

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

ANTRENMANLI BİREYLERDE ARTAN EGZERSİZ
TESTİ SIRASINDA KARDİYORESPİRATUVAR VE
METABOLİK SİSTEMLERİN AEROBİK VE
ANAEROBİK EGZERSİZ BÖLGELERİ CEVAPLARININ
KARŞILAŞTIRILARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nida ASLAN

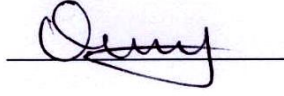
2012

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Emine ÜNSALDI

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez Yüksek lisans tezi standartlarına uygun bulunmuştur.



Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK

Biyofizik 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

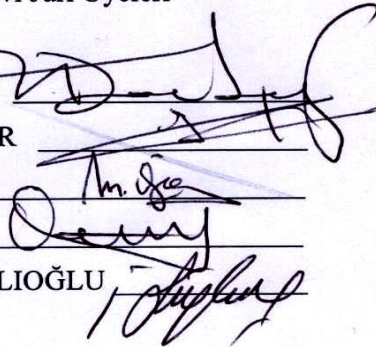
Prof. Dr. Süleyman DAŞDAĞ

Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR

Doç. Dr. Mete ÖZCAN

Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK

Yrd. Doç. Dr. İhsan SERHATLIOĞLU



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince engin akademik deneyim ve bilimsel birikimleriyle her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen Biyofizik A.D. Öğretim Üyesi ve danışman hocam Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK'e,

Akademik yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yol gösterici olan Biyofizik A.D. Öğretim Üyesi değerli hocam Doç. Dr. Mete ÖZCAN'a, Fizyoloji A.D. Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR'a, Prof. Dr. Selim KUTLU'ya, Prof. Dr. Ramazan BAL'a, Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULAŞ'a, Biyomühendislik Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. İhsan SERHATLIOĞLU'na, Yeditepe Üniversitesi Fizyoloji A.D. Öğretim Üyesi Prof. Dr. Bayram YILMAZ'a ve Dicle Üniversitesi Biyofizik A.D. Öğretim Üyesi Prof. Dr. Süleyman DAŞDAĞ'a Biyofizik A.D. yüksek lisans öğrencisi Sinem ORUÇ'a ve değerli aileme,

Bu tezin gerçekleştirilmesi için destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (FÜBAP) en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
ONAY SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1.ÖZET.....	1
2. ABSTRACT	3
3.GİRİŞ	5
3.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Kullanıldığı Durumlar.....	11
3.2. Egzersiz Tipleri	11
3.2.1. Sabit Yük Testi.....	11
3.2.2. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi	13
3.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Sırasında Ventilasyon ve Pulmoner Gaz Değişim Cevabı.....	17
3.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Değişkenleri, Standart Ölçümler ve Fizyolojik Etkileri	23
3.4.1. Anaerobik Eşik.....	23
3.4.2. Maksimal Aerobik Kapasite.....	30
3.4.3. Oksijen Pulse.....	33
3.4.4. Kalp Atım Hızı.....	35
3.4.5. İş Gücünden Oksijen Alınımı veya Metabolik Eşitlik Tahmini	36
3.4.6. Pik Solunum Değişim Oranı	37

3.5. Elektrokardiyogram.....	38
4. GEREÇ VE YÖNTEM	41
4.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri	41
4.2. Deneklerin Egzersiz Testine Hazırlanması	43
4.3. Egzersiz Test Protokolü	46
4.3.1. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi	46
4.4. Kardiyak, Metabolik ve Respiratuvar Parametrelerin Ölçümü.....	49
4.5. Anaerobik Eşiğin Hesaplanması	50
4.6. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Prosedürleri	53
4.6.1. Gaz Değişim Sistemlerinin Kalibrasyonu	53
4.6.2. Yazılım Faktörleri	55
4.6.3. Sistem Bakımı ve Kalite Kontrol	56
4.7. İstatistiksel Analiz.....	57
5. BULGULAR	58
5.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Oksijen Alımı Cevabı.....	61
5.2. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Karbondioksit Atılımı Cevabı	67
5.3. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Tidal Sonu Parsiyel Basınç Cevapları.....	71
5.4. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Kalp Atım Hızının Verdiği Cevaplar	72
5.5. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Solunum Parametreleri.....	76

6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	80
7. KAYNAKLAR	90
8. ÖZGEÇMİŞ.....	97

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1: Bruce protokolü.....	6
Şekil 3.2: Naughton protokolü	6
Şekil 3.3: Balke protokolü	7
Şekil 3.4: Farklı egzersiz test protokolleri.....	8
Şekil 3.5: Wasserman'ın çalışma dişlisi modeli.	9
Şekil 3.6: Sabit iş yükü egzersiz test örneği.	12
Şekil 3.7: İş yükünün dakikada basamaklı olarak (üstte) ve rampa şeklinde (altta) arttığı egzersiz testi protokolleri	14
Şekil 3.8: Normal bireylerde KPET cevabı	18
Şekil 3.9: Antrenmanlı bireylerde KPET cevabı	19
Şekil 3.10: Kalp hastası olan bireylerde KPET cevabı.....	20
Şekil 3.11: Pulmoner sistem bozukluğu olan bireylerde KPET cevabı.....	21
Şekil 3.12: Breath-by-breath methodu ile elde edilen solunum gaz değişim parametreleri ölçümleriyle AE tespiti.....	24
Şekil 3.13: Log VO_2 'ye karşı log laktat $[La^-]$, log pirüvat $[Pyr^-]$ ve log laktat/pirüvat (L/P) oranı	25
Şekil 3.14: Antrenmanlı bireylerde, normal bireylerde ve kardiyak hastalığı olan bireylerde artan egzersiz testi esnasında laktat artışı ve bikarbonat azalışı.....	26
Şekil 3.15: AE'nin V-slope yöntemi ile tahmini	28
Şekil 3.16: AE'yi belirlemek için kullanılan yöntemler	29
Şekil 3.17: Supramaksimal iş gücü testlerinden VO_2 (VO_{2max}) bulunması.....	31

Şekil 3.18: Sağlıklı, Kalp hastalıklı (K.H) ve kronik obstrüktif solunum yolları hastalıklı (OSH) olan bireyler için VO_2 ile ilgili kalp atım hızında değişim karakteristikleri.	34
Şekil 3.19: Sağlıklı, Kalp hastalıklı (K.H) ve kronik obstrüktif solunum yolları hastalıklı (OSH) olan bireyler için iş gücü artışı ile ilişkili olarak (O_2 pulse) VO_2 /kalp atım hızı karakteristik değişiklikleri.	34
Şekil 3.20: AE belirlenmesinde kullanılan kalp atım hızı ile iş gücü arasındaki ilişkinin Conconi testi ile bulunması.	36
Şekil 3.21: Normal bir EKG örneğinin şekli.	38
Şekil 4.1: Egzersiz testi sırasında EKG elektrot bağlantılarının yerleşim düzeni.	45
Şekil 4.2: Çalışmalarda kullanılan şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz test protokolü	47
Şekil 4.3: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin V_E -iş gücü ilişkisi ile AE tespiti.....	50
Şekil 4.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin VCO_2 - VO_2 ilişkisi ile AE tespiti.....	51
Şekil 4.5: İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin AE'sinin hesaplanmasında kullanılan VO_2 - VCO_2 , V_E/VO_2 , $P_{ET}O_2$ ilişkisi.....	52
Şekil 5.1: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin ulaştıkları W_{max} ve AE iş gücü değerleri	58
Şekil 5.2: Deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde Δ iş gücü ortalama ($\pm SS$) değerleri.....	60

Şekil 5.3: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin VO_2 -iş gücü ilişkisi	61
Şekil 5.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin VKİ (kg/m^2) ve MET ilişkisinin lineer regresyon analizi ...	63
Şekil 5.6: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VO_2 ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	64
Şekil 5.7: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VO_2 ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	65
Şekil 5.8: Çalışmaya katılan deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri ΔO_2 pulse cevaplarının karşılaştırmalı olarak gösterimi	66
Şekil 5.9: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin VCO_2 -iş gücü ilişkisi.....	67
Şekil 5.10: Çalışmaya katılan deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki ΔVCO_2 cevaplarının karşılaştırmalı olarak gösterimi ...	69
Şekil 5.11: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VCO_2 ilişkisinin regresyon analizi.....	70
Şekil 5.12: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VCO_2 ilişkisinin regresyon analizi.....	70
Şekil 5.13: Bireylerin istirahatte, ısınmada, AE'de ve W_{max} 'da $P_{ET}O_2$ ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi	71

Şekil 5.14: Deneklerin istirahatte, ısınmada, AE'de ve $W_{\max}$ 'da $P_{ET}CO_2$ ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi.	72
Şekil 5.15: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin kalp atım hızı-iş gücü ilişkisi.	73
Şekil 5.16: Deneklerin istirahat, ısınma (20 W), AE (156 W) ve $W_{\max}$ 'daki (233 W) kalp atım hızı ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi	74
Şekil 5.17: Deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki Δ kalp atım hızı ortalama ($\pm SS$) değerlerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi.....	74
Şekil 5.18: Deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ kalp atım hızı-iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	75
Şekil 5.19: Deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ kalp atım hızı-iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	75
Şekil 5.20: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin V_E -iş gücü ilişkisi	77
Şekil 5.21: Deneklerin istirahat, ısınma (20 W), AE (156 W) ve $W_{\max}$ 'daki (233 W) V_E (L/dk) ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi.....	77
Şekil 5.22: Aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde deneklerin ΔV_E (L/dk) ortalama ($\pm SS$) değerlerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi.....	78
Şekil 5.23: Deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki ΔV_E -iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	79
Şekil 5.24: Deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki ΔV_E -iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi.....	79

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: KPET’yi Açıklayan Sorular, Hastalık Örneği ve Anormallik Belirtileri	16
Tablo 4.1: Çalışmaya katılan deneklerin fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 4.2: Alınan submaksimal bir iş gücü oranında aynı bireyin tekrarlanan çalışmalarından elde edilen gaz değişim değişkenleri varyasyon limitleri.....	57
Tablo 5.1: Çalışmaya katılan deneklerin W_{max} , AE ve her kilogram vücut ağırlığı başına W_{max} ve AE’deki iş üretebilme kapasiteleri ve ortalama ($\pm SS$) değerleri.....	59
Tablo 5.2: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin bireysel istirahat, ısınma, AE, maksimal VO_2 , VO_{2max}/kg , Δ aerobik VO_2 , Δ anaerobik VO_2 değerleri ve ortalamaları.....	62
Tablo 5.3: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin bireysel istirahat, ısınma, AE, maksimal VCO_2 , Δ aerobik VCO_2 ve Δ anaerobik VCO_2 değerleri ve ortalamaları.....	68
Tablo 5.4: Deneklerin istirahat, ısınma, AE, W_{max} ve beklenen ortalama ($\pm SS$) kalp atım hızı değerleri.....	73
Tablo 5.5: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin istirahat, ısınma dönemi, AE ve W_{max} ’daki dakika solunum (V_E L/dk) ortalama ($\pm SS$) değerleri.....	76

KISALTMALAR LİSTESİ

AE	: Anaerobik Eşik
CO₂	: Karbondioksit
KPET	: Kardiyopulmoner Egzersiz Testi
LAE	: Laktik Asidoz Eşiğı
LE	: Laktat Eşiğı
MET	: Metabolik Eşitlik
O₂	: Oksijen
P_{ET}CO₂	: Tidal Hacim Sonu Parsiyel Karbondioksit Basıncı
P_{ET}O₂	: Tidal Hacim Sonu Parsiyel Oksijen Basıncı
R	: Gaz Değışim Oranı
VCO₂	: Karbondioksit Atılımı
V_E	: Dakika Ventilasyon
VE	: Ventilasyon Eşiğı
V_E/VCO₂	: Karbondioksitin Solunum Eşitliğı
V_E/VO₂	: Oksijenin Solunum Eşitliğı
VKİ	: Vücut Kitle İndeksi
VO₂	: Oksijen Alınımı
VO_{2max}	: Maksimal Oksijen Alınımı
W	: Watt

1.ÖZET

Aerobik fitnessin belirlenmesi klinik tıp bilimlerinde önemli bir konudur. Bu çalışmanın amacı; şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında, aerobik ve anaerobik bölgedeki cevapların kardiyorespiratuar ve metabolik sistemlerde karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesidir.

Etik kurul tarafından onaylanan imzalı bilgilendirilmiş onam formu alındıktan sonra 24 antrenmanlı erkek denek elektromanyetik bisiklet ergometre kullanarak tolerans edebilecekleri yüke kadar şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testini (15 W/dk) gerçekleştirdi. Solunum gaz değişim parametreleri; gaz analizör sistemi kullanılarak solunumdan solunuma tespit edildi. Solunum parametreleri türbin hacimli transdüser kullanılarak değerlendirildi. Kardiyak cevabı değerlendirmek için 12 derivasyonlu EKG (elektrokardiyografi) kullanıldı. Anaerobik eşik (AE) V-slope methodu kullanılarak tespit edildi. Veriler eşleştirilmiş t testi kullanılarak analiz edildi.

Maksimal egzersiz kapasitesi, AE'de iş gücü, maksimal oksijen (O_2) alınımlı (VO_{2max}) ve vücut ağırlığı için VO_{2max} sırasıyla; 232.7 ± 30 W, 156.2 ± 24 W, 2931 ± 317 ml/dk ve 42.8 ± 6.6 ml/kg/dk olarak bulundu. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında aerobik bölge cevabında; egzersiz kapasitesi ve her kilogram başına VO_2 , anaerobik bölgeden anlamlı olarak yüksek bulundu: 136.2 ± 25 W ve 21 ml/dk/kg buna karşılık 76.4 ± 19 W ve 11 ml/dk/kg ($p < 0.05$).

Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında kardiyorespiratuvar ve metabolik cevabın belirlenmesi; sistemlerin kapasitesi hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Bununla birlikte şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testinin aerobik ve anaerobik bölgelerinin değerlendirilmesi çok daha hassas bilgiler sağlayacaktır. Sonuç olarak, antrenmanlı bireylerden elde edilen veriler; hastalar, sedanter ve yüksek antrenmanlı bireyler ile ilgili gelecek çalışmalar için referans değerleri olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz Testi, VO_2 , Kalp Atım Hızı, Anaerobik Eşik, Aerobik Fitnes.

2. ABSTRACT

COMPARATIVELY DETERMINING EFFECTS OF AEROBIC AND ANAEROBIC EXERCISE REGIONS ON THE CARDIORESPIRATORY AND METABOLIC SYSTEM DURING AN INCREMENTAL EXERCISE TEST IN TRAINED SUBJECTS

Determination of aerobic fitness is one of the important issues in clinical medicine. The purpose of this study was comparatively evaluated the cardiorespiratory and metabolic systems in response to the aerobic and anaerobic regions of incremental exercise test.

After giving a signed informed consent which was approved by the local ethical committee, total of 24 trained male subjects performed an incremental exercise test (15 W/min) until the limit of tolerance using an electromagnetically braked cycle ergometer. Respiratory gas exchange parameters were determined breath-by-breath using gas analyser system. Ventilator parameters were evaluated using turbine volume transducer. Twelve lead ECG was used to evaluate cardiac response. Anaerobic threshold (AT) was estimated using V-slope method. Paired t test was used to analyze data.

