0.1 L bulundu.

5.2.2. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde VO_2 ve VCO_2 Cevapları

Üç farklı şiddette yapılan sabit yük egzersiz testleri sırasında deneklerin verdikleri VO_2 ve VCO_2 değerleri ortalama (\pm SH) olarak Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Deneklerin VO_2 'leri ortalama $W_{<AE\%25}$ 'de istirahat döneminde 578 ± 44 ml/dk, ısınma döneminde 701 ± 28 ml/dk ve maksimum iş gücünde 1656 ± 54 ml/dk olarak bulundu. W_{AE} istirahat döneminde 585 ± 33 ml/dk, ısınma döneminde 710 ± 15 ml/dk ve maksimum iş gücünde 2040 ± 57 ml/dk olarak bulundu. W_{SKN} 'de

ise istirahat döneminde 533 ± 53 ml/dk, ısınma döneminde 712 ± 23 ml/dk ve maksimum iş gücünde 2389 ± 82 ml/dk olarak bulundu.

Tablo 5.3: Deneklerin anaerobik eşğin %25 altı ($W_{<AE\%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VO_2 ve VCO_2 cevaplarının ortalama ($\pm SH$) değerleri (n=11).

	VO_2			VCO_2		
	(ml/dk)					
	W_0	W_{20}	W_{max}	W_0	W_{20}	W_{max}
$W_{<AE\%25}$	578 ± 44	701 ± 28	1656 ± 54	511 ± 42	608 ± 35	1598 ± 55
W_{AE}	585 ± 33	710 ± 15	2040 ± 57	546 ± 35	649 ± 32	2045 ± 97
W_{SKN}	533 ± 53	712 ± 23	2389 ± 82	495 ± 56	696 ± 30	2320 ± 105

Bu egzersiz protokolündeki 15 dakikalık egzersiz sonu $W_{<AE\%25}$ değeri W_{AE} değeri ile ($p<0.0001$) ve W_{SKN} de elde edilen değer ($p<0.0001$) ile istatistiksel olarak anlamlı farklı bulundu. W_{AE} değeri W_{SKN} değeri ($p<0.0001$) ile de istatistiksel olarak anlamlı farklı bulundu. (Tablo 5.3).

Deneklerin VCO_2 'leri ortalama $W_{<AE\%25}$ 'de istirahat döneminde 511 ± 42 ml/dk, ısınma döneminde 608 ± 35 ml/dk ve maksimum iş gücünde 1598 ± 55 ml/dk olarak bulundu. W_{AE} istirahat döneminde 546 ± 35 ml/dk, ısınma döneminde 649 ± 32 ml/dk ve maksimum iş gücünde 2045 ± 97 ml/dk olarak bulundu. W_{SKN} 'de ise istirahat döneminde 495 ± 56 ml/dk, ısınma döneminde 696 ± 30 ml/dk ve maksimum iş gücünde 2320 ± 105 ml/dk olarak bulundu. Bu egzersiz protokolündeki 15 dakikalık egzersiz sonu $W_{<AE\%25}$ değeri W_{AE} değeri ile ($p<0.0001$) ve W_{SKN} de elde edilen değer ($p<0.0001$) ile istatistiksel olarak

anlamli farkli bulundu. W_{AE} değeri W_{SKN} değeri ($p=0.003$) ile de istatistiksel olarak anlamli farklılık gözlemlendi. (Tablo 5.3).

Deneklerin kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı $W_{AE<25/kg}$ 'de 17.07 ml/kg/dk ile 27.5 ml/kg/dk arasında değişiklik göstermekte olup ortalama ($\pm SH$) 22.2 ml/kg/dk bulundu (Tablo 5.4). $W_{AE/kg}$ 'de kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı 20.4 ml/kg/dk ile 34.03 ml/kg/dk arasında değişip ortalama ($\pm SH$) 27.3 ml/kg/dk bulundu. Kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı $W_{SKN/kg}$ de ise 25.1 ml/kg/dk ile 39.3 ml/kg/dk değerleri arasında değişip ortalama ($\pm SH$) 32.1 ml/kg/dk bulundu (Tablo 5.4).

Tablo 5.4: Sabit yük egzersiz testinin anaerobik eğiğin %25 altı ($W_{AE<25}$), anaerobik eğik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktasındaki (W_{SKN}) kilogram vücut ağırlığı başına maksimal O_2 alım değerleri (VO_2/kg) ortalamaları ($\pm SH$).

Denekler	$W_{AE<25/kg}$	$W_{AE/kg}$	$W_{SKN/kg}$
	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)	VO_2/kg (ml/kg)
1	27.5	34.0	39.3
2	20.9	25.9	33.1
3	20.5	25.9	28.3
4	22.2	29.0	35.7
5	19.9	27.6	30.3
6	24.7	30.3	37.3
7	17.1	20.4	25.3
8	22.6	27.6	36.0
9	19.8	25.7	25.1
10	26.2	26.2	29.8
11	22.6	28.5	32.6
Ort\pm(SH)	22.2 \pm 0.9	27.3 \pm 1.0	32.1 \pm 1.4

5.2.3. Sabit Yük Egzersiz Testlerinde V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 Cevapları

Üç farklı şiddette yapılan sabit yük egzersiz testleri sırasında deneklerin verdikleri V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 değerleri ortalama ($\pm SH$) olarak Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5: Deneklerin anaerobik eşiğin %25 altı ($W_{<AE\%25}$), anaerobik eşik (W_{AE}) ve solunum kompanzasyon noktası (W_{SKN}) olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testlerindeki solunum oksijen eşitliği (V_E/VO_2) ve solunum karbondioksit eşitliği (V_E/VCO_2) ortalama ($\pm SH$) değerleri (n=11).