Maximal exercise capacity, work rate at the anaerobic threshold, VO_{2max} and VO_2 for body weight was found to be 232.7 ± 30 W, 156.2 ± 24 W, 2931 ± 317 ml/min and 42.8 ± 6.6 ml/kg/min, respectively. Exercise capacity and VO_2 for each kilogram body weight in response to the aerobic region was found to be

significantly higher than the anaerobic regions of incremental exercise: 136.2 ± 25 W and 21 ml/min/kg versus 76.4 ± 19 W and 11 ml/min/kg ($p < 0.05$).

Determination of cardiorespiratory and metabolic response during incremental exercise test could provide important information about systems capacity. However evaluation of aerobic and anaerobic regions of incremental exercise will provide much sensitive information. Obtained data from the trained subjects may be use a reference values for future studies concerning patients, sedantary and well trained subjects.

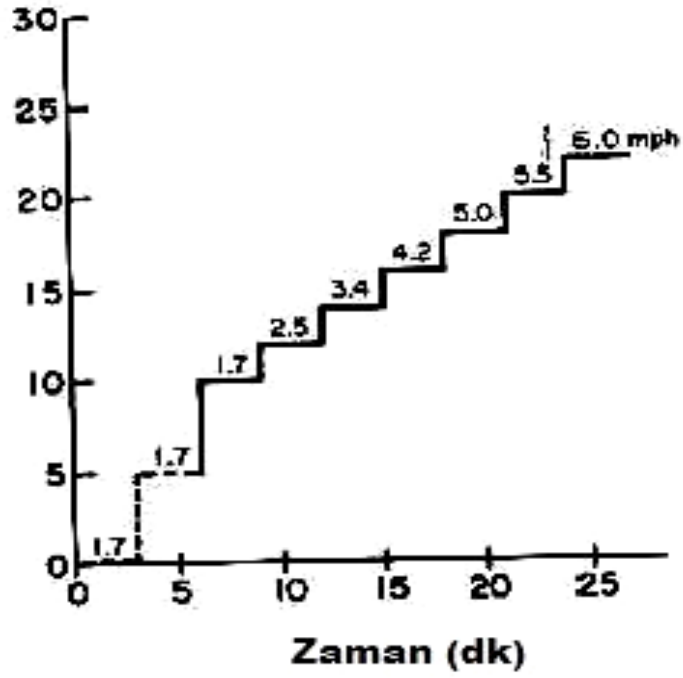
Key words: Exercise Test, O₂ Uptake, Heart Rate, Anaerobic Threshold, Aerobic Fitness.

3.GİRİŞ

Efor testi, uygulama olarak ilk kez basamaklı ve hareket edebilen bir sistem ile İngiltere’de kullanıldı. Bu sistem on dokuzuncu yüzyılın başlarında İngiliz mühendis William Cubit tarafından geliştirildi. Küçük bir alan içerisinde bireylerin hareket edebilmesini sağlayan basamaklı sistem İngiliz hapisanelerinde mahkumları cezalandırmak amacıyla kullanılmıştır. Önceleri ceza vermek gibi farklı amaçlar için kullanılan bu sistem yapılan araştırmalar sonucunda öneminin anlaşılması ile insanlık yararına kullanılmaya başlanmıştır.

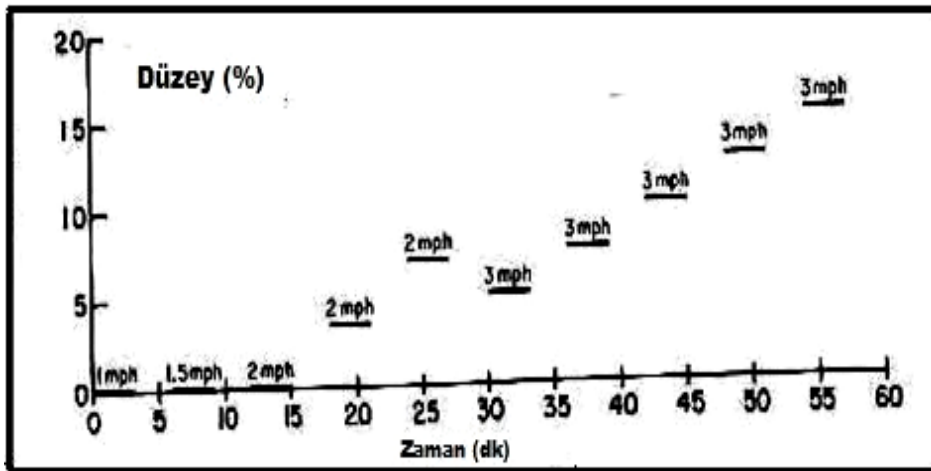
Blousfield 1920’li yılların başında, angina pectoris ile elektrokardiyografik ST segment depresyonu arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Fail 1928 yılında, ST segment depresyonunun egzersizle ilişkisini, Master ise 1929 yılında geliştirdiği basamaklı sisteminde ilk egzersiz testini gerçekleştirmiştir. Bruce ise kendi adıyla anılan standart Bruce protokolünü 1956 yılında geliştirmiştir (1).

Bruce protokolü çok basamaklı bir protokoldür. Her bir kademe iş yükü arttırılmadan önce “kararlı hal” (steady state) durumuna ulaşılmasına izin veren üçer dakikalık dönemlerden oluşur. Dezavantajı her kademedede büyük iş yükü artışına neden olmasıdır. Bazı hastalar hızlı yük artışını tolere edemeyebilir ve bu nedenle maksimum efora ulaşmadan test erken sonlandırılmak zorunda kalınabilir. Düşük egzersiz düzeyleri amaçlandığında modifiye Bruce protokolü uygulanabilir (1). Modifiye Bruce protokolünde standart Bruce protokolüne; hızı 1.7 mil/st, eğimi ise %0 ve %10 olan iki aşama daha eklenmiştir (Şekil 3.1).



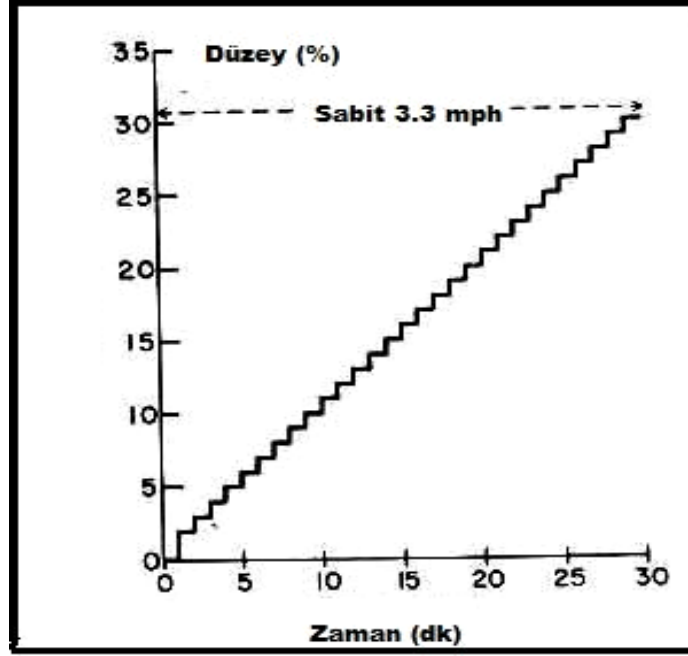
Şekil 3.1: Bruce protokolü (Kaynak 1'den değiştirilerek alınmıştır).

Egzersiz testi ile eşiğin direk ölçümü için kullanılan yöntemler; treadmill ve bisiklet ergometredir. Egzersiz testi treadmill uygulamasında kullanılan farklı birçok protokol vardır. Bunlardan Naughton protokolü (2) yaşlı hastalar ve düşük egzersiz düzeyleri amaçlandığında tercih edilir (Şekil 3.2).



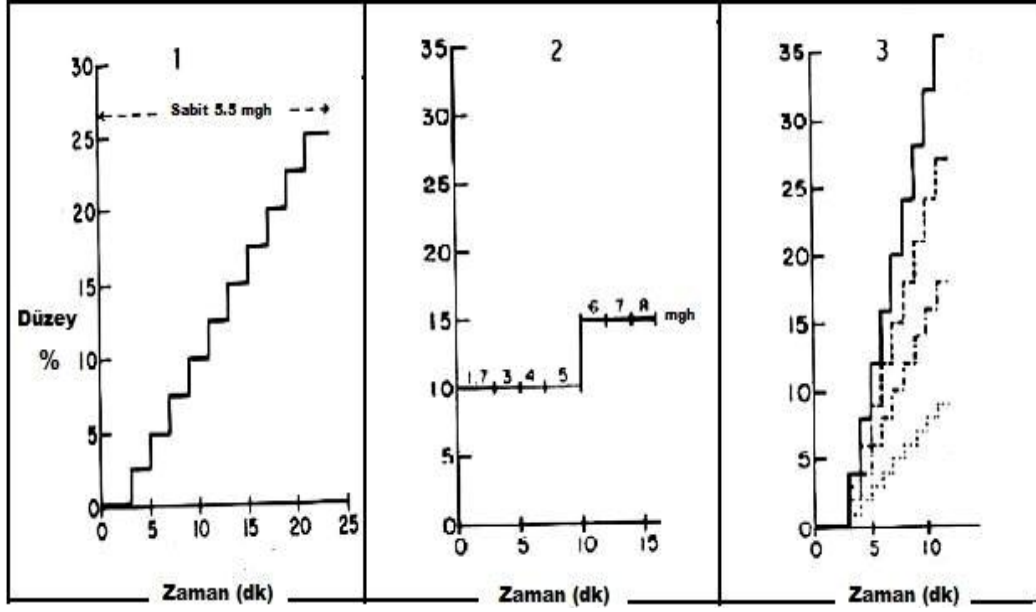
Şekil 3.2: Naughton protokolü (Kaynak 2'den değiştirilerek alınmıştır).

Balke-Ware protokolü (3) ise gençler ve formda olan hastalar için uygundur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Balke protokolü (Kaynak 3'den değiştirilerek alınmıştır).

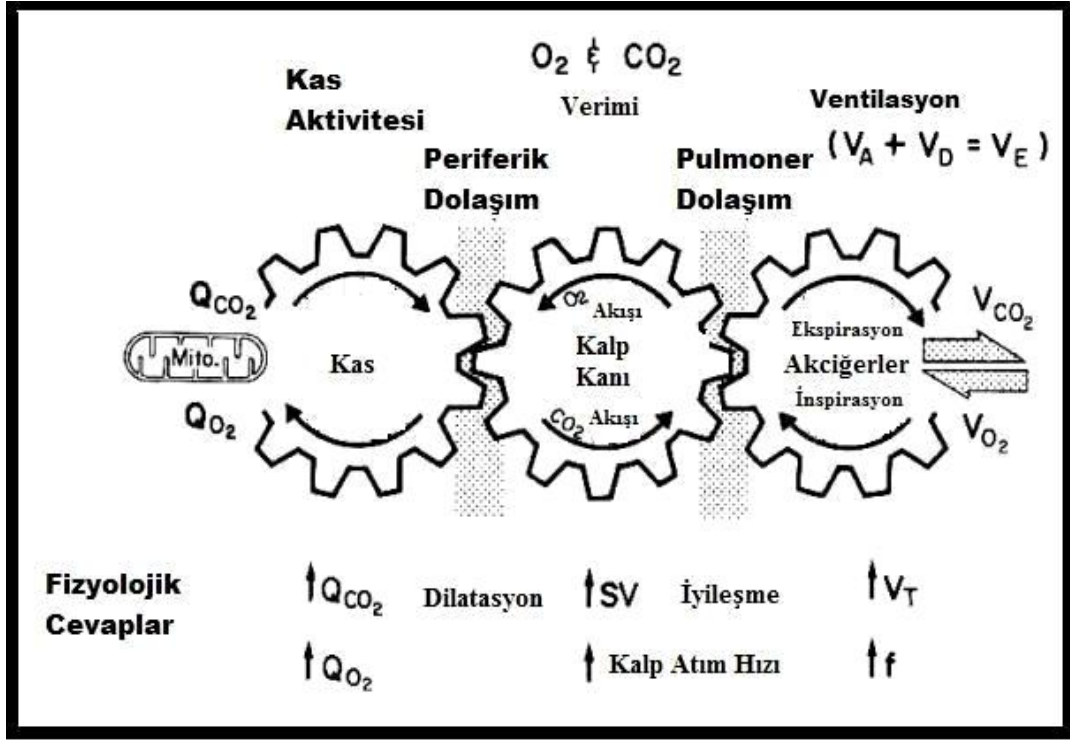
Ayrıca Mitchell, Sproule, Chapman metodu, Cornell, Weber, ACIP, Astrand, Ellestad, Harbor, Macıp ve Ramp gibi protokollerde kullanılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Farklı egzersiz test protokolleri. 1. Astrand protokolü (Kaynak 4'den değiştirilerek alınmıştır) 2. Ellestad protokolü (Kaynak 5'den değiştirilerek alınmıştır) 3. Harbor protokolü (Kaynak 6'dan değiştirilerek alınmıştır).

Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET); artan egzersiz sırasında hastanın fonksiyonel kapasitesini değerlendirmek için fizyolojik değişkenlerin ölçümünü içerir (7). Birçok düzenleme sonucunda KPET, yarım yüzyılı aşkın süreden beri klinik ve spor bilimlerinin değişik branşları tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. İlerleyen zaman içinde KPET uygulamasının diğer birçok kardiyovasküler prosedür gibi teknoloji ve kapsamı geliştirilmiştir. Kardiyovasküler sistem (8, 9), pulmoner sistem (10, 11) ve metabolik sistem (12, 13) fonksiyon bozukluğu olan hastalarda tanı konulması için değerli bilgiler sağlayan KPET, son derece geçerli ve çok yönlü bir araç olarak kullanılmaktadır.

Wasserman'ın "çalışma dışı modeli" egzersiz ile kardiyak, metabolik ve pulmoner sistemlerin çalışma durumunu ayrıca O_2 ve CO_2 gazları arasındaki dengeyi açık bir şekilde gösterir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Wasserman'ın çalışma dişlisi modeli. Egzersiz ile metabolik, kardiyovasküler ve pulmoner sistemin çalışma prensibi. Atmosfer ve mitokondriler arası O_2 transferi. Akciğerler, kardiyovasküler sistem ve kaslarda VO_2 'yi göstermektedir. F_iO_2 : inspirasyonda O_2 fraksiyonu, F_EO_2 : ekspirasyonda O_2 fraksiyonu, QT : kardiyak output, CaO_2 , C_vO_2 : arteriyel ve miks venöz kanın O_2 kontentleri, DO_2 : O_2 difüzyon kapasitesi, PcO_2 : ortalama kapiller parsiyel O_2 basıncı, $P_{mit} O_2$: mitokondride ortalama parsiyel O_2 basıncı (Kaynak 14'ten değiştirilerek alınmıştır).

Radyolojik görüntüleme yöntemleri ile birleştirildiği zaman KPET; kalbin, akciğerlerin ve metabolik sistemlerin yapıları ve fonksiyonları hakkında önemli bilgiler sağlar. Ayrıca hastalıklar hakkında belirtisel bilgi sağlamanın yanı sıra tanısal doğruluk da bildirir (15). Önceleri egzersiz testi sırasında ölçülen solunum gaz değişim parametrelerinin önemi tam olarak anlaşılamamıştır. Gelişen teknoloji ile modern KPET sistemleri; istirahatatta, egzersiz sırasında ve iyileşme esnasında gaz değişim verimi analizi için VO_2 , VCO_2 ve dakika ventilasyon (V_E) parametrelerinin solunumdan solunuma (breath-by-breath) ölçümleri ile önemli bilgiler elde edilmesini sağlamıştır. Gelişmiş bilgisayar sistemleri; yaygın olarak

KPET'yi kullanılabılır hale getirerek alması ve saklanması kolay olan veriler ile hem basit hem de kompleks analizler sağlar (16).

Vücut organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumları hakkında KPET önemli bilgiler verse de bu testlerin uygulanmasını kısıtlayan faktörler bulunmaktadır. Bunlar;

- Ek donanım ihtiyacı (KPET sistemi),
- Testlerin uygulama ve yorumlanmasında uzman olan personel eksikliği,
- Kardiyovasküler uzmanların eğitiminin sınırlı olması veya yokluğu,
- Bu teknikte pulmoner uzmanlar tarafından sınırlı eğitim ve
- Klinisyenler tarafından KPET'nin değerinin anlaşılmasındaki eksikliklerdir.

Bu sistemlerden elde edilen data; kalp atım hızı, solunum değişimleri, gaz değişim parametreleri, kan basıncı, iş gücü, elektrokardiyografi bulguları, egzersiz toleransı ve yanıtları hakkında kapsamlı bir değerlendirme yapılabilmesini sağlar. Ayrıca KPET sırasında ölçülen standart değişkenler ile entegre edilebilir. Ayrıntılı tanısal değerlendirme için KPET kompleks görüntüleme yöntemleri ile gerçekleştirilebilir (14, 16).

3.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testinin Kullanıldığı Durumlar

1. Solunum güçlüğü veya egzersiz kapasitesindeki azalma nedenleri belirsiz olduğu zaman organ ve sistemleri tanımlamaya imkan sağlayabilir (17, 18).
2. İş üretebilme kapasitesindeki azalmanın (aerobik fitness azalması) objektif bir değerlendirmesini sağladığından KPET oldukça önemlidir.
3. Aerobik fitnessdeki artış, kas hücreleri ve akciğerler arasında gaz alışverişinde gelişmiş verimlilik; etkili ilaç tedavisi ve rehabilitasyonun göstergesi olduğundan kullanımı yaygındır.
4. Ağır ameliyata maruz kalacak olan hastalarda KPET, ameliyat sonrası ölüm riskinin preoperatif değerlendirmesi için cerrahi bilimlerde önemlidir (7, 16, 19, 20).

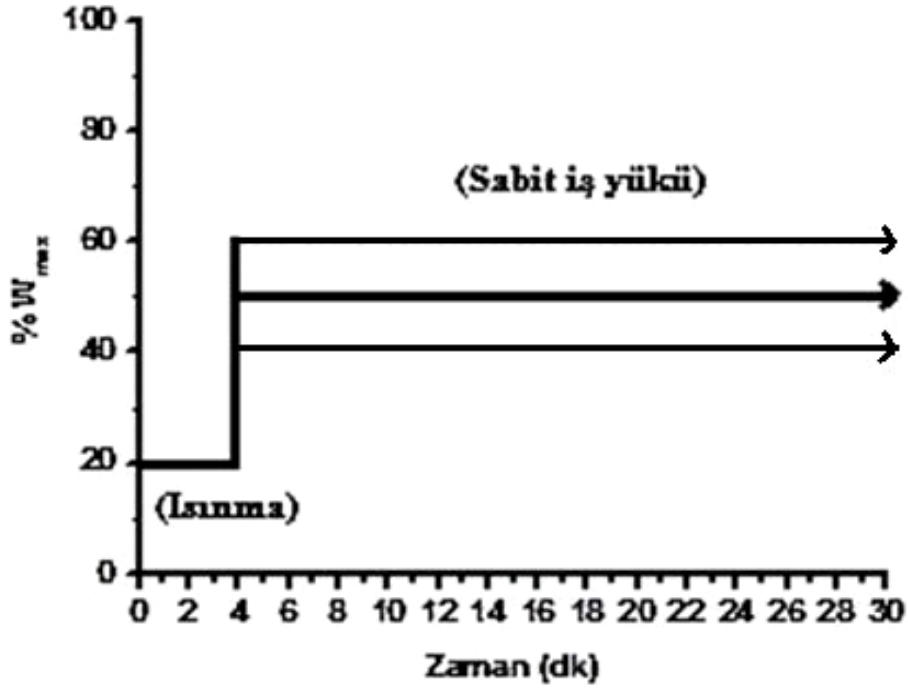
3.2. Egzersiz Tipleri

Birçok çeşidi olmasına rağmen KPET'nin en çok tercih edilen tipleri 2 ana grupta değerlendirilir. Bunlar; sabit yük egzersiz testleri (hafif veya orta, ağır ve şiddetli) ve şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testidir (21).

3.2.1. Sabit Yük Testi

Sabit yük egzersiz testlerinde iş gücü belirli oranda birden arttırılır ve test boyunca devam ettirilir (Şekil 3.6). Sabit iş gücü testleri, O₂ ve CO₂ transportu için spesifik organ sistemleri tarafından fizyolojik yanıtların çalışmasına olanak verir. Hem de kontrol mekanizmalarının incelenmesini kolaylaştırır. İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testleri için tanımlanan ölçümlerin tümü sabit iş

gücü testleri için aynı şekilde uygulanabilir. Sabit yük testinde denek belirli bir iş yükünde egzersizi tamamlar. Kinetiklerdeki değişiklikler, bu iş gücünde egzersiz esnasında hastanın kardiyovasküler durumunu yansıtır (14).



Şekil 3.6: Sabit iş yükü egzersiz test örneği. 4 dk. boyunca 20 W'lık ısınma dönemi ve maksimum efora kadar devam ettirilen sabit iş yükü (40W, 50W ve 60W'lık) dönemi.

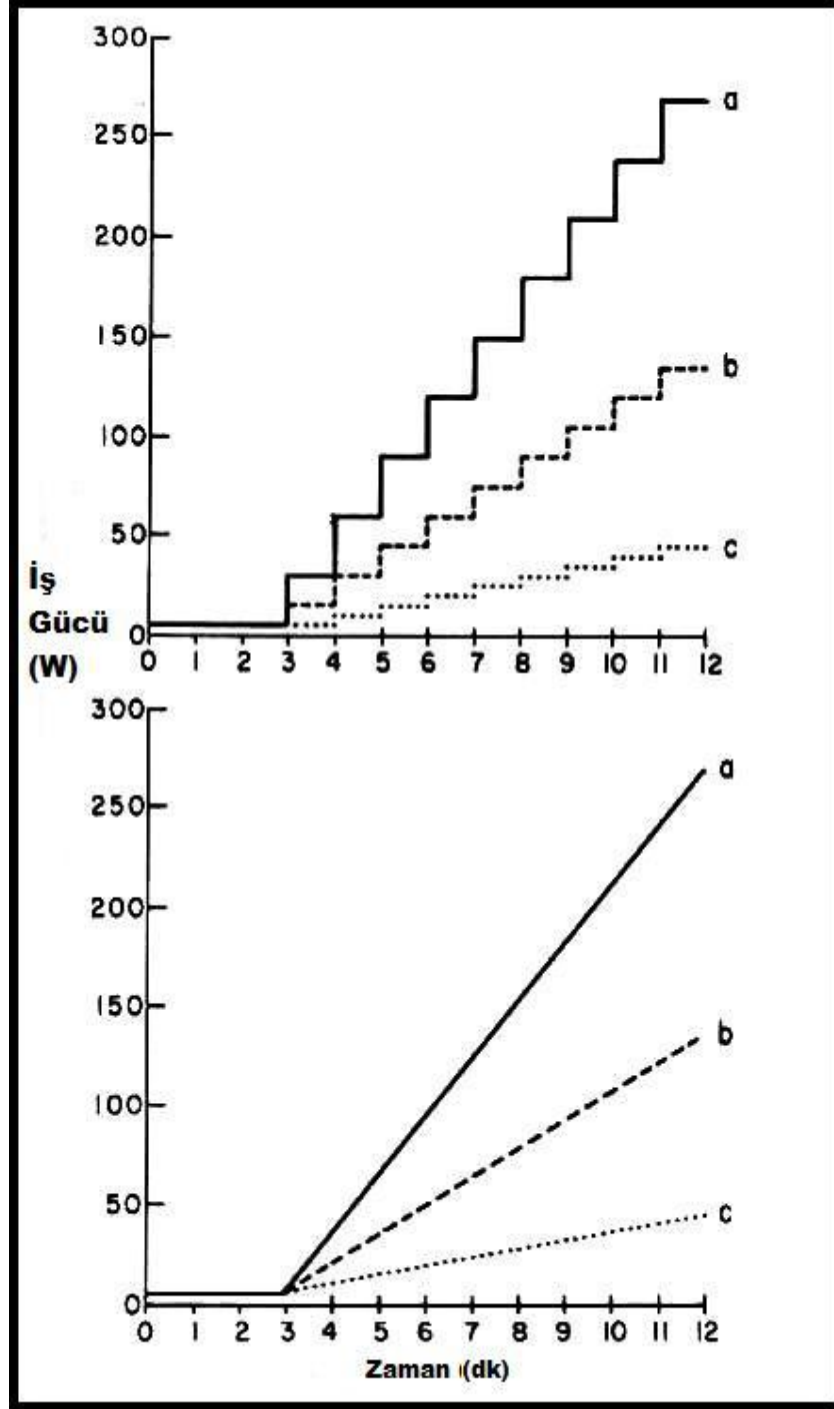
- 1. Hafif veya orta şiddetteki egzersizler:** Bu egzersiz tipinde vücut çok büyük bir stres altında olmayıp sürdürülebilir bir aktiviteyi gerçekleştirmektedir. Bu test sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu artmayıp sabit kalmaktadır.
- 2. Ağır şiddetteki egzersizler:** Bu gruptaki egzersiz sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu başlangıçta hafif artmakta fakat egzersizin devamı ile birlikte sabit kalmakta daha fazla artmamaktadır.

3. Çok ağır şiddetteki egzersizler: Bu gruptaki egzersiz sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu egzersizle birlikte artmaya başlamaktadır. Bu artış sürekli olarak devam etmektedir.

3.2.2. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi

İş gücünün düzenli olarak arttığı (yükleme testi) egzersiz testinde iş gücü sıfırdan başlatılıp deneklerin tolere edebilecekleri en üst seviyeye kadar devam ettirilir. İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi sırasında yapılan ölçümler çok önemlidir. Bu ölçümler testlerin değerlendirmesini yapan bireye birçok kolaylık sağlar. Bunlar;

- Kişinin egzersiz limiti düzeyi değerlendirilir.
- Performans yeterliliği ile eksternal-internal gaz değişim eşleşmesinin değişik oranlarının tespitini sağlar.
- Egzersiz sırasında ilk olarak anormallik gösteren organ sistemini ve bunun hangi VO_2 değerinde meydana geldiğini belirler.
- Test, nispeten daha düşük iş gücünde başlar bundan dolayı büyük kas kuvveti veya ani, büyük bir kardiyorespiratuvar stres uygulamasını gerektirmez.
- Deneğe, yalnızca birkaç dakika boyunca yüksek çalışma oranlarında baskı yapılır.
- VO_2 -çalışma oranı ilişkisi, belirlenebilir (bisiklet ergometrisi).



Şekil 3.7: İş yükünün dakikada basamaklı olarak (üstte) ve rampa şeklinde (altta) arttığı egzersiz test protokolleri. a, b, c iş yükü artışı sırasıyla dakikada 30, 15 ve 5 watt olmaktadır (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinde; ölçülen cevapları yorumlamak, en iyi veriyi elde etmek için çalışma oranı artışları, büyüklük ve süreleri düzenli olmalıdır. Bu, ergometrinin çizgisel ve doğru olarak kalibre edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu sorulara en iyi cevabı sağlamak amacıyla uzun süreli ve uzun sürede artış gösteren basamaklı testler (incremental) yerine kısa süreli (yaklaşık 10 dakika), kademeli artan (rapid incremental) egzersiz testleri tercih edilir. Kısa süreli testlerin değerlendirilmesi uzun süreli testlere nispeten daha iyi cevap verir. Basamaklı uzun süreli egzersiz testleri hastalarda yorgunluğa neden olduğundan bilgi açısından fazla özellik taşımaz. Ayrıca tedavinin değerlendirilmesi için test tekrarı esnasında araştırmacı yeteneğini sınırlar (14, 16).

Sabit yük egzersiz testleri sadece aerobik veya anaerobik iş gücü yüklerini içerir. Buna karşılık şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testleri hem aerobik hem de anaerobik egzersiz kapasitelerini içermekte olup aynı test esnasında iş gücü sürekliliği sağlanarak bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilir (22).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde solunum sisteminin, kalp atımının, metabolizmanın uygulanan iş gücü ile ilişkisi belirlenebilir. Ayrıca bu iki farklı metabolizma bölgesinin karşılaştırılması araştırmacıya bireylerin durumu ile ilgili önemli bilgiler sağlayabilir.

Tablo 3.1: KPET'yi Açıklayan Sorular, Hastalık Örneği ve Anormallik Belirtileri (Kaynak 23'den değiştirilerek alınmıştır).

SORU	HASTALIK ÖRNEĞİ	ANORMALLIK BELİRTİLERİ
Egzersiz kapasitesinde azalma var mıdır?	Herhangi bir hastalık	VO_{2max}
Egzersiz için metabolik ihtiyaçta artış var mıdır?	Obezite	VO_2 -iş gücü ilişkisi
Egzersiz kapasitesinin azalması bozulan O_2 akımı sonucunda mı olmaktadır?	Kalp; periferel vasküler; pulmoner vasküler; anemi; hipoksemi; karboksihemoglobin	EKG; kan basıncı; AE; kan laktatı; HCO_3^- ; $\Delta VO_2/\Delta W$; VO_2 /Kalp atım hızı; HbCO
Egzersiz kapasitesinin azalması azalan solunum kapasitesi sonucunda mı olmaktadır?	Akciğer; göğüs duvarı	Solunum rezervi; V_D/V_T
Ventilasyon-perfüzyon eşleşmesinin anormal bir değeri var mıdır?	Akciğer; pulmoner dolaşım	$P(A-a)O_2$; $P(a-ET)CO_2$; V_D/V_T ; V_E/VCO_2
Kaslarda O_2 veya substrat kullanımında bir kusur var mıdır?	Kas glikolitik veya mitokondrial enzim kusurları	VO_2 ve VCO_2 kinetikleri, kalp atım hızı, kan laktatı, laktat/pirüvat oranı
Egzersiz kapasitesinin azalması davranış problemi nedeni ile mi olmaktadır?	Sinir hastalığı	Solunum modeli
İş üretimindeki azalma zayıf efor nedeni ile mi olmaktadır?	İkincil kazançla zayıf efor	Kalp atım hızı rezervi; Solunum rezervi; R tepe noktası; $P(A-a)O_2$; $P(a-ET)CO_2$

Solunum rezervi = Maksimum Solunum Kapasitesi- Maksimum egzersizde solunum; $\Delta VO_2/\Delta$ iş gücü = iş oranında artışa bağlı olarak VO_2 'de artar; V_D/V_T = fizyolojik ölü boşluk/tidal hacim oranı; kan basıncı; $P(A-a)O_2$ = alveolar-arterial PO_2 farkı; HbCO = karboksihemoglobin; $P(a-ET)CO_2$ = arterial- tidal sonu PCO_2 farkı; kalp atım hızı rezervi = tahmin edilen maksimum kalp atım hızı - maksimum egzersiz kalp atım hızı; V_E/VCO_2 = CO_2 için solunum denkliği; pik R = pik gaz değişim oranı.