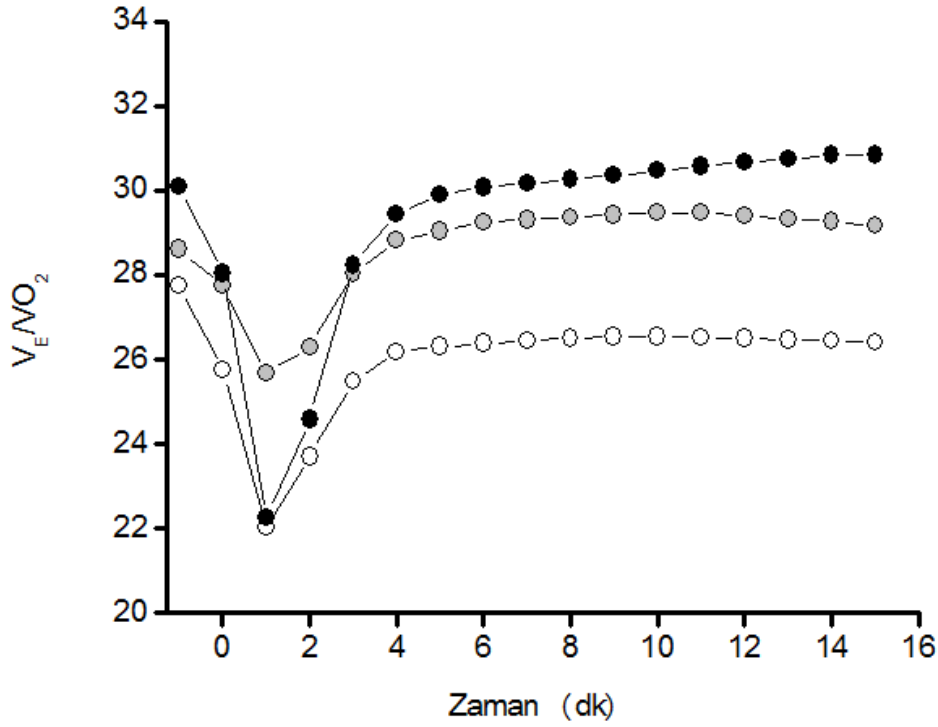
	V_E/VO_2			V_E/VCO_2		
	W_0	W_{20}	W_{max}	W_0	W_{20}	W_{max}
$W_{<AE\%25}$	27.7 \pm 0.9	25.7 \pm 0.9	26.4 \pm 0.7	31.4 \pm 0.7	29.8 \pm 0.7	27.3 \pm 0.5
W_{AE}	28.6 \pm 1.3	27.7 \pm 1.5	29.1 \pm 0.9	30.7 \pm 1.0	30.4 \pm 1.0	29.2 \pm 0.8
W_{SKN}	30.1 \pm 2.6	28.0 \pm 1.8	30.8 \pm 1.2	32.1 \pm 1.6	28.4 \pm 1.2	31.8 \pm 1.2

$W_{<AE\%25}$ 'de V_E/VO_2 değeri istirahatta 27.7 \pm 0.9, ısınmada 25.7 \pm 0.9 olup uygulanan iş gücünü takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.7). İlk bir iki dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (22.0 \pm 0.7). Bu en düşük seviyeden sonra V_E/VO_2 artış gösterip yaklaşık altıncı dakikada 26.4 \pm 0.7 değerinde denge durumuna ulaşır testin sonuna kadar dengede devam etti (Şekil 5.7). $W_{<AE\%25}$ 'deki sabit yük egzersiz testinin en düşük V_E/VO_2 cevabı (22.0 \pm 0.7) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen V_E/VO_2 ile (26.2 \pm 0.9) istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0.0001$). Sabit yük egzersiz testinin en düşük noktasındaki ile sabit yük egzersiz testinin sonunda

elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu ($p<0.0001$).

W_{AE} 'de V_E/VO_2 değeri istirahatta 28.6 ± 1.3 , ısınmada 27.7 ± 1.5 olup iş gücünün uygulanmasını takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.7). İlk bir iki dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (25.6 ± 0.7). En düşük seviyeye ulaştıktan sonra V_E/VO_2 artmaya başlayıp yaklaşık sekizinci dakikada 29.1 ± 0.9 değerinde denge durumuna ulaşıp test bitimine kadar denge durumu devam etti (Şekil 5.7). Sabit yük egzersiz testinin W_{AE} 'deki en düşük V_E/VO_2 cevabı (25.6 ± 0.7) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen V_E/VO_2 ile (26.2 ± 0.9) istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemektedir ($p=0.6$). Artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin AE noktasındaki V_E/VO_2 değeri ile sabit yük egzersiz testinin sonunda elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlendi ($p<0.0001$).

W_{SKN} 'de V_E/VO_2 değeri istirahatta 30.0 ± 2.6 , ısınmada 28.0 ± 1.8 olup iş gücünün uygulanmasını takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.7). İlk bir iki dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (22.2 ± 0.9). En düşük seviyeye ulaştıktan sonra V_E/VO_2 artmaya başlayıp yaklaşık onuncu dakikada 30.8 ± 1.2 değerinde denge durumuna ulaşıp test bitimine kadar denge durumu devam etti (Şekil 5.7). Sabit yük egzersiz testinin W_{SKN} 'deki en düşük V_E/VO_2 cevabı (22.2 ± 0.9) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen V_E/VO_2 ile (26.2 ± 0.9) istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu ($p<0.0001$).



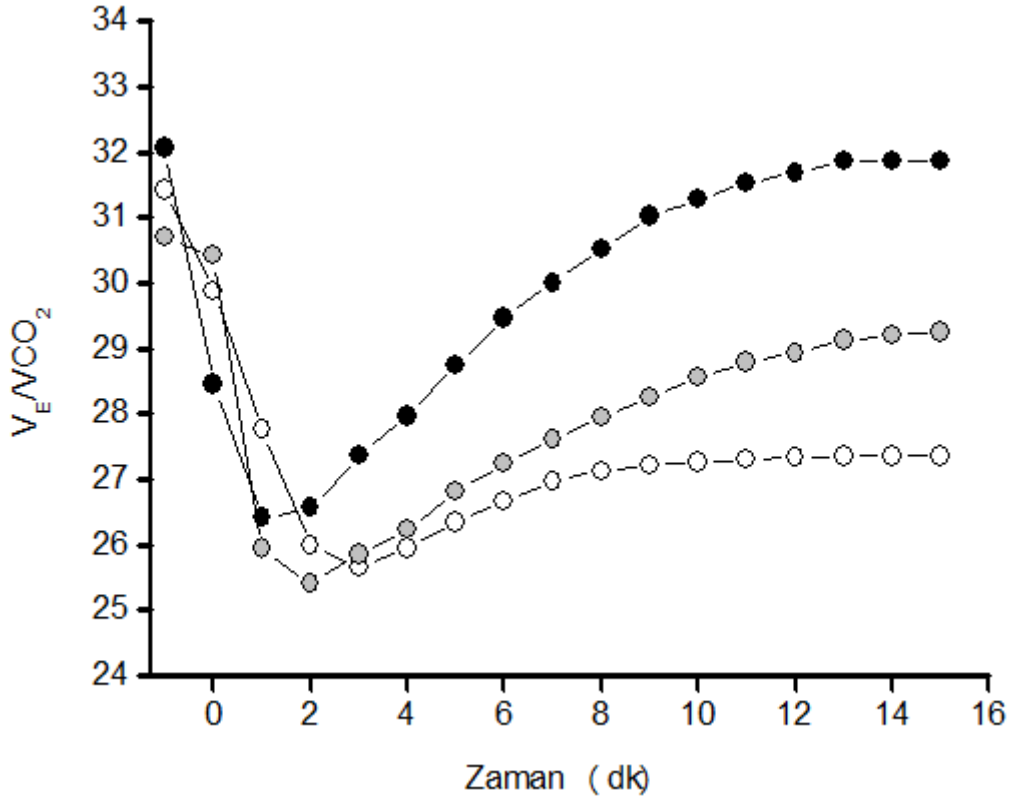
Şekil 5.7: Deneklerin W<AE%25, WAE ve WSKN olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde VE/VO₂ değerleri. Yuvarlak içi boş daireler W<AE%25 , içi gri yuvarlak daireler WAE , içi siyah yuvarlak daireler WSKN iş gücündeki VE/VO₂ değeri (-1. dakika istirahat seviyesindeki değeri, 0. dakika testin ısınma sonu değerini, diğer değerler ise iş gücünün yüklenmesi dönemi değerlerini göstermektedir).

Artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin AE noktasındaki VE/VO₂ değeri ile sabit yük egzersiz testinin W_{SKN} sonunda elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu (p<0.0001).

W<AE%25’de VE/VCO₂ değeri istirahatta 31.4±0.7, ısınmada 29.8±0.7 olup iş gücünün uygulanmasını takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.8). ilk 3 dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (25.6±0.5). Bu en düşük seviyeden sonra VE/VCO₂ artış gösterip yaklaşık 8. dakikada 27.3±0.5 değerinde denge durumuna ulaşmış testin sonuna kadar dengede devam etti (Şekil 5.8). W<AE%25’deki sabit yük

egzersiz testinin en düşük V_E/VCO_2 cevabı (25.6 ± 0.5) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen V_E/VCO_2 ile (25.7 ± 0.8) istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemektedir ($p=0.5$). Sabit yük egzersiz testinin sonunda elde edilen V_E/VCO_2 değerleri ile artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin AE noktasındaki V_E/VCO_2 değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı ($p=0.2$).

W_{AE} 'de V_E/VCO_2 değeri istirahatta 30.7 ± 1.0 , ısınmada 30.4 ± 1.0 olup iş gücünün uygulanmasını takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.8). İlk iki dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (25.4 ± 0.5). En düşük seviyeye ulaştıktan sonra V_E/VCO_2 artmaya başlayıp yaklaşık on ikinci dakikada 29.2 ± 0.8 değerinde denge durumuna ulaşip test bitimine kadar denge durumu devam etti (Şekil 5.8). Sabit yük egzersiz testinin W_{AE} 'deki en düşük V_E/VCO_2 cevabı (25.4 ± 0.5) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen V_E/VCO_2 ile (25.7 ± 0.8) istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemektedir ($p=0.4$). Artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin AE noktasındaki V_E/VCO_2 değeri ile sabit yük egzersiz testinin sonunda elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu ($p<0.0001$).



Şekil 5.8: Deneklerin $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} olmak üzere üç farklı iş gücündeki sabit yük egzersiz testinde V_E/V_{CO_2} değerleri. Yuvarlak içi boş daireler $W_{<AE\%25}$, içi gri yuvarlak daireler W_{AE} , içi siyah yuvarlak daireler W_{SKN} iş gücündeki V_E/V_{CO_2} değeri (-1. dakika istirahat seviyesindeki değeri, 0. dakika testin ısınma sonu değerini, diğer değerler ise iş gücünün yüklenmesi dönemi değerlerini göstermektedir).

W_{SKN} 'de V_E/V_{CO_2} değeri istirahatta 32.0 ± 1.6 , ısınmada 28.4 ± 1.2 olup iş gücünün uygulanmasını takiben hızlı şekilde azalmaya başladı (Şekil 5.8). İlk iki dakika içinde en düşük seviyesine ulaştı (26.4 ± 0.7). En düşük seviyeye ulaştıktan sonra V_E/V_{CO_2} artmaya başlayıp yaklaşık 10. dakikada 31.8 ± 1.2 değerinde denge durumuna ulaşıp test bitimine kadar denge durumu devam etti (Şekil 5.8).

Sabit yük egzersiz testinin W_{SKN} 'deki en düşük V_E/V_{CO_2} cevabı (26.4 ± 0.7) artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde AE noktasında elde edilen

V_E/VCO_2 ile (25.7 ± 0.8) istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemektedir ($p=0.8$). Artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin AE noktasındaki V_E/VCO_2 değeri ile sabit yük egzersiz testinin sonunda elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı ($p=0.8$).