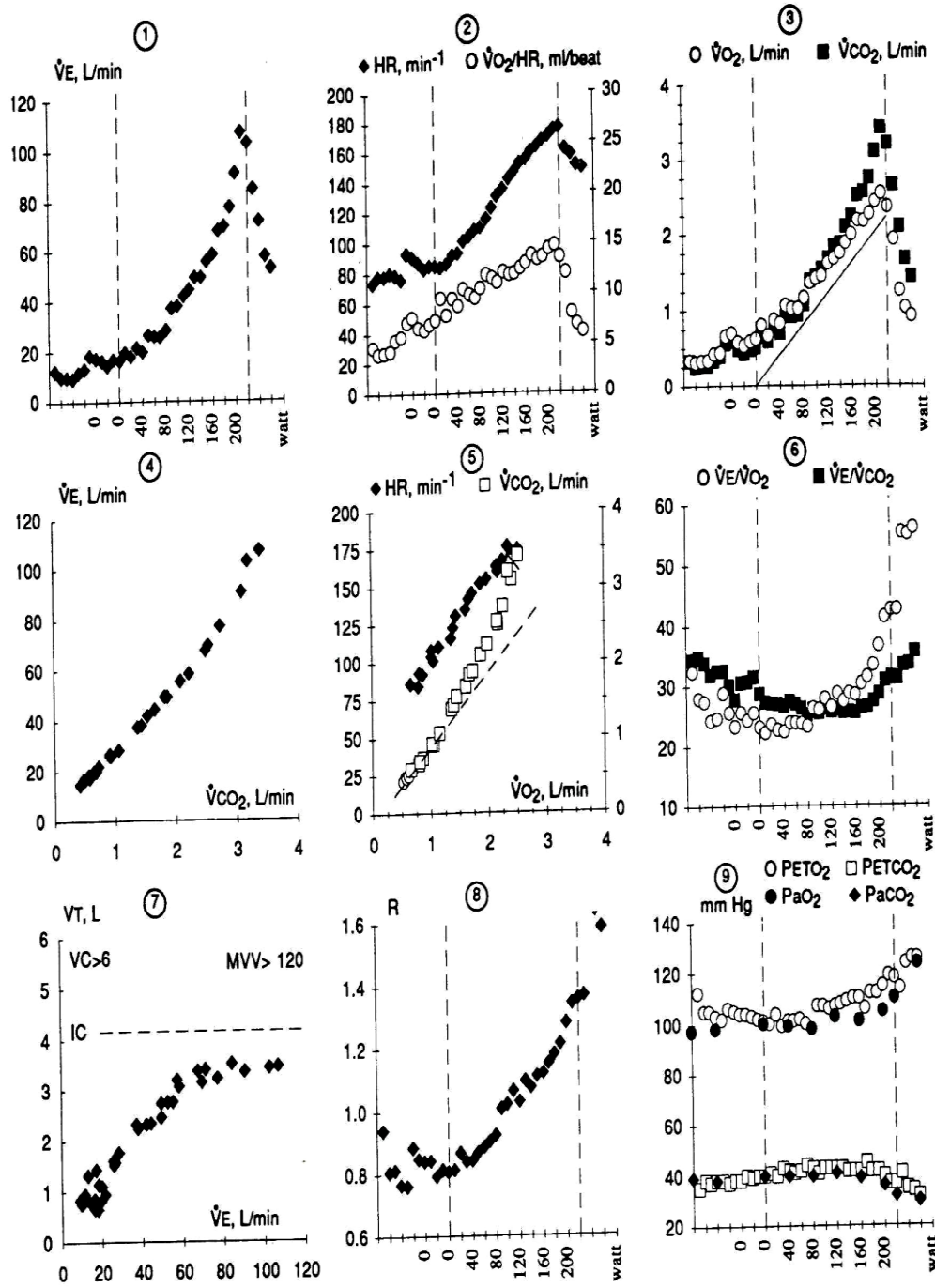
3.3. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Sırasında Ventilasyon ve Pulmoner Gaz Değişim Cevabı

Fiziksel egzersiz performansı yeteneği, kaslara O_2 tedariki için kardiyovasküler sistemin kapasitesi ve akciğerler yoluyla kandan CO_2 temizlemek için pulmoner sistemin yeteneğiyle kritik olarak ilgilidir. Kardiyovasküler ve pulmoner sistem, hem O_2 'nin dağıtımını hem de CO_2 'nin dokulardan uzaklaştırmasını sağlamak için birlikte çalışır.

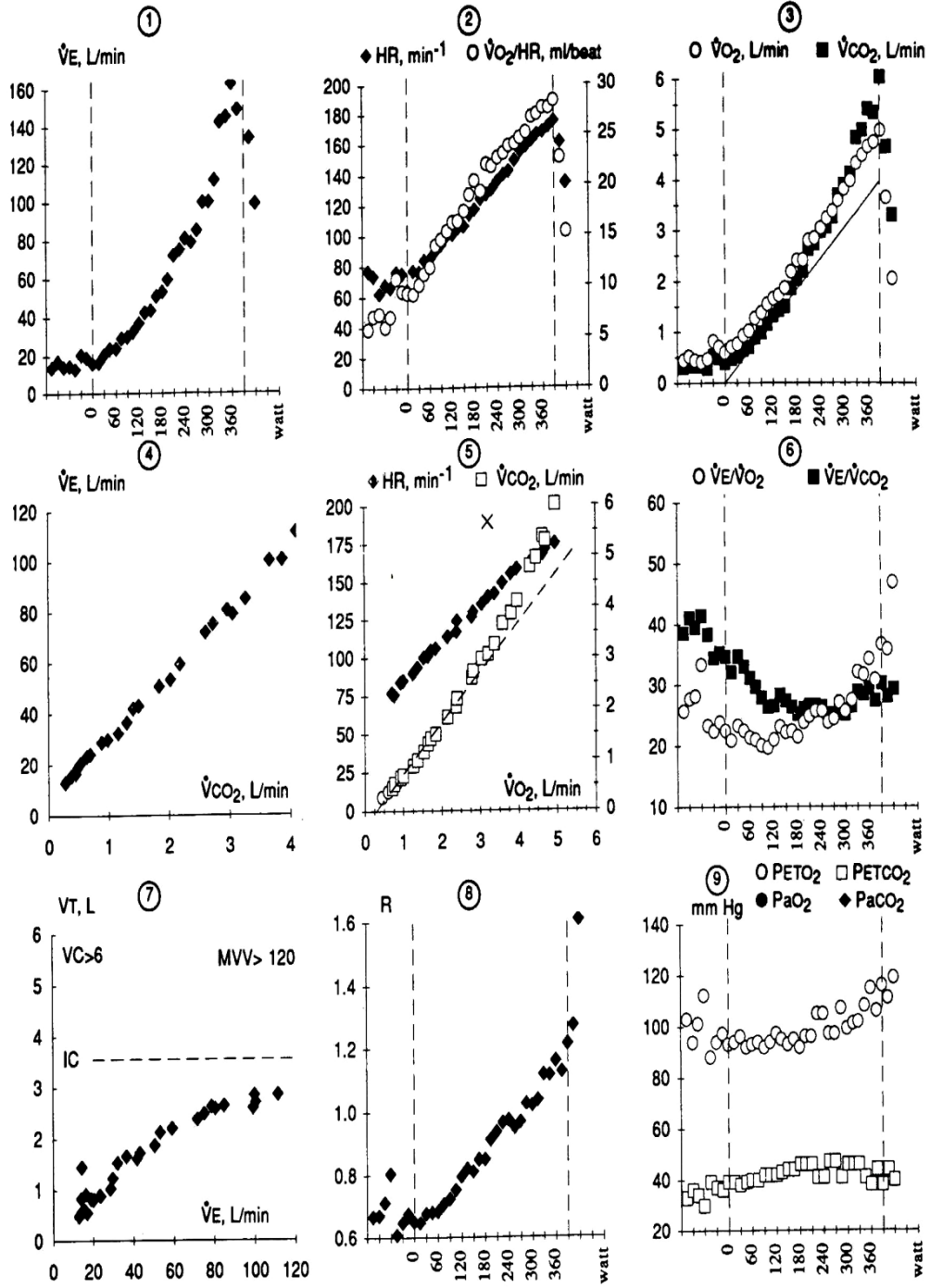
Bunun gerçekleşmesi için meydana gelen 4 süreç vardır:

- 1) Pulmoner ventilasyon veya akciğerlerin içine ve dışına hava hareketi;
- 2) Pulmoner difüzyon veya akciğerler ve kan arasında O_2 ve CO_2 'nin değişimi;
- 3) Kanda O_2 ve CO_2 taşınımı;
- 4) Kapiller gaz değişimi veya kapiller kan veya çalışan kas arasında O_2 ve CO_2 'nin değişimi.

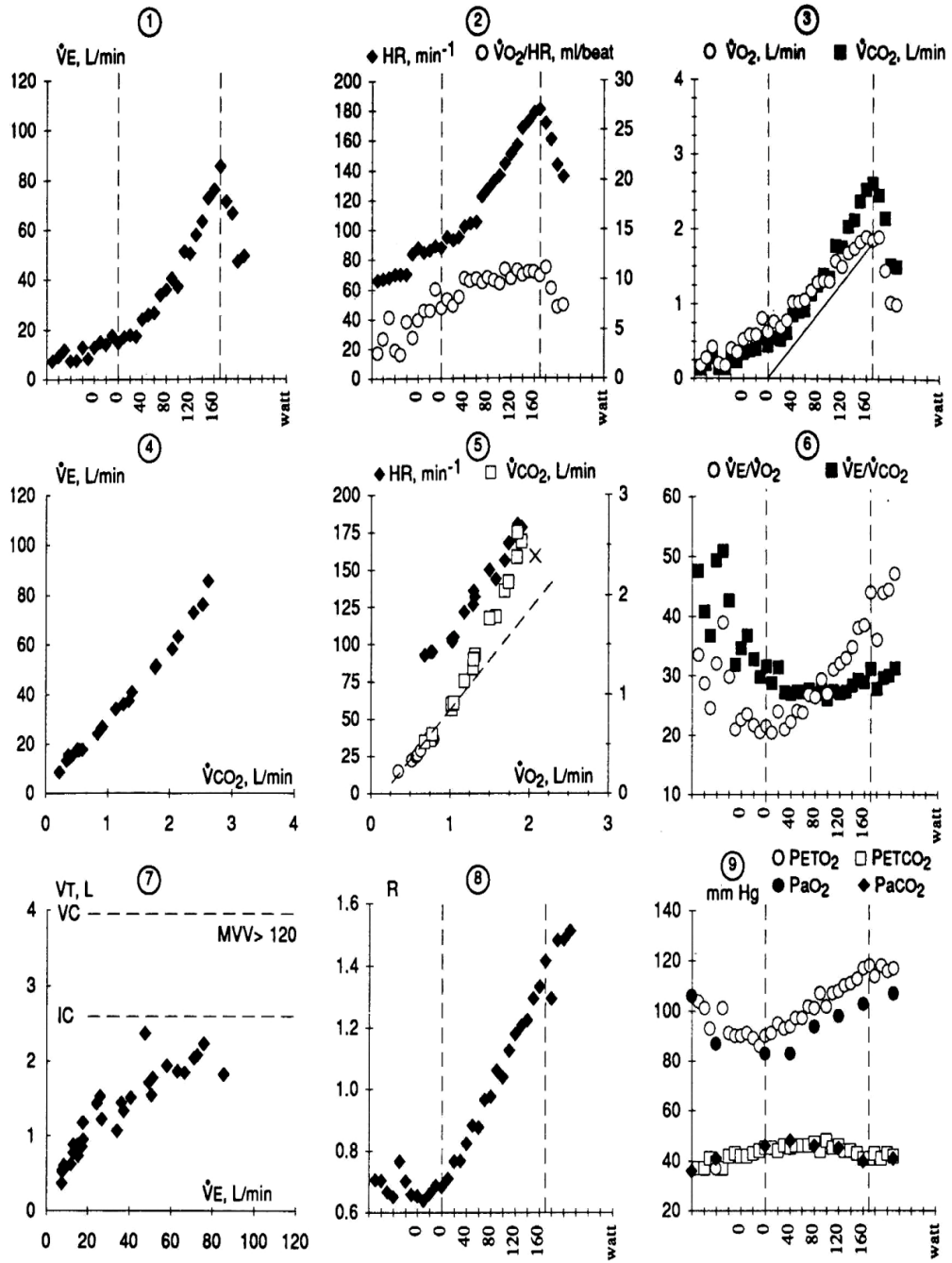
İlk iki süreç eksternal solunum olarak adlandırılır çünkü akciğerlere ve ardından kana gelen havadan gazların değişimini içerir. Dördüncü basamağa genellikle internal solunum denir. Çünkü kan ve dokular arasındaki gaz değişimini içerir. Bu iki süreç dolaşım sistemi ile bağlantılıdır. Egzersiz sırasında, eksternal ve internal solunum için istirahatte belirgin olmayan anormallikleri ortaya çıkarabileceği için KPET ayrı bir öneme sahiptir. Genellikle istirahatte yapılan pulmoner ve kardiyak fonksiyon testleri, egzersiz kapasitesi ve egzersiz intoleransı nedenleri ile ilgili mekanizmaları (kalp veya akciğer hastalığı olan bireylerde) güvenilir olarak belirleyemez.



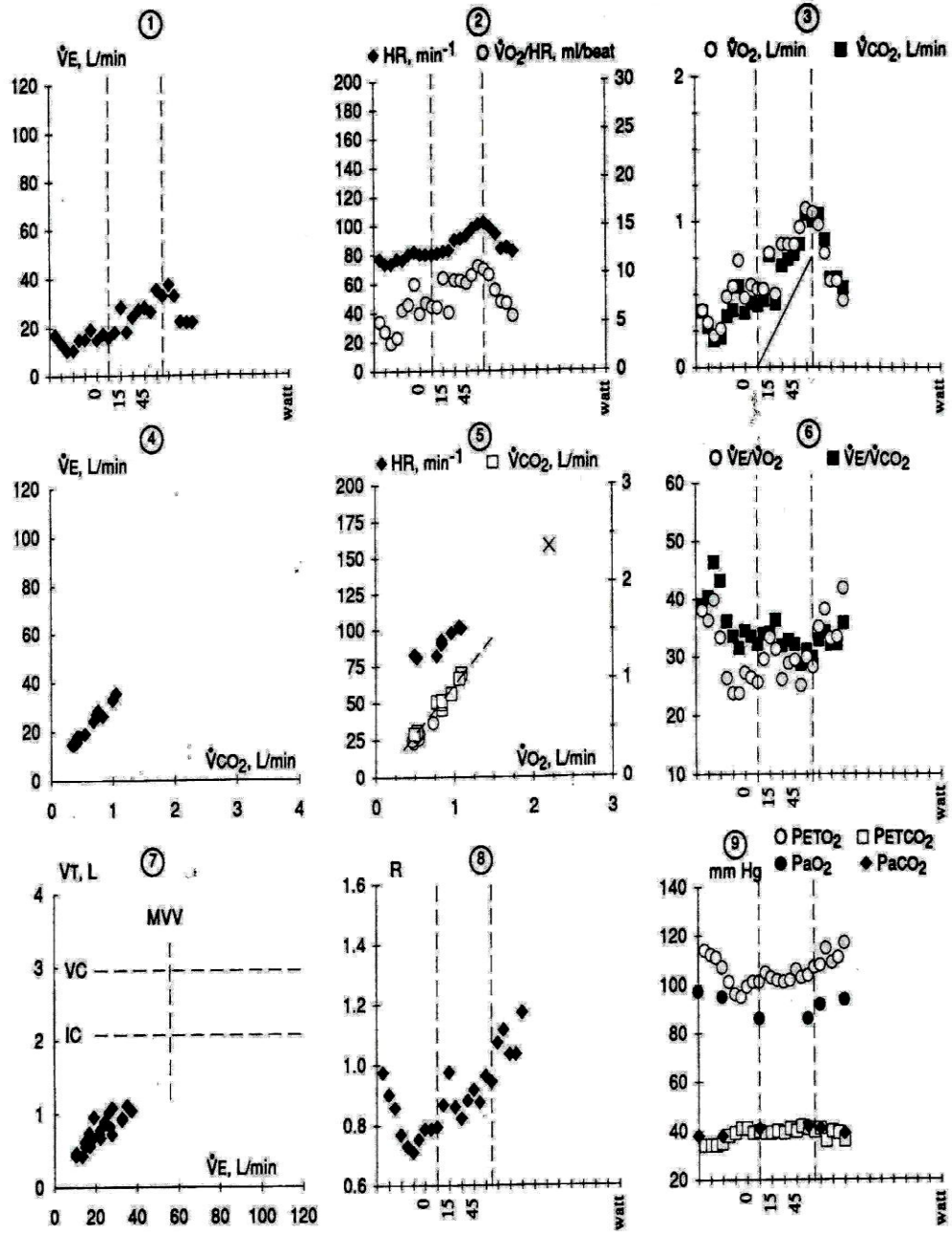
Şekil 3.8: Normal bireylerde KPET cevabı. Vertikal kesikli çizgiler; panel 1, 2, 3, 6, 8 ve 9'da artan iş gücü periyodunun başlangıç ve bitişini göstermektedir. İyileşme döngüsü, sola vertikal kesikli çizgiden önce 3 dakikalık süre için uygulandığını, Panel 3'te köşegen çizgi 10 ml/min/W slope'ta $\dot{V}O_2$ artışını göstermektedir. Panel 5'te köşegen çizgi; 1'in slope'dur ve sağ üstte "X" birey için maksimum kalp atım hızı ve $\dot{V}O_2$ tahminidir (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3.9: Antrenmanlı bireylerde KET cevabı. Vertikal kesikli çizgiler; panel 1, 2, 3, 6, 8 ve 9'da artan iş gücü periyodunun başlangıç ve bitişini göstermektedir. İyileşme döngüsü, sola vertikal kesikli çizgiden önce 3 dakikalık süre için uygulandı. Panel 3'te köşegen çizgi 10 ml/min/W slope'ta $\dot{V}O_2$ artışını göstermektedir. Panel 5'te köşegen çizgi; 1'in slope'dur ve sağ üstte "X" birey için maksimum kalp atım hızı ve $\dot{V}O_2$ tahminidir (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3.10: Kalp hastası olan bireylerde KPET cevabı. Vertikal kesikli çizgiler; panel 1, 2, 3, 6, 8 ve 9'da artan iş gücü periyodunun başlangıç ve bitişini göstermektedir. İyileşme döngüsü, sola vertikal kesikli çizgiden önce 3 dakikalık süre için uygulandı. Panel 3'te köşegen çizgi 10 ml/min/W slope'ta $\dot{V}O_2$ artışı göstermektedir. Panel 5'te köşegen çizgi 1'in slope'dur ve sağ üstte "X" birey için maksimum kalp atım hızı ve $\dot{V}O_2$ tahminidir (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3.11: Pulmoner sistem bozukluğu olan bireylerde KPET cevabı. Vertikal kesikli çizgiler; panel 1, 2, 3, 6, 8 ve 9'da artan iş gücü periyodunun başlangıç ve bitişini göstermektedir. İyileşme döngüsü, sola vertikal kesikli çizgiden önce 3 dakikalık süre için uygulandı. Panel 3'te köşegen çizgi 10 ml/min/W slope'ta VO_2 artışı göstermektedir. Panel 5'te köşegen çizgi 1'in slope'dur ve sağ üstte "X" birey için maksimum kalp atım hızı ve VO_2 tahminidir (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).

Çalışan kaslar tarafından VO_2 artışı istirahate oranla 6 katına kadar artabilir, bu ihtiyaç kalp debisi artışı (kalp atım hızı $\times$ atım hacmi) ile sağlanır. Ayrıca kalp debisi; O_2 verimini kolaylaştırarak iskelet kasları için aktif olmayan dokulardan (örneğin; iç organlara ve böbreğe ait), devamlı olarak O_2 dağıtılmasını sağlar. Akciğerlere kan akımı artışı, kalp debisi ve pulmoner damarların vazodilatasyonunda artışı ile meydana gelir. Ayrıca kandan en büyük O_2 alınımı; arteriovenöz O_2 farkının ($a-VO_2$) genişlemesiyle kaslara kan perfüzyonunun oluşması ile gerçekleşir.

Normal bireylerde V_E , iş gücünde artışa ve dolayısı ile metabolik ihtiyaca bağlı olarak artar. Bilindiği gibi ventilasyon esnasında; havanın tidal volümünün (V_T) yalnızca bir kısmı akciğerlerde gaz değişimi için alveollere ulaşır. Gaz değişimine katılmayan solunum yollarında kalan hava ölü boşluk hacmi (V_D) olarak bilinir. Egzersiz esnasında V_E 'de artış kan akışında artış ile uyumlu olmalıdır. Kalp debisi gerekli gaz değişiminin olabilmesi için ventilasyon uyumunu uygun olarak arttırmalıdır. Egzersiz sırasında anormal olarak artan ventilasyon derecesi, doğrudan hastalık şiddeti ile ilişkilidir ve prognoz için güçlü bir göstergedir (16, 24).

3.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Değişkenleri, Standart Ölçümler ve Fizyolojik Etkileri

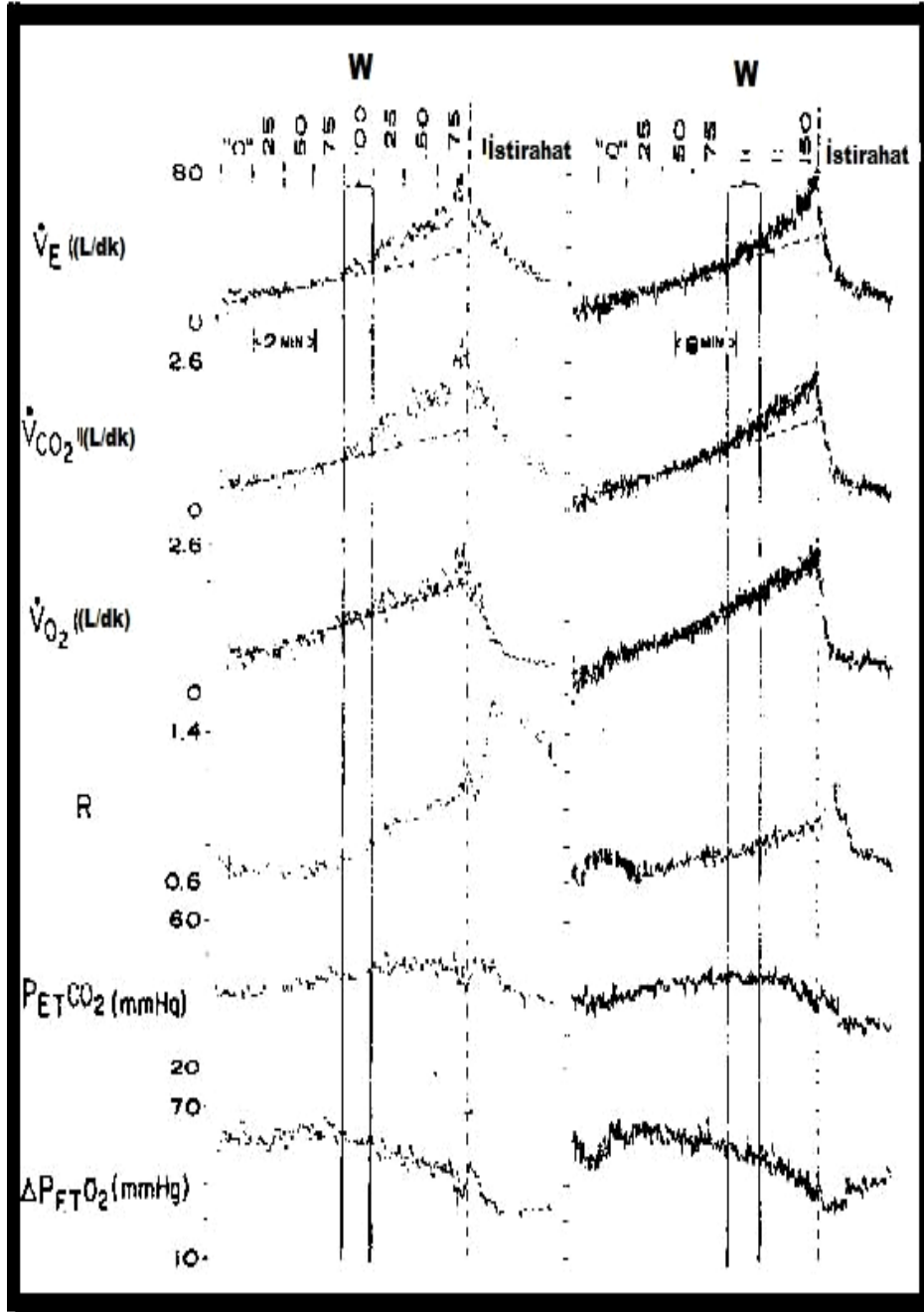
3.4.1. Anaerobik Eşik

Egzersiz sırasında metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği bölge AE'yi tanımlamaktadır (25). Bu terim; ventilasyon eşiği (VE), laktat eşiği (LE) ve laktik asidoz eşiği (LAE) gibi farklı isimler ile de anılmaktadır (26, 27, 28). Anaerobik, ventilasyon ve LE terimleri yaygın olarak birbirinin yerine kullanılmasına rağmen, bu kavramlar farklı olarak düşünülmelidir. Egzersiz kapasitesinin yaygın olarak kullanılan submaksimal indeksi AE'dir.

Wasserman ve Mc. Ilroy tarafından AE ilk kez 1964 yılında tanımlandı (25). Bu konudaki ayrıntılı çalışmalar ise Wasserman ve arkadaşları tarafından 1973 yılında yapıldı (29) (Şekil 3.12). Aerobikten anaerobik bölgeye geçişi tanımlayan AE (25) ilk tanımlandığından bu yana popülaritesini kaybetmeden sürekli gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Klinik ve spor bilimlerinde AE, yaygın olarak çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

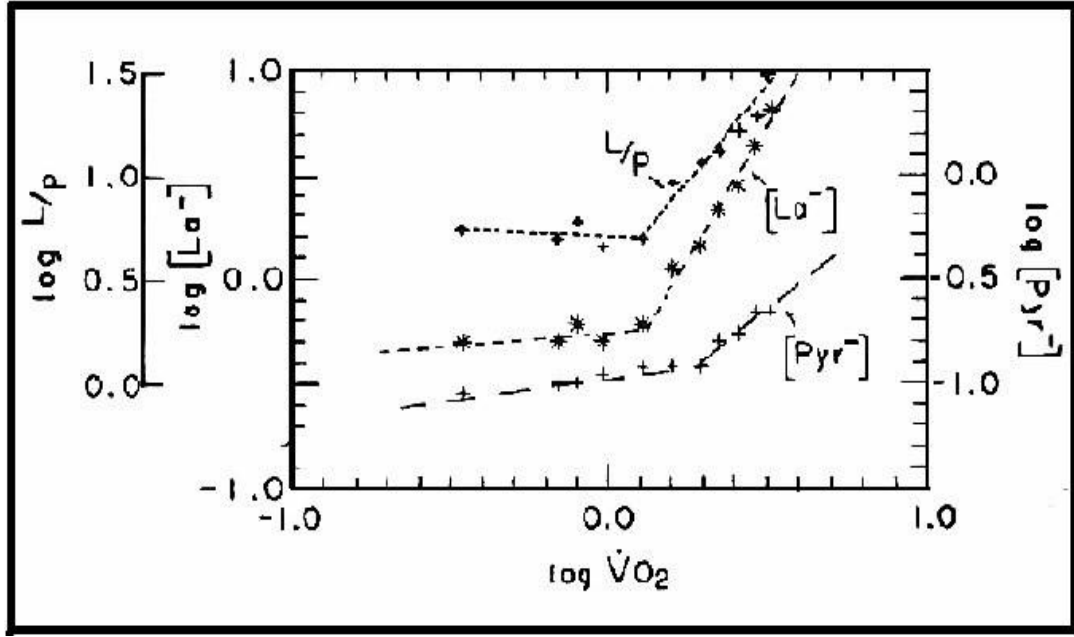
Bunlardan başlıcaları:

- Bireylerin aerobik ve anaerobik kapasitelerinin değerlendirilmesinde (30),
- Hasta ve sporculara tedavi ve antrenman amaçlı olarak iş gücü uygulanmasında (31),
- Egzersiz yoğunluğunun hafif, orta, ağır ve şiddetli olarak sınıflandırılmasında (11).
- Özellikle ağır ameliyat sonrası ortaya çıkacak olan ölüm riskinin belirlenerek ameliyatların başarı oranının artırılması amacıyla kullanılmaktadır (9, 19, 20).



Şekil 3.12: Breath-by-breath methodu ile elde edilen solunum gaz değişim parametreleri ölçümleriyle AE tespiti (Kaynak 29'dan değiştirilerek alınmıştır).