5.2.4. Sabit Yük Egzersiz Testleri ile Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testlerindeki En Düşük V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 Değerlerinin Karşılaştırılması

Sabit yük egzersiz testlerinde en düşük değerler ilk dört dakika içerisinde elde edildi. İlk dört dakika sırasında ölçülen en düşük V_E/VO_2 değerleri $W_{<AE\%25}$ 'de 21.5 ± 0.7 ($p<0.0001$), W_{AE} 23.3 ± 0.9 ($p<0.0001$) ve W_{SKN} 22.2 ± 1.0 ($p<0.0001$) olarak bulundu (Tablo 5.6).

Tablo 5.6: Sabit yük egzersiz testlerinin $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} iş gücündeki en düşük V_E/VO_2 değerleri ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin W_{AE} iş gücündeki en düşük V_E/VO_2 değerlerinin ortalamaları ($\pm SH$) (n=11).

Denekler	V_E/VO_2			
	AE_{Ramp}	$W_{<AE\%25}$	W_{AE}	W_{SKN}
1	23.9	20.3	21.3	19.6
2	21.5	22.4	21.9	19.3
3	26.3	23.1	27.8	26.7
4	27.5	19.4	22.3	20.0
5	28.3	22.5	26.0	24.4
6	29.8	28.0	26.3	27.6
7	26.8	21.5	26.6	25.6
8	27.5	19.9	22.0	23.7
9	22.9	19.4	17.6	17.6
10	22.1	20.5	20.5	19.0
11	29.2	20.0	23.6	20.9
Ort\pm(SH)	26.2 \pm 0.9	21.5 \pm 0.7	23.3 \pm 0.9	22.2 \pm 1.0

Bu değerler, şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında W_{AE} 'de elde edilen en düşük değer olan 26.2 \pm 0.9 istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 5.6).

Sabit yük egzersiz testlerinin ilk dört dakikası sırasında ölçülen en düşük V_E/VCO_2 değeri ise $W_{<AE\%25}$ 'de 25.1 \pm 0.5 (p=0.5), W_{AE} 25.0 \pm 0.5 (p=0.4) ve W_{SKN} 25.4 \pm 0.7 (p=0.8) olarak bulundu (Tablo 5.7).

Tablo 5.7: Sabit yük egzersiz testlerinin $W_{<AE\%25}$, W_{AE} ve W_{SKN} iş gücündeki en düşük V_E/VCO_2 değerleri ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin W_{AE} iş gücündeki en düşük V_E/VCO_2 değerlerinin ortalamaları ($\pm SH$) (n=11).

Denekler	V_E/VCO_2			
	AE_{Ramp}	$W_{<AE\%25}$	W_{AE}	W_{SKN}
1	24.5	26.8	27.5	28.3
2	20.8	24.6	22.3	20.3
3	24.2	23.3	23.7	26.2
4	24.8	23.2	23.0	26.5
5	25.1	24.4	23.8	25.4
6	28.6	28.7	26.8	29.0
7	24.4	23.3	24.2	23.3
8	27.5	25.6	26.1	24.2
9	26.3	24.6	24.7	23.4
10	25.2	24.8	24.8	25.6
11	30.6	27.1	28.2	27.8
Ort\pm(SH)	25.7 \pm 0.8	25.1 \pm 0.5	25.0 \pm 0.5	25.4 \pm 0.7

Bu değerler şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında W_{AE} 'de edilen V_E/VCO_2 değeri olan 25.7 \pm 0.8 ile istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermemektedir (Tablo 5.7).

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testinin Cevapları

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi iş gücünün düzenli ve kademeli olarak artmasına bağlı olarak vücudun metabolik, kardiyak ve respiratuvar sistemlerinin verdiği cevapların belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu egzersiz test protokolü ilk defa Bruno Balke tarafından literatüre kazandırılmış olup (63), ilerleyen zamanlarda geliştirilerek sporcu, sedanter ve hasta bireylerin organ ve sistemlerinin çalışma durumunun düzgün şekilde ölçülmesine imkan sağlamıştır (44).

Tüm deneklere şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi uygulanarak deneklerin vücut fonksiyonel kapasitelerinin durumları, metabolizmalarının aerobikten anaerobiğe geçme bölgesi olan AE değerleri, solunum hiperventilasyonunun başladığı SKN bölgesi ve maksimal egzersiz kapasiteleri tespit edildi.

Bu çalışmadaki deneklerin AE'deki ortalama iş gücü değeri 130 ± 6 W, W_{max} 'deki ortalama iş gücü değeri 220 ± 8 W olarak tespit edildi. W_{max} ile AE iş gücü oranları ise %59 olarak bulundu. Bu oran literatürde sağlıklı bireyler için normal kabul edilen değerler ile uyum içindedir (2).

Egzersiz sırasında bireylerin ulaştıkları maksimal iş kapasiteleri ve vücut ağırlıkları arasındaki ilişki fitness değerlendirmesinde kullanılan önemli bir parametredir (2, 65). Bu çalışmaya katılan deneklerin iş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testinde kilogram başına maksimal iş gücü değeri 2.93 W/kg olup bu değer literatürdeki normal bulgular ile uyum içindedir (66, 67). Buna ilave olarak deneklerin maksimal egzersiz kapasitelerindeki kilogram başına O_2 tüketim

kapasiteleri de 40.2 ml/kg olup yine normal olarak kabul edilen değerlerle uyum içindedir (2).

VO_2 iş gücü şiddetinin düzenli olarak artmasına cevap olarak testin sonuna kadar lineer artış göstermiştir (Şekil 5.1) (2). Egzersiz sırasında iskelet kaslarının artan metabolik aktivitesi sonucunda artış gösteren CO_2 üretimini dengelemek için solunum sayısında da paralel artışlar gözlenmektedir. V_E ve VCO_2 değerleri AE'ye kadar artan iş gücü ile paralel artış göstermişlerdir (2). Egzersiz sırasında V_E ile VCO_2 arasındaki yakın ilişkinin belirlenip değerlendirilmesi klinik ve spor bilimleri açısından "solunumun etkinliğinin" tanısında kullanılan önemli bir parametredir (2 , 19).

Egzersiz sırasında aerobik metabolizma sonucunda yan ürün olarak üretilen CO_2 'nin ortamdan uzaklaştırılabilmesi için V_E 'nin bu üretim miktarına uygun oranda artış göstermesi gerekmektedir (2, 68). V_E/VCO_2 oranı metabolik yollarla üretilen bir litre CO_2 'in vücuttan atılabilmesi için gerekli olan solunum miktarını tanımlamaktadır. Normal şartlarda bu değer 30 civarında olup azalması ve artması hastalık veya fitnes derecesi göstergesi olarak değerlendirilmektedir (69).

Bu çalışmada istirahatta V_E/VCO_2 oranı ortalama olarak 32.2 bulunmuş ısınma döneminde ise 30.0 civarına azalma göstermiştir. Artan iş gücü ile birlikte V_E/VCO_2 oranı azalarak AE'de 25.7 SKN de ise 26.2 olarak oldukça anlamlı bir düşüş göstermiştir (Tablo 5.1). V_E/VCO_2 değerinin egzersizin başından AE ye kadar olan bölümde azalması pulmoner kan akımı ile gaz değişimi arasındaki etkinliğin gücünü göstermektedir (2). Egzersiz sırasında geline en düşük V_E/VCO_2 oranı kalp hastalarında önemli bir risk değerlendirme kriteri olarak

kullanılmaktadır (70). SKN üzerindeki egzersiz bölgesinde ise V_E/VCO_2 artarak maksimal egzersiz seviyesinde 32.2 değerine ulaşmıştır (Tablo 5.1).

Egzersiz sırasında V_E/VO_2 oranı da istirahatta 29.5'ten anaerobik eşikte 26.2'ye azalma göstermiştir (Tablo 5.1). V_E/VCO_2 oranından farklı olarak SKN de V_E/VO_2 de sistematik artış gözlenmiştir. Egzersize bağlı olarak artan metabolik asidin yanına non-metabolik (laktat ve bunu dengelemeye çalışan bikarbonat tampon sistemi kaynaklı) CO_2 ile solunumun artışıyla V_E ile VO_2 arasındaki ilişkinin V_E lehine bozulması sonucunda V_E/VO_2 oranında artış gözlenmiştir (2). Literatürde V_E/VO_2 oranının bireylerin kardiyak fonksiyonları ile iyi korele olduğu ileri sürülmüştür ve V_E/VO_2 ilişkisi O_2 alım etkinlik eğrisi olarak tanımlanmıştır (71). Buna karşılık V_E/VO_2 oranı kalp hastalarında prognostik değer gibi kullanılsa da V_E/VCO_2 oranı kadar etkin olmadığı gösterilmiştir (72).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında V_E-VCO_2 ilişkisi kalp, akciğer hastaları ve normal bireylerde çalışılmıştır. Solunum etkinliğinin akciğer gaz değişimi ile ölçülen V_E/VCO_2 oranı anaerobik eşikte en düşük seviyeye ulaşmıştır (73). Bu çalışmada elde ettiğimiz en düşük V_E/VCO_2 değeri AE elde edilmiş olup bu değer literatür ile uyumludur. V_E/VCO_2 oranındaki bozulma alveoler ventilasyon/ perfüzyon oranının veya ölü aralık (V_D) / tidal volüm (V_T) oranının bozulduğunu, bunun sonucunda da gaz değişim etkinliğinde bozulmanın meydana geldiğini düşündürmektedir (2).

6.2.Sabit Yük Egzersiz Testlerinin Cevapları

Solunumun etkinliği ve kan-gaz değişiminin durumunu yansıtan önemli kriterler olan V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 genellikle şiddeti düzenli olarak artan yüke

karşı yapılan egzersiz testi sırasında araştırılarak en düşük değerler AE ve SKN de elde edilerek en etkin sonuç olarak kabul edilmektedir (70).

Egzersiz sırasında V_E/V_{CO_2} oranının ölçülerek değerlendirilmesi kalp hastalarında prognoz açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir (74). Bu V_E/V_{CO_2} oranın verdiği bilgilerin VO_{2peak} veya AE ile elde edilenler değer kadar önemli olduğu ileri sürülmüştür (32, 74).

Buna karşılık literatürde AE'de ve SKN'deki iş güçlerinde yapılan sabit yük egzersiz testlerindeki V_E/VO_2 ve V_E/V_{CO_2} oranlarının vereceği cevaplar tam olarak ortaya konulmamıştır.

Bu tez çalışmasında hedeflenen önemli noktalar; hafif iş gücü olarak kabul edilecek olan AE altındaki (%25) sabit yük testindeki, sadece aerobik metabolizma ile gidilen en üst metabolik nokta olan AE'ye denk gelen sabit yük egzersiz testindeki ve metabolizmanın anaerobiğe kaydığı fakat vücut tampon sistemlerince dengelenebildiği en üst egzersiz noktası olan SKN'ye denk gelen iş güçlerindeki testlerde solunum cevabı, solunumun üretilen CO_2 'yi atabilme durumu ve dışarıdan O_2 'yi alabilme durumlarının değerlendirilmesidir.

Normal V_E/V_{CO_2} değeri 23-25 arasında kabul edilmektedir (75, 76). Bu oranın egzersiz sırasında artış göstermesi hiperventilasyon göstergesidir. Bununla birlikte bu orandaki artışlar (azalma göstermemesi) akciğer gaz değişim bozukluğuna bağlı ventilasyon anormalliği ile dolaşım sistemi tarafından yeterince kan sağlanamamasındaki problemlerin göstergesidir. V_E/V_{CO_2} oranının en düşük değeri 34 ve bu değer üzerinde olanlarda azalan solunum etkinliği (artan ölü aralık / tidal volüm oranı) ile yüksek ölüm riskleri bildirilmiştir (32, 60, 76).

Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında elde edilen en düşük V_E/VCO_2 oranı AE de elde edilmiş olup (25.7 ± 0.8) bu değer $W_{<AE\%25}$ sabit yük egzersiz testinde elde edilen en düşük değer (25.1 ± 0.5), W_{AE} sabit yük egzersiz testinde elde edilen en düşük değer (25.0 ± 0.5) ve W_{SKN} deki sabit yük egzersiz testinde elde edilen en düşük değer (25.4 ± 0.7) il istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermemektedir. Şekil 5.8 de görüldüğü gibi en düşük V_E/VCO_2 oranları en düşük seviyelerine sabit yük egzersiz testinin ilk 2-4 dakikalık kısmında inmiştir (Şekil 5.8).

Buna karşılık en düşük seviyeden itibaren artarak testin sonuna doğru denge durumuna ulaşmıştır. Bu 3 farklı şiddetteki sabit yük egzersiz testleri sonundaki V_E/VCO_2 oranları egzersiz sırasında görülen en düşük seviyelerine göre ve artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde elde edilen en düşük seviyelerine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir.

AE'deki iş gücüne denk gelen sabit yük egzersiz testinin önemi, bireyin laktik asit üretmeden (veya kan seviyesinde artış olmadan) ve sadece aerobik enerji sistemleri ile gidebildiği en yüksek iş gücü noktası olmasıdır. AE'deki iş gücü uygulanarak yapılan sabit yük egzersiz testi, hastaların performanslarının artırılması için sık kullanılan bir yöntemdir (38). SKN'de yapılan egzersiz testinde V_E/VCO_2 oranı istirahat, ısınma ve egzersiz sonunda yaklaşık 31 ± 8 olup AE'deki değerinden oldukça yüksektir. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında AE'de V_E/VCO_2 oranı en düşük olmasına rağmen AE'deki sabit yük egzersiz testinde bu oran farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmalarda artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında testin başından SKN noktasına kadar olan sonuçların değerlendirilmesi önerilmiştir. Bu bölümdeki

V_E/V_{CO_2} oranının kalp hastaları açısından prognostik değeri olduğu bildirilmiştir (77). Diğer bir önemli parametre olan egzersiz sırasında V_E/VO_2 cevabı ise V_E/V_{CO_2} de elde edilen kadar önemli sonuçlar vermekle birlikte değişkenlik göstermesi başlıca dezavantajı olmaktadır (Şekil 5.7).

Sonuç olarak: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında AE'de elde edilen en düşük V_E/V_{CO_2} değeri aerobik sabit yük egzersiz testinin ilk 4 dakikası içinde de elde edilmektedir. Egzersiz sırasında V_E/V_{CO_2} değeri V_E/VO_2 değerine göre daha önemli bilgiler sunmaktadır. Sabit yük egzersiz testinde artan tidal volüm nedeni ile azalan V_D/V_T oranı V_E/V_{CO_2} oranının düşmesine neden olmaktadır.

Burada çıkarılması gereken sonuç ve cevap bekleyen en önemli soru ise egzersiz sırasında elde edilen en düşük V_E/V_{CO_2} değeri mi yoksa bu değer sabit kalıp dengelendiği noktanın mı en etkin solunum-dolaşım eşleşmesi olarak kabul edileceğidir.

6.3. Yapılması gereken çalışmalar

Bu tez çalışma grubundaki denekler normal sağlıklı bireylerden oluşmaktadır. Bu çalışmada elde ettiğimiz değerlerin geçerliliği için kalp ve akciğer hastalarından oluşan denek gruplarında testler yapılarak sonuçların güvenilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Böylelikle hastalara uygulanması zor olan ve hastaların enerjilerinin tükenmesine kadar devam etmesi nedeni ile artan yüke karşı yapılan egzersiz yerine eşik altında sabit yük testi ile daha kolay ve daha kısa sürede en az risk ile akciğerlerin ideal ventilasyon/perfüzyon oranı yani en etkin solunum yapısı belirlenmiş olacaktır

7. KAYNAKLAR

- 1- WHO, World Health Report: Health Systems-Improving Performance. Geneva-Switzerland, 2000.
- 2- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
- 3- Palange P, Ward SA. Indications for exercise testing: a critical perspective. In: Eur Res Mon 2010; 1: 221-230.
- 4- Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. Expert Rev Respir Med. Apr 2010; 4: 179–88.
- 5- Stickland MK, Butcher SJ, Marciniuk DD et al. Assessing Exercise Limitation Using Cardiopulmonary Exercise Testing, 2012.
- 6- Hofmann P, Tschakert G. Special needs to prescribe exercise intensity for scientific studies. Cardiol Res Pract 2010.
- 7- Lavie CJ, Milani RV, Mehra MR. Peak exercise oxygen pulse and prognosis in chronic heart failure. Am J Cardiol 2004; 93: 588–593.
- 8- Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. Sports Med 2006; 36: 117-132.
- 9- Whipp BJ, Wagner PD, Agusti A. Factors determining the response to exercise in healthy subjects. In: Clinical Exercise Testing. Ward SA, Palange P. (Editörler). Eur Respir Mon UK 2007 : 1–35.
- 10- Rossiter HB, Kowalchuk JM, Whipp BJ. A test to establish maximum O₂ uptake despite no plateau in the O₂ uptake response to ramp incremental exercise. J Appl Physiol 2006; 100:764-770.
- 11- Green P, Lund LH, Mancini D. Comparison of peak exercise oxygen consumption and the Heart Failure Survival Score for predicting prognosis in women versus men. Am J Cardiol 2007; 99: 399–403.
- 12- Day JR, Rossiter HB, Coats EM, et al. The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. J Appl Physiol 2003; 95: 1901-1907.
- 13- Oliveira RB, Myers J, Araújo CG, et al. Maximal exercise oxygen pulse as a predictor of mortality among male veterans referred for exercise testing. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2009; 16:358-364.
- 14- Richards DR, Mehra MR, Ventura HO, et al. Usefulness of peak oxygen consumption in predicting outcome of heart failure in women versus men. Am J Cardiol 1997; 80: 1236–1238.