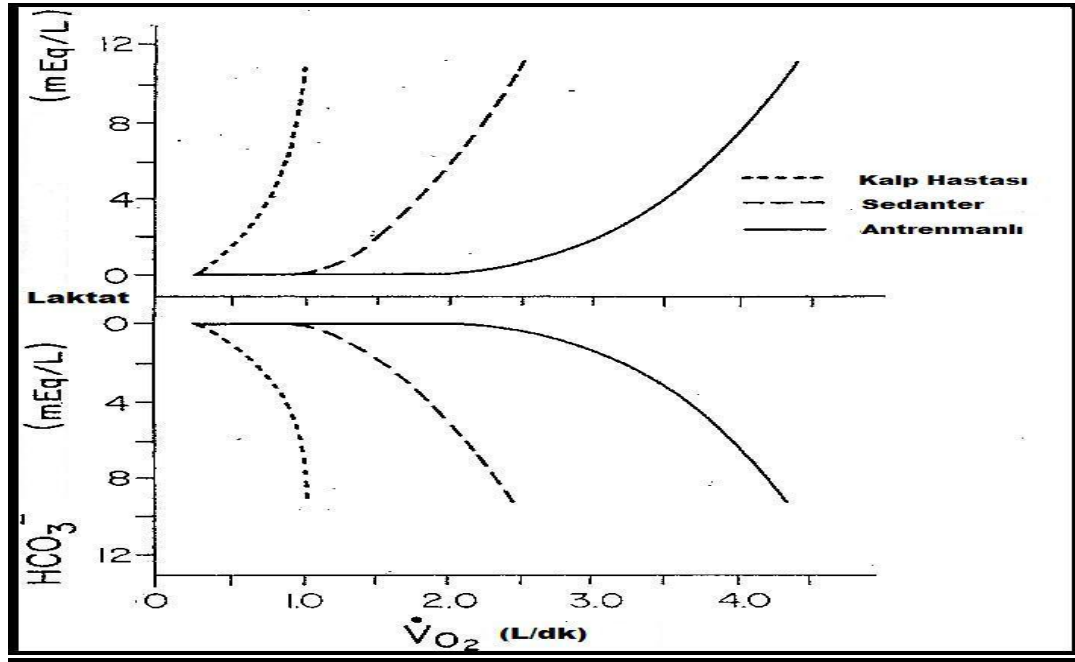
Aerobik enerji üretiminin, anaerobik mekanizmalar ile tamamlanmasıyla ulaşılan egzersiz $\dot{V}O_2$ üst seviyesi olarak tanımlanan AE; kas ve arteriyel kanda laktat ve laktat/pirüvat oranında artış ile yansıtılır.



Şekil 3.13: Log $\dot{V}O_2$ 'ye karşı log laktat $[La^-]$, log pirüvat $[Pyr^-]$ ve log laktat/pirüvat (L/P) oranı (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).

Yapılan çalışmalarda hafif egzersiz sırasında arteriyel kan ve kas laktik asit konsantrasyonunda artış meydana gelmediği ve normal istirahat halindeki seviyede kaldığı gösterilmiştir (32, 33, 34, 35, 36). Wasserman ve arkadaşları yaptıkları çalışma ile sporcularda kan-laktat seviyesinin normal bireylere göre daha geç arttığını göstermişlerdir (37). Düşük AE iş gücünde; metabolik olmayan asidoz yükselmeleri, kas ve kan laktat/pirüvat oranı aynıdır. Yüksek AE'de, laktik asidoz gelişir. Böylece eşik, kavramsal (anaerobik) veya biyokimyasal (laktat veya laktik asidoz) olarak tanımlanabilir.

Arteriyel kan laktat konsantrasyonunun arttığı egzersiz tiplerinde bikarbonat konsantrasyonunda azalma olduğu bazı bilim adamları tarafından ortaya konulmuştur (38, 39).

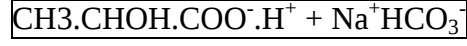


Şekil 3.14: Antrenmanlı bireylerde, normal bireylerde ve kardiyak hastalığı olan bireylerde artan egzersiz testi esnasında laktat artışı ve bikarbonat azalışı (Kaynak 14 ve 40'dan değiştirilerek alınmıştır).

Non-invaziv AE tespiti, egzersiz sırasında anaerobik metabolizma sonucunda ortaya çıkan ve kanda artmaya başlayan metabolik asit ile bunu tamponlayan sistemler arasındaki (başlıca HCO_3^-) mücadele sonucunda ortaya çıkan yan ürünlerin, özellikle CO_2 ve neden olduğu V_E artışının tespit edilmesine dayanmaktadır (34, 29).

Kan Laktatı (LE). Kan laktat ve laktat/pirüvat oranına dayanan artış.

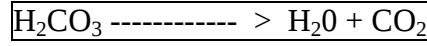
Laktik Asidozda Meydana Gelen Yüksek VO_2 (LAT). Laktat artışı ile yakından ilişkili olarak karşılıklı plazma bikarbonatı azalır.



(Laktik Asit + Sodyum Bikarbonat)



(Sodyum Laktat + Karbonik Asit)



(Su + Karbondioksit)

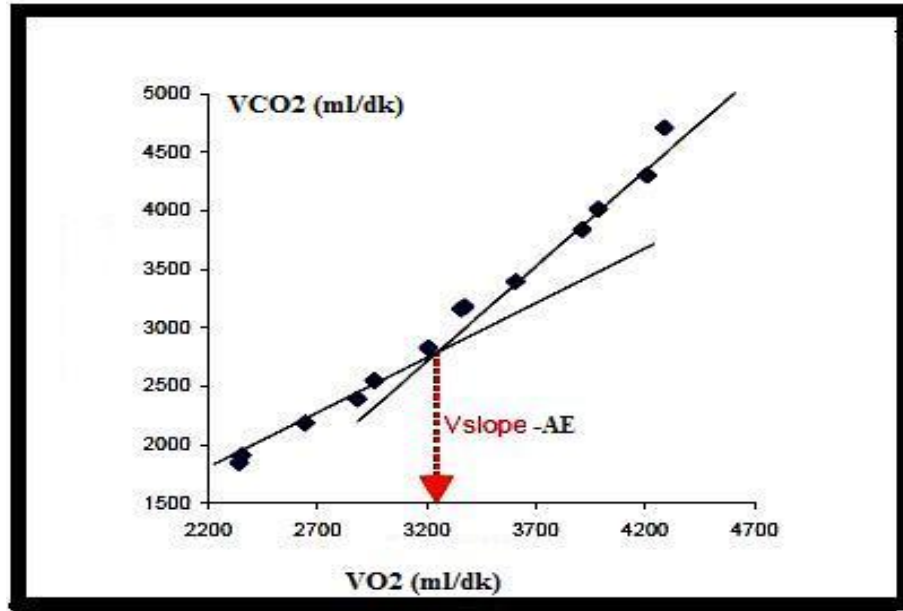
Anaerobik metabolizmanın aktifleşmesi sonucunda ortaya çıkan laktik asidin bikarbonat tampon sistemi tarafından CO_2 ve H_2O 'ya dönüşüm basamakları yukarıdaki gibidir.

Egzersiz kapasitesinin yaygın olarak kullanılan submaksimal indeksi, AE veya VE'dir. Ventilasyonda ekspire edilen gazlarla değerlendirilen VE terimi, VO_2 artışı için ilgili V_E eksponansiyel artışı başlaması egzersiz düzeyi tarafından belirlenir. Bu terim AE'nin bir yansıması olarak düşünülmektedir, belirli bir iş gücü kavramına dayanır. Kas için O_2 kaynağı, O_2 gereksinimini karşılamamaktadır. Bu dengesizlik, son metabolik yan ürün olarak laktatı arttırırken (LE) enerji çıkışı için anaerobik glikoliz bağımlılığını arttırır (41). Dakika ventilasyonda (V_E) artış laktik asitin laktata dönüşümü esnasında fazla CO_2 üretimini elimine etmek için gereklidir. Hipoksi olan kas artan laktat üretimi kalıntıları varlığının belirgin bir göstergesidir. AE genellikle sağlıklı antrenmansız bireylerde ölçülen pik veya maksimal VO_2 'nin yaklaşık olarak %45'i ile 65'i arasında olur (42). Genel olarak antrenmanlı bireylerde ise egzersiz kapasitesinin

daha yüksek bir seviyesinde gözlenir (43). Ayrıca yüksek test tekrarı güvenilirliğiyle hem sağlıklı görülen (44) hem de kronik hasta (45) topluluklarda AE gösterilmiştir.

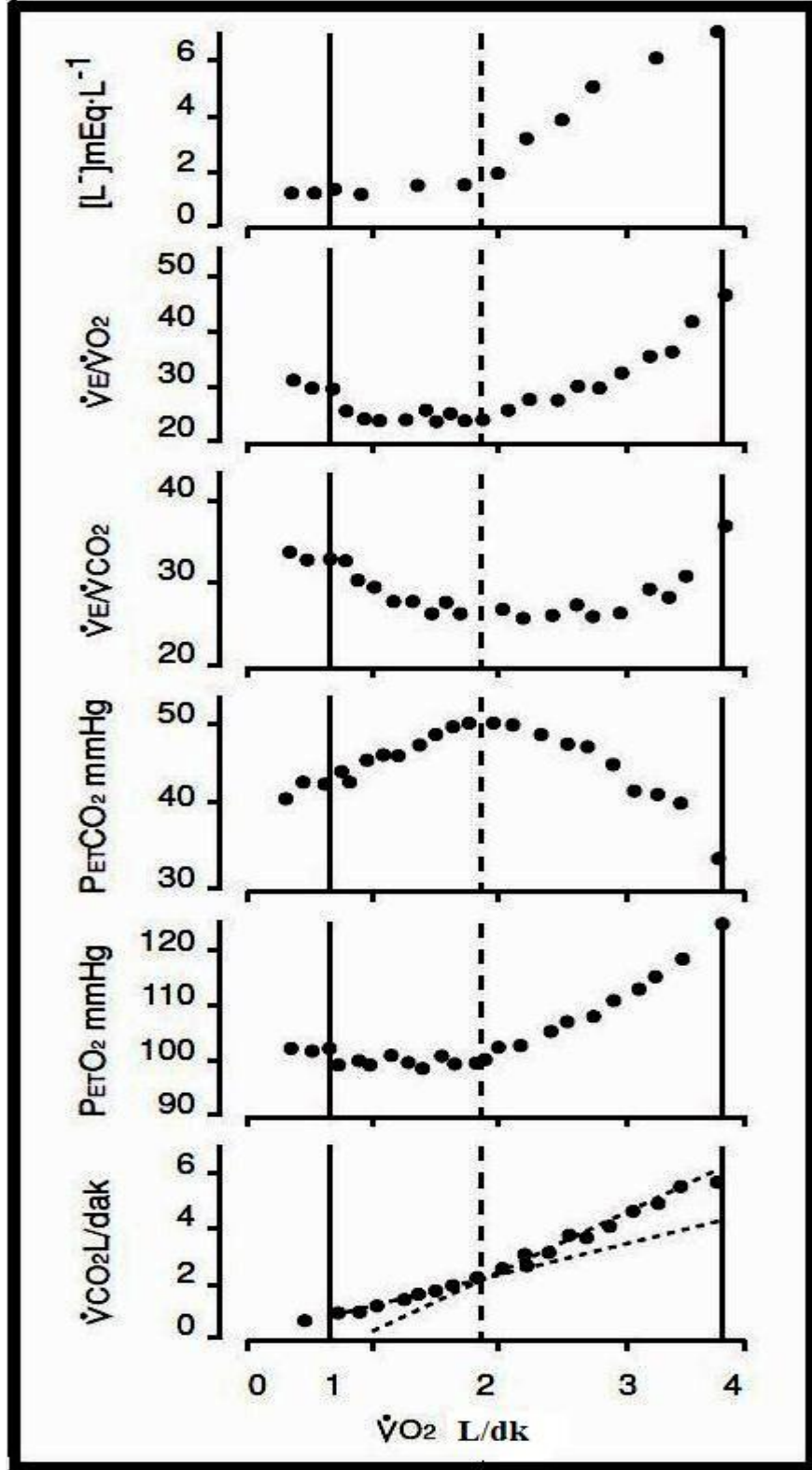
AE için en yaygın üç tanım aşağıdaki gibidir:

1. VCO_2 'ye karşı VO_2 'nin bir hat boyunca çizilen özdeşliğinde VO_2 'nin ayrılışı ile AE tespiti yani V-slope metodu (46) (Şekil 15),



Şekil 3.15: AE'nin V-slope yöntemi ile tahmini (Kaynak 47'den değiştirilerek alınmıştır).

2. O_2 (V_E/VO_2) için solunum eşitliğinde sistematik bir artış noktası, CO_2 (V_E/VCO_2) için solunum eşitliğinde artış olmaksızın görülür yani ventilasyon eşitliği (25) (Şekil 16),
3. Tidal sonu O_2 basıncında ($P_{ET}O_2$) sistematik bir artış noktası, tidal sonu CO_2 basıncında ($P_{ET}CO_2$) bir artış olmaksızın görülür (48, 49) (Şekil 16).

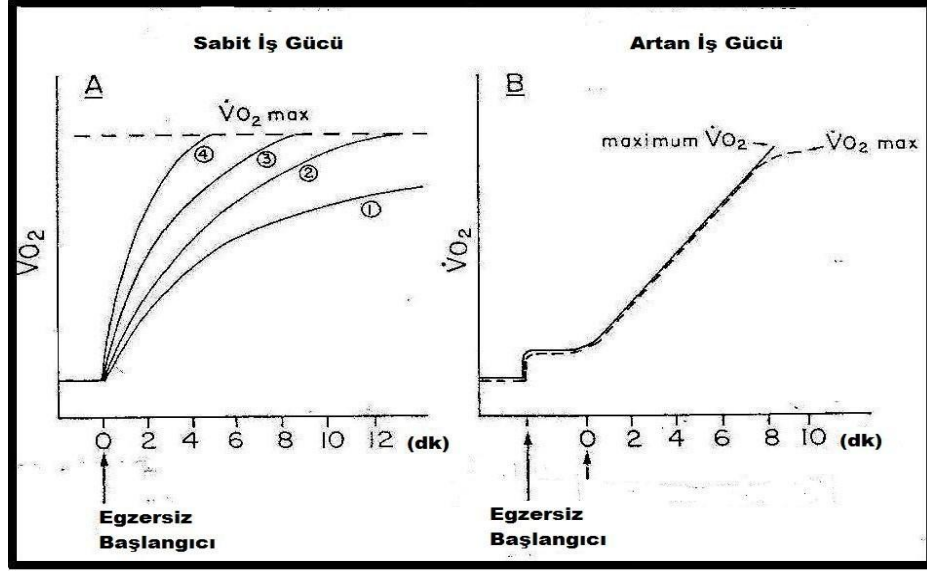


Şekil 3.16: AE'yi belirlemek için kullanılan yöntemler. Sırası ile; arter kan laktat düzeyi, $V_E/\dot{V}O_2$, $V_E/\dot{V}CO_2$, $P_{ET}O_2$, $P_{ET}CO_2$ ve V-slope methoduyla AE tespiti (Kaynak 50'den değiştirilerek alınmıştır).