- 15- Mezzani A, Grassi B, Jones AM, et al. Speeding of pulmonary VO₂ on-kinetics by light-to-moderate-intensity aerobic exercise training in chronic heart failure: clinical and pathophysiological correlates. *Int J Cardiol* 2012; 167:2189-2195.
- 16- Myers J, Gullestad L, Vagelos R, et al. Cardiopulmonary exercise testing and prognosis in severe heart failure: 14 ml/kg/min revisited. *Am Heart J* 2000; 139: 78-84.
- 17- Corrà U, Giordano A, Mezzani A, et al. Prognostic significance of peak oxygen consumption \leq 10 ml/kg/min in heart failure: context vs. criteria. *Int J Cardiol* 2013; 168:3419-3423.
- 18- Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R, et al. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005; 12: 102-114.
- 19- Ward SA. Ventilatory control in humans: constraints and limitations. *Exp Physiol* 2007; 92: 357-366.
- 20- Hansen JE, Sue DY, Oren A, et al. Relation of oxygen uptake to work rate in normal men and men with circulatory disorders. *Am J Cardiol* 1987; 59: 669–674.
- 21- Whipp BJ, Wagner PD, Agusti A. Factors determining the response to exercise in healthy subjects. In: *Clinical Exercise Testing*. Roca J, Whipp BJ (Editörler) 1997; 6: 3-31.
- 22- Whipp BJ. The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15: 173–191.
- 23- Parikh MN, Lund LH, Goda A, et al. Usefulness of peak exercise oxygen consumption and the Heart Failure Survival Score to predict survival in patients >65 years of age with heart failure. *Am J Cardiol* 2009; 103: 998–1002.
- 24- Skinner JS, Gaskill SE, Rankinen T, et al. Heart rate versus %VO₂max: age, sex, race, initial fitness, and training response-HERITAGE. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 1908-1913.
- 25- Scheuermann BW, Barstow TJ. O₂ uptake kinetics during exercise at peak O₂ uptake. *J Appl Physiol* 2003; 95: 2014–2022.
- 26- Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14: 844–852.
- 27- Douglas CG. Coordination of respiration and circulation with variations in bodily activity. *Lancet* 1927; 213–218.
- 28- Owles WH. Alterations in lactic acid content of the blood as a result of light exercise and associated changes in the CO₂-combining power of the blood and in the alveolar CO₂ pressure. *J Physiol* 1930; 69: 214–237.
- 29- Gassi ER, Bankoff ADP. Anaerobic threshold determination through ventilatory and electromyographic parameters. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2010; 50: 131-135.

- 30- Koike A, Weiler-Ravell D, McKenzie DK, et al. Evidence that the metabolic acidosis threshold is the anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 1990; 68: 2521–2526.
- 31- Plato PA, McNulty M, Crunk SM, et al. Tug Ergun A. Predicting lactate threshold using ventilatory threshold. *Int J Sports Med* 2008; 29: 732-737.
- 32- Gitt AK, Wasserman K, Kilkowski C, et al. Exercise anaerobic threshold and ventilatory efficiency identify heart failure patients for high risk of early death. *Circulation* 2002; 106: 3079–3084.
- 33- Ozcelik O, Ozkan Y, Algul S, Colak R. Beneficial effects of training at the anaerobic threshold in addition to pharmacotherapy on weight loss, body composition, and exercise performance in women with obesity *Patient Pref Adherence*. 2015; 9: 999-1004.
- 34- Astarino TA. Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J Sports Med Phys Fitness* 2000; 40: 209–216.
- 35- Córdova C, Silva VC, Moraes CF, et al. Acute exercise performed close to the anaerobic threshold improves cognitive performance in elderly females. *Braz J Med Biol Res* 2009; 42: 458–464.
- 36- Myers J, Goldsmith RL, Keteyian SJ, et al. The ventilatory anaerobic threshold in heart failure: a multicenter evaluation of reliability. *J Card Fail* 2010; 16: 76-83.
- 37- Pereira DA, Vieira DS, Samora GA, et al. Reproducibility of the determination of anaerobic threshold in patients with heart failure. *Arq Bras Cardiol* 2010; 94: 771–778.
- 38- Ozcelik O, Kelestimur H. Effects of aerobic exercise training on the heart rate work rate relationship and estimation of anaerobic threshold in obese females. *Turk J Med Sci* 2006; 36: 165-170.
- 39- Whipp BJ. Domains of aerobic function and their limiting parameters. In: *The Physiology and Pathophysiology of Exercise Tolerance*. Ward SA (Editor). Plenum Press, New York. Part 3, Chapter 12, 1996; 83-89.
- 40- Colak R, Ozcelik O. Effects of short-period exercise training and orlistat therapy on body composition and maximal power production capacity in obese patients. *Physiol Res*. 2004; 53:53-60.
- 41- Older P. Anaerobic threshold, is it a magic number to determine fitness for surgery? *Perioper Med* 2013; 21:1186-2047.
- 42- Sinclair RC, Danjoux GR, Goodridge V, et al. Determination of the anaerobic threshold in the pre-operative assessment clinic: inter-observer measurement error. *Anaesthesia* 2009; 64: 1192–1195.
- 43- Smith TB, Stonell C, Purkayastha S, et al. Cardiopulmonary exercise testing as a risk assessment method in non cardio-pulmonary surgery: a systematic review. *Anaesthesia* 2009; 64: 883–893.