Günümüzde AE'nin V-slope, ventilasyon eşitliği ve tidal sonu parsiyel basıncı yöntemleriyle bulunması en çok kullanılan yöntemlerdir. Pik veya maksimal VO_2 'nin benzer bir oranında AE değerleri bu yöntemler ile görsel olarak belirlenir (51). Birlikte anılan AE bulma tekniklerinin üçünün değerlendirilmesi, kan laktatı ile AE tespiti yaklaşımının geliştirilmesinde etkili olabilir (52). AE tespiti deneysel algoritmaların birinin seçilmesiyle, metabolik parametreleri otomatik olarak ölçen modern ekipmanlar kullanılarak yapılmasına rağmen, deneyimli bir eleştirmen tarafından görsel olarak kontrol edilmelidir. AE belirlenmesinde güven, bu noktayı hesaplamakta bağımsız olarak iki veya üç deneyimli gözlemcinin olmasıyla artabilir (51). Kesin terimlerle (ml/dk/kg) ve pik VO_2 yüzdesi olarak AE belirtilmelidir.

3.4.2. Maksimal Aerobik Kapasite

Egzersiz sırasında organ ve sistemlerin dayanıklılığını veya bozukluğunu değerlendirmede kullanılan çeşitli kriterler geliştirilmiştir. Bu önemli kriterlerden bir tanesi bireyin egzersiz sırasında ulaşabileceği en yüksek VO_2 seviyesini gösteren VO_{2max} veya maksimum (pik) VO_2 'dir (11, 41). Genel olarak ulaşılan seviye (L/dk) veya kg başına tüketim (ml/dk/kg) şeklinde VO_{2max} değerlendirilmektedir (53). Normal VO_{2max} değeri sağlıklı sedanter bireyler için 25-40 ml/dk/kg iken yüksek antrenmanlı sağlıklı bireylerde 75 ml/dk/kg'ye kadar çıkmaktadır (54). Bununla birlikte VO_{2pik} her testte görülebilecek bir parametre olmadığından genelde bireylerin ulaştığı seviyeyi gösteren VO_{2max} kullanılmaktadır. Egzersize katılan kas gruplarının büyüklüğüyle VO_{2max} seviyesi etkilenir.



Şekil 3.17: Supramaksimal iş gücü testlerinden $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2max}$) bulunması (A). $\dot{V}O_2$ ölçümlerinde düzenli olarak yükselme zaman ile olur. İş gücü 1 için $\dot{V}O_2$ asimptotu $\dot{V}O_{2max}$ 'dan düşüktür. İş gücü 2 $\dot{V}O_2$, 3 ve 4 iş gücü ile ulaşılan $\dot{V}O_2$ gibi aynı değere ulaşır. Çünkü 2, 3 ve 4 iş gücü için maksimum $\dot{V}O_2$ artan iş gücüne rağmen aynıdır, bu yapılan çalışma formu için $\dot{V}O_{2max}$ 'ı tanımlar. Maksimal artan effor egzersiz testinden $\dot{V}O_{2max}$ ve maksimum $\dot{V}O_2$ arasındaki ayrımın gösterimi (B). $\dot{V}O_2$ -iş gücü eğiminin düzleşmesi bireyin maksimal iş gücü, bireyin maksimal $\dot{V}O_2$ veya $\dot{V}O_{2max}$ değeridir (Kaynak 23'den değiştirilerek alınmıştır).

Vücut organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumlarının sağlamlık derecesine göre O_2 kullanımı için bir üst sınırı vardır. Bu, egzersiz kası için O_2 çıkışı ve soluk alıp-verme kapasitesi için potansiyel maksimal kalp debisi ile kararlaştırılır. $\dot{V}O_2$ 'de bu üst sınır, şiddeti düzenli olarak artan bir egzersiz testi esnasında iş gücü oranında artış olmasına rağmen $\dot{V}O_2$ 'de bir plato oluşmasıyla gösterilerek tespit edilebilir (50) (Şekil 3.17). Böylece $\dot{V}O_{2max}$, iş gücü oranında bir artış olmasına rağmen daha fazla $\dot{V}O_2$ artışı olmamasıyla egzersizin belirli bir formu için en yüksek $\dot{V}O_2$ ulaşılabilirliğini temsil etmiştir (16). İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi esnasında $\dot{V}O_2$ 'de plato, maksimal bir $\dot{V}O_2$ için hedefe ulaşılması anlamında karar vermek için gerekli kanıtı sağlar. Maksimum $\dot{V}O_2$, $\dot{V}O_{2max}$ 'a eşit olmayabilir.

En sağlıklı deneklerde bile bacaklarda yorgunluk oluşması nedeni ile iş gücü düzenli olarak artan egzersiz testi esnasında plato açık olarak görülmediği zaman, VO_{2max} 'a yakın yaklaşık bir tahmin yapılmasıyla maksimum VO_2 elde edilmiş olur. İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi esnasında deneğin bacak ya da göğüs ağrısı, nefes darlığı ya da motivasyon eksikliği gibi durumlarda mekanik sınırlamalar nedeniyle egzersiz durdurulduğu zaman VO_2 'de plato görülmez. Örneklerde, platonun görülme oranı oldukça düşüktür (23). Kardiyopulmoner sistem limitlerinin tanımlanmasında metrik olarak kullanıldığı için VO_{2max} önemli bir parametredir. Pik egzersizde ortaya çıkan VO_{2max} ; kalp debisi ve arteriyovenöz O_2 farkı $[C(a-v)O_2]$ sonucunun Fick denklemi yardımıyla değerlendirilmesi ile belirlenir;

$$VO_{2max}=(HR \times SV) \times [C(a-v)O_2]$$

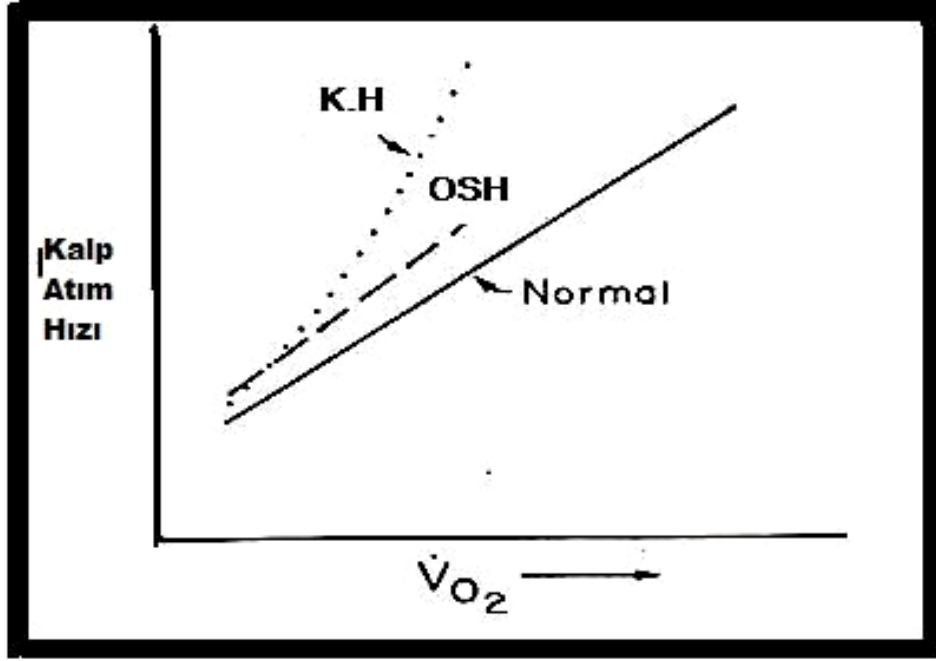
Burada; HR kalp atım hızı ve SV atım hacmidir. Dakika başına litrede O_2 olarak ölçülmesine rağmen genellikle intersubject karşılaştırmaları kolaylaştırmak için VO_{2max} dakikada vücut ağırlığının kilogramı başına O_2 mililitresi olarak tanımlanır. Vücut ağırlığına bağlı olarak daha yüksek bir VO_{2max} 'a ulaşılacağından belirli bir standart getirmek için VO_{2max} değerlendirilmesi ml/kg/dk ifadesi ile vücut ağırlığı için normalleştirilir. Ayrıca egzersiz kapasitesi özellikle iş gücünden tahmini olarak değil de direk olarak VO_2 ölçümüyle elde edildiği zaman çoğunlukla metabolik eşitliklerle (METs) ifade edilir (16). Normal standartlar için referans eşitlikleri VO_2 ölçüldüğünde veya tahmin edildiğinde spesifik olmalıdır çünkü tahmini değerler çeşitli varsayımlar gerektirir

ve VO_2 üzerinde tahmin eğilimindedir. Referans eşitlikleri ayrıca test koşu bandı veya bisiklet ergometrisinde yapıldığında spesifik olmalıdır çünkü egzersiz kapasitesi koşu bandında genellikle %10 ila %20 daha fazladır (55).

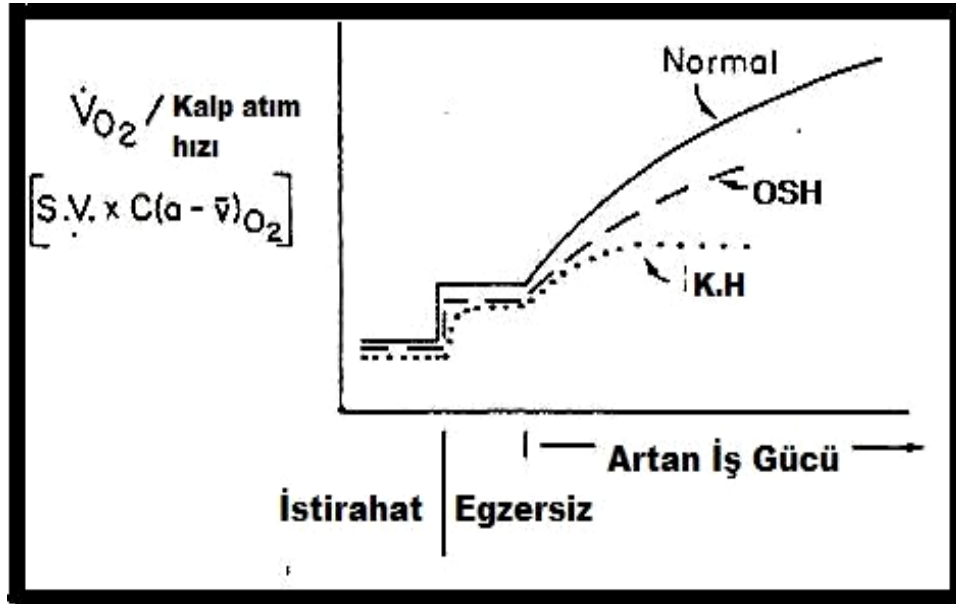
Maksimal VO_2 ölçümü, bireyin fizyolojik üst sınırına ulaşıldığı anlamına gelir (hem de maksimal aerobik kapasite olarak adlandırılır). Maksimal VO_2 (fizyolojik VO_{2max}) son iki egzersiz iş gücü arasındaki VO_2 'de bir platoyla tanımlanmıştır ve belirli bir süre için maksimal eforun elde edilmiş olmasını ve sürdürülebilir olmasını gerektirir. Çünkü bunun belirlenmesi subjektiftir, tanımlamak zor olabilir ve kardiyovasküler ve pulmoner hastalığı olan hastalar test edildiği zaman nadir olarak gözlenir, pik VO_2 terimi egzersiz kapasitesini ifade etmek için klinik olarak daha yaygın olarak kullanılır. Aksine VO_{2max} terimi maksimal fizyolojik yanıt başarısı daha muhtemel olduğundan sağlıklı olarak görülen bireylerde egzersiz kapasitesini tanımlamak için daha sık kullanılır (16).

3.4.3. Oksijen Pulse

Kalp atım hızına VO_2 'nin bölünmesiyle O_2 pulse bulunur (VO_2/HR). Periferik dokular tarafından alınan O_2 'nin hacmi ya da her kalp atım hızı pulmoner kana eklenen O_2 hacmidir. Eğrinin yukarıya kayması ilk olarak kalp atım hacmine bağlıdır. Eğer kalp atım hacmi azalırsa, $(C(a-v)O_2)$ O_2 , oldukça yavaş olarak iş gücünde maksimal hacme varır ve O_2 pulse yavaş asimptota sahiptir. Maksimum O_2 pulse, tüm arterial O_2 'nin azalması nedeniyle, kansızlıkta, yüksek karbohemoglobin seviyelerinde, arterial hipokseminde görülür.



Şekil 3.18: Sağlıklı, Kalp hastalıklı (K.H) ve kronik obstrüktif solunum yolları hastalıklı (OSH) olan bireyler için $\dot{V}O_2$ ile ilgili kalp atım hızında değişim karakteristikleri (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).



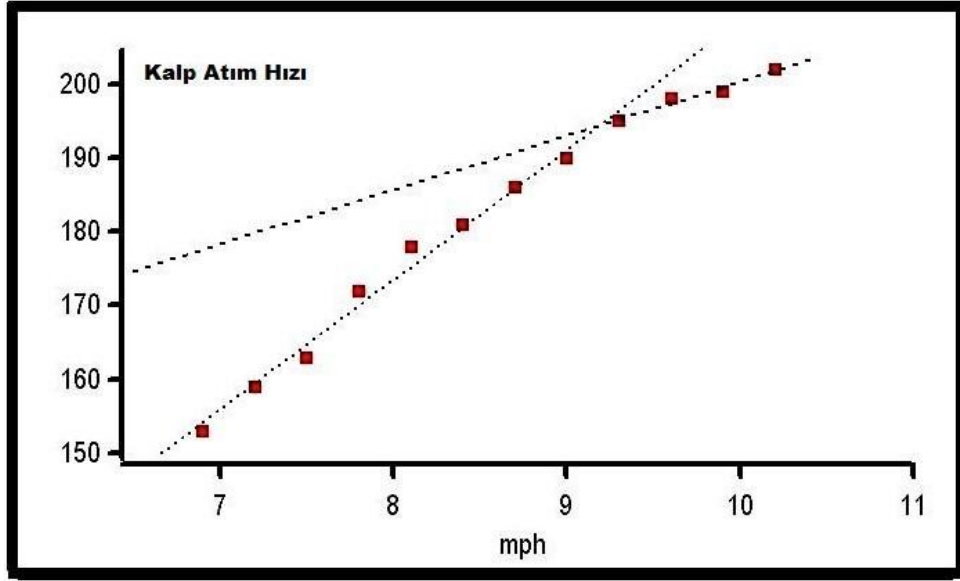
Şekil 3.19: Sağlıklı, Kalp hastalıklı (K.H) ve kronik obstrüktif solunum yolları hastalıklı (OSH) olan bireyler için iş gücü artışı ile ilişkili olarak (O_2 pulse) $\dot{V}O_2$ /kalp atım hızı karakteristik değişiklikleri (Kaynak 14'den değiştirilerek alınmıştır).