- 44- Whipp BJ, Davis JA, Torres F, et al. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol* 1981; 50: 217–221.
- 45- Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973; 35: 236–243.
- 46- Whipp BJ, Ward SA, Wasserman K. Respiratory markers of the anaerobic threshold. *Adv Cardiol* 1986; 35: 47–64.
- 47- Stringer W, Casaburi R, Wasserman K. Acid-base regulation during exercise and recovery in humans. *J Appl Physiol* 1992; 72: 954–961.
- 48- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60: 2020–2027.
- 49- Whipp BJ, Davis JA, Wasserman K. Ventilatory control of the 'isocapnic buffering' region in rapidly-incremental exercise. *Respir Physiol* 1989; 76: 357–368.
- 50- Oshima Y, Miyamoto T, Tanaka S, Wadazumi T, Kurihara N, Fujimoto S. Relationship between isocapnic buffering and maximal aerobic capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 76: 409–414.
- 51- Whipp BJ. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol* 2007; 92: 347–355.
- 52- Ward SA. Discriminating features of responses in cardiopulmonary exercise testing. *Eur Respir Mon* 2007; 40: 36–68.
- 53- Antoine-Jonville S, Pichon A, Vazir A, et al. Oxygen uptake efficiency slope, aerobic fitness, and V_(E)-VCO₂ slope in heart failure. *Med Sci Sports Exerc.* 2012; 44: 428–434.
- 54- Niemeijer VM, van 't Veer M, Schep G, et al. Causes of nonlinearity of the oxygen uptake efficiency slope: a prospective study in patients with chronic heart failure. *Eur J Prev Cardiol* 2014; 21: 347–353.
- 55- Mezzani A, Guazzi M. Balancing the evidence on the cardiovascular determinants of oxygen uptake improvement after endurance training in the elderly: What are the next steps? *Eur J Prev Cardiol*, 2015.
- 56- Tumminello G, Guazzi M, Lancellotti P, et al. Exercise ventilation inefficiency in heart failure: pathophysiological and clinical significance. *Eur Heart J* 2007; 28: 673–678.
- 57- Ting H, Sun XG, Chuang ML, et al. A noninvasive assessment of pulmonary perfusion abnormality in patients with primary pulmonary hypertension. *Chest* 2001; 119: 824–832.
- 58- Tsuyuki K, Kimura Y, Chiashi K, et al. Oxygen uptake efficiency slope as monitoring tool for physical training in chronic hemodialysis patients. *Ther Apher Dial* 2003; 7: 461–467.

- 59- Arena R, Myers J, Aslam SS, et al. Peak $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ slope in patients with heart failure: a prognostic comparison. *Am Heart J* 2004; 147:354-360.
- 60- Kleber FX, Vietzke G, Wernecke KD, et al. Impairment of ventilatory efficiency in heart failure: prognostic impact. *Circulation* 2000; 101:2803-2812.
- 61- Utter AC, Nieman DC, Ward AN, et al. Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 603–607.
- 62- Ozcelik O, Ward SA, Whipp BJ. Effect of altered body CO_2 stores on pulmonary gas exchange dynamics during incremental exercise in humans. *Exp Physiol* 1999; 84: 999–1011.
- 63- Balke B, Ware RW. An experimental study of “physical fitness” of Air Force personnel. *U.S. Armed Forces Med. J* 1959; 10: 675–688.
- 64- Hill DW, Smith JC, Leuschel JL, et al. Effect of pedal cadence on parameters of the hyperbolic power-time relationship. *Int J Sports Med* 1995; 16: 82–87.
- 65- Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129: 49-55.
- 66- Ozcelik O, Aslan M, Ayar A, et al. Effects of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise test. *Physiol Res* 2004; 53: 165–170.
- 67- CC, Laxmi, I. B. Udaya, and S. Vinutha Shankar. Effect of body mass index on cardiorespiratory fitness in young healthy males. *International Journal of Scientific and Research Publications* 2014; 25-28.
- 68- Power GA, Grant A. Handrigan & Fabien A. Basset. Ventilatory response during an incremental exercise test: A mode of testing effect. *Eur J Sport Sci* 2012; 12: 491-498.
- 69- Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. Cardiopulmonary exercise testing: relevant but underused. *Postgrad Med* 2010; 122:68-86.
- 70- Myers J, Arena R, Oliveira RB, et al. The lowest $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ratio during exercise as a predictor of outcomes in patients with heart failure. *J Card Fail* 2009; 15:756-762.
- 71- Baba R, Nagashima M, Goto M, et al. Oxygen uptake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise. *J Am Coll Cardiol* 1996; 15;28 :1567-1572.
- 72- Arena R, Myers J, Hsu L, et al. The minute ventilation/carbon dioxide production slope is prognostically superior to the oxygen uptake efficiency slope. *J Card Fail* 2007; 13:462-469
- 73- Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, et al. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166:1443-1448.

- 74- Poggio R, Arazi HC, Giorgi M, et al. Prediction of severe cardiovascular events by V_E/VCO_2 slope versus peak VO_2 in systolic heart failure: a meta-analysis of the published literature. *Am Heart J* 2010; 160:1004-1014.
- 75- American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003 ; 167:211-277.
- 76- ERS Task Force, Palange P, Ward SA, Carlsen KH, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J*. 2007;29(1):185-209.
- 77- Ingle L, Goode K, Carroll S, et al. Prognostic value of the V_E/VCO_2 slope calculated from different time intervals in patients with suspected heart failure. *Int J Cardiol* 2007 ;118:350-355.

8. ÖZGEÇMİŞ

06.01.1981 yılında Elazığ'da doğdum. İlkokulu, orta okulu ve liseyi Elazığ'da okudum. Üniversite eğitimimi Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünde 1998-2002 yılları arasında tamamladım. Üniversite eğitimim bitiminden 2006 yılına kadar değişik dershanelerde eğitici olarak çalıştım. 2006-2011 yılları arasında Fırat Üniversitesinde idari personel olarak görev yaptım. 2011-2013 yılları arasında Kayseri'de, 2013 yılından beride Elazığ'da öğretmen olarak çalışmaktayım.