3.4.4. Kalp Atım Hızı

Egzersizde kalp atım hızının değerlendirilmesi en sık kullanılan yöntemlerdendir (56, 57). Metabolik stresin düzenli olarak artırıldığı egzersizlerde kalp atım hızı; artan enerji ihtiyacına göre paralel, düzenli olarak artmaktadır. Şiddeti düzenli artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında bireylerin kalp atım hızı, artan iş yükü ile paralel olarak artış göstermektedir (58). Egzersizin başlamasıyla vagal tonusun azalması, sempatik tonusun artışı ve venöz dönüşün artmasıyla kalp atım hızı artar. Egzersizde bu kalp atım hızı artışı cevabı yaş, kan hacmi, çevresel şartlar, egzersizin şekli gibi birçok faktörden etkilenir (59). Fiziksel antrenman egzersizle oluşan maksimal kalp atım hızı seviyesini düşürebilir. Egzersizle ulaşılan maksimal kalp atım hızı seviyesi 220-yaş olarak (Karvonen metodu) formüle edilebilir (60, 61). Bu değer maksimal güvenli kalp atım hızı sınırını gösterir. Deneklerin egzersiz sırasında ulaşabileceği maksimal kalp atım sayısı ve istirahat kalp atım sayısı arasındaki fark bireylere uygun antrenman seçiminde kullanılan değerli bir kardiyak parametredir (62).

Conconi testi, spor hekimliğinde bireyin maksimum anaerobik ve aerobik eşik kalp hızını ölçmek için tasarlanmıştır. Bu test farklı yüklerde, kişinin kalp hızını ölçer. Belirli bir noktanın üzerinde ise kalp atım hızında paralellik bozulmakta ve kalp atımı metabolizmaya göre farklılıklar göstermektedir. Conconi ve arkadaşları egzersiz sırasında kalp hızı-iş gücü arası kırılma noktası ile AE arasında yakın ilişki bulmuşlardır (63). Artan egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak kan laktat seviyesinde ve katekolamin üretiminde artmalar gözlenmekte, bu ise sempatik sistem uyarılmasına ve kalp atımında artmaya neden olmaktadır.

Egzersiz sırasında kalp atım hızının iş gücüne göre değişmeye başladığı nokta ile AE tespiti yapılabileceği öne sürülmektedir (63). Yapılan çalışmalarda, kalp atım hızı ile iş gücü arasındaki ilişkisinin değişik fiziksel aktivitelerde uygulanabileceği gösterilmiştir (64).



Şekil 3.20: AE belirlenmesinde kullanılan kalp atım hızı ile iş gücü arasındaki ilişkinin Conconi testi ile bulunması (Kaynak 63'den değiştirilerek alınmıştır).

3.4.5. İş Gücünden Oksijen Alınımı veya Metabolik Eşitlik Tahmini

Bazı laboratuvarlar, VO_2 'yi direk olarak ölçmekten ziyade egzersiz esnasında çalışma hızından VO_2 'yi tahmin eder. Bu pratik, potansiyel olarak yanıltıcı fakat vazgeçilmezdir. Metabolik eşitlik (MET “Metabolic Equivalent of Task”) 40 yaşında, 70 kg bir erkeğin ortalama dinlenme VO_2 'sinden türetilmiştir. Vücut ağırlığının kilogramı başına 3,5 ml/min'e eşittir. Bilinen sabitlenmiş bu ilişkinin ergometre çalışma hızı ve deneğin VO_2 'si arasında egzersiz esnasında var olduğunu farz ederek bazı laboratuvarlar, dakika başına mililitrelerde VO_2 'nin tahminini yapar (65). Elde edilen VO_2 vücut ağırlığının kilogramı başına denek

tarafından yapılan MET performansını elde etmek için 3,5 ile bölünür (66, 67). Göz önünde bulundurulması gereken bir diğer nokta ise MET hesaplanmasında kullanılan ergometrinin kalibrasyonunun doğru olarak ayarlanmadığı durumlarda, hesaplanacak olan VO_2 ciddi derecede yanlış sonuçlar verebilir. Buna ek olarak, VO_2 eğer kararlı bir durumda değilse, VO_2 çalışma hızı yaygınlaşarak daha az veya daha fazla olabilir. Vurgulanması gereken bir diğer nokta ise VO_2 genellikle, kardiyovasküler hastalarda çalışma hızı artışıyla doğrusal olarak artmaz. Böylece, VO_2 veya MET'i tahmin etmek için çalışma hızını kullanmak, bu hastalarda bir abartıya götürecektir. Sonuç olarak, vücut ağırlık faktörü VO_2 tahmini için hesaba alınmalıdır. Fakat MET'e VO_2 'yi gerçekten ölçmeden çalışma hızının dönüşümü özellikle hastalarda yanlıştır ve bu metot kullanılmamalıdır. Çalışma hızı- VO_2 ilişkisinin analizi, sadece ergometre ile değerlidir ve ölçüm sistemi olarak doğru kalibre edilmelidir (25, 68).

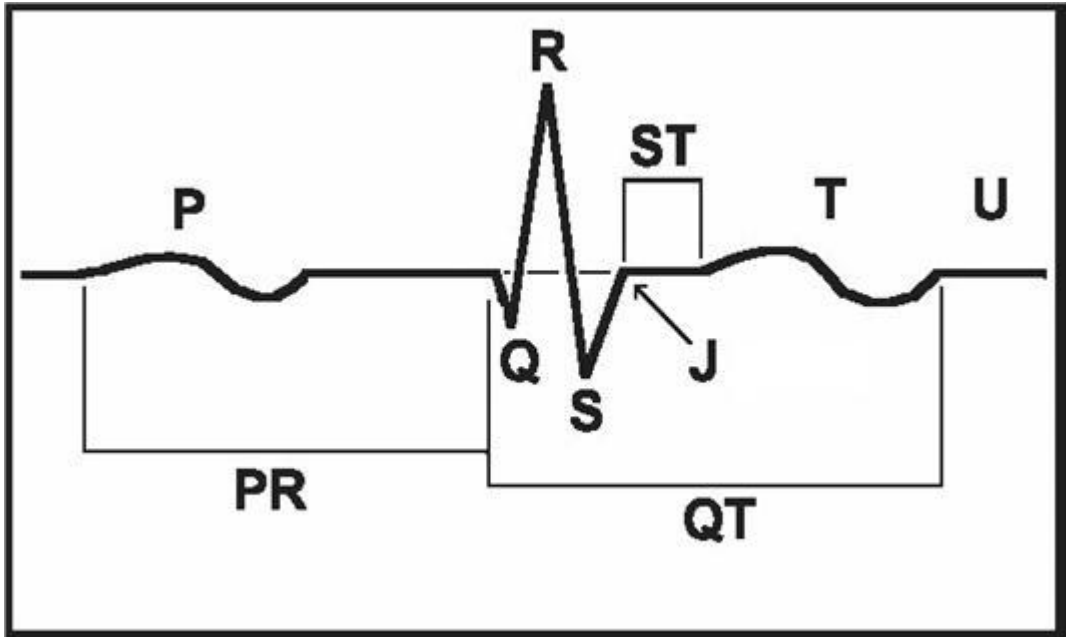
3.4.6. Pik Solunum Değişim Oranı

Solunum R değeri, özellikle ventilasyonla ekspire edilen gaz analizinden elde edilen VCO_2 ve VO_2 arasındaki oran olarak tanımlanır. Bireyin eforunu belirlemekte kalp atım hızını değerlendirme ihtiyacını ortadan kaldırır. Egzersiz fizyolojik yanıtı birey eforunun göstergesi olarak en doğru ve güvenilir biçimde pik R değeri ile ortaya koyulur. Sağlıklı bireyler ve tüm hasta popülasyonlarında tutarlıdır. Sağlıklı yetişkin bireylerde R değeri; 1.10 ve 1.20 arasında maksimal efor için iyi bir tanımlayıcı olarak kabul edilir (69). Egzersiz esnasında ≥ 1.10 pik R değeri genellikle mükemmel birey eforunun bir göstergesi kabul edilir fakat testi durdurmak için bir gösterge değildir. Solunum R değeri ≥ 1.0 'da AE'ye

ulaşan birçok bireye rağmen AE bazen R değeri <1.0 olduğunda bireylerde tespit edilebilir. Genellikle R değeri; 0.8 ila 0.99 aralığı bir yerde olduğunda AE tespit edilir (16, 25, 60).

3.5. Elektrokardiyogram

Kalpte oluşan elektriksel aktivitenin elektrotlar aracılığı ile vucut yuzyeyinden kaydedilmesi EKG olarak adlandırılır. Atrium depolarizasyonunu P dalgası, ventrikul depolarizasyonunu QRS kompleksi simgeler. Ventrikuler repolarizasyon T dalgasını oluştururken atrial repolarizasyon QRS kompleksinin içinde kaldığı için gözlenemez. Normal EKG ritmi sinus ritmidir, yani her QRS kompleksinin önünde bir P dalgası bulunur (şekil 3.21). Kalp atım hızı dakikada 60-100 arasındadır. Kalp alışması için EKG miyokardiyal O₂ durumu ve O₂ gereksinimi arasındaki dengenin değerli bir lusdr.



şekil 3.21: Normal bir EKG örneğinin şekli.

Egzersiz stres testi veya eforlu EKG koroner arter hastalığı tanısında, yaygınlığı ile prognozunun değerlendirilmesinde, koroner arter hastalarının fonksiyonel kapasitelerinin değerlendirilmesinde ve tedavi etkinliğinin saptanmasında günümüzde yaygın olarak kullanılan önemli bir tetkiktir. Egzersiz kalp atım hızını arttırdığı ve diyastolik süreyi kısalttığı için koroner perfüzyon zamanı azalır. Dolayısıyla, koroner arter hastalığının, egzersiz yaparken tespit edilmesi istirahat esnasından daha muhtemeldir. Kalp kası, yeterli O₂ olmaksızın kasıldığı zaman (iskemi), kas hücrelerinin iyonik permeabilitelerini değiştirir ve miyokardiyal hücre zarının karşısında normal iyon gradientlerinin tekrar kurulması kalp sistolünden sonra yavaşlar (16).

Sonuç olarak, repolarizasyon esnasında elektriksel zar potansiyelini tekrar kurmak, miyokardiyumun iskemik alanlarında yavaşlatılır. Egzersizde artan kardiyak iş O₂ ihtiyacı ile T dalgası ve ST segmentinde akut olarak değişmelere neden olur. Çalışma oranının artması gibi ektopik atım sıklığı artması patolojik ve miyokardiyal iskemiye düşündüren nedenler olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı hastalar, egzersiz esnasında görülmeyen fakat istirahatte zamanından önce ventriküler veya atriyele kontraksiyonlar gösterir (70, 71). Egzersiz için kardiyovasküler sistemin hızlı yanıtı; azalan vagal uyarı ve artan sempatik çıkış nedeniyle artan kalp atım hızı şeklinde ortaya çıkar. Dinamik egzersiz esnasında kalp atım hızı iş gücü ve VO₂ ile linear olarak artar fakat kalp atım hızı ivmesinin eğimi ve büyüklüğü; yaş, kondisyon, vücut pozisyonu, egzersiz türü ve sağlık ve tedavinin çeşitli dereceleri, kalp nakli dahil olmak üzere bunlar tarafından etkilenir. Egzersize bağlı miyokardiyal iskeminin en sık görülen bulgusu ST-segment depresyonudur (25, 72).

Bu tez çalışmasının amacı:

1. Yapılan çalışmalarda aerobik ve anaerobik egzersiz testleri ayrı ayrı uygulanmaktadır. Bu çalışmada ise hem aerobik hem de anaerobik egzersiz kapasitelerini içeren şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi (incremental ramp test) uygulandı. Aynı test ile iş gücü sürekliliği sağlanarak; bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumlarının karşılaştırılması olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır.
2. Egzersiz esnasında fiziksel kapasite artımında veya azalmasında rol oynayan faktörler karşılaştırılması olarak değerlendirilecektir.
3. Metabolizmanın sürekli artış gösterdiği egzersiz testi ile karşılaştırılması olarak araştırılması sistemlerde meydana gelebilecek problemlerin en kısa sürede ve en etkin biçimde tanınmasına neden olacaktır.
4. Efor kapasitesi normalin altında olan bireylerde; kapasite arttırılmasında rol oynayabilecek sistemler belirlenmeye çalışılacak hatta kapasiteleri yüksek olan sporcularda bile ekstra kapasite artırma yolları belirlenmeye çalışılacaktır.
5. Bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki kardiyorespiratuvar ve metabolik cevaplarının analizi ile sedanter, hasta veya yüksek antrenman seviyesine sahip bireylerin değerlendirilmesi için referans verileri oluşturmaktır.

4. GEREÇ VE YÖNTEM

4.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmaya, fiziksel kapasitesi sedanter bireylere göre daha yüksek olan 18-25 yaş arası 24 antrenmanlı erkek denek gönüllülük esasına göre katıldı. Çalışmaya katılan tüm deneklerin fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Egzersiz testleri sırasında olabilecek tüm yan etkiler veya olumsuzluklar (çalışma esnasında bacaklarda yorgunluk, terleme, su kaybı, soluk alıp verme sayısında ve kalp atım hızında artma meydana gelebileceği gibi tüm ihtimaller) deneklere ayrıntılı olarak anlatıldı. Deneklerin hepsi Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsanlar Üzerine Yapılacak Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı’ndan alınan izin belgesi (10.03.2011-05/05-sayı:76) ve gönüllü olur formunu okuyup onayladıktan sonra egzersiz testine katıldılar.

Çalışmaya katılacak olan denekler egzersiz testlerine başlamadan önce belli kriterlere göre değerlendirmeye alındı. Bu kriterlere uymayanlar çalışmaya alınmadı.

Bu önemli kriterler:

- Bireylerin egzersiz yapmasına engel olabilecek herhangi bir akut veya kronik rahatsızlığının (yüksek tansiyon, şeker, kalp ve akciğer hastalıkları vb.) bulunmaması,
- Egzersiz yapmalarına fiziksel bir engellerinin olmaması (ortopedik veya kas hasarı olan),
- Sigara, alkol ve herhangi bir ilaç kullanımı gibi alışkanlıklarının bulunup bulunmaması oldu.

Tablo 4.1: Çalışmaya katılan deneklerin fiziksel özellikleri (yaş; yıl, boy; cm ve vücut ağırlığı; kg) ve VKİ (VKİ, kg/m²) değerleri.

Denek No	Yaş (Yıl)	Boy (cm)	Vücut Ağırlığı (kg)	VKİ (kg/cm ²)
1	19	180	68.2	21.0
2	19	180	68.2	21.0
3	22	190	74.0	20.4
4	22	190	74.0	20.4
5	18	195	82.7	21.7
6	18	195	82.7	21.7
7	18	185	80.9	23.6
8	18	185	80.9	23.6
9	20	186	72.3	20.8
10	20	186	72.3	20.8
11	24	190	81.9	22.6
12	24	190	81.9	22.6
13	20	197	69.4	17.8
14	20	197	69.4	17.8
15	19	173	65.0	21.7
16	20	169	58.3	20.4
17	18	170	57.1	19.7
18	19	177	62.2	19.8
19	22	185	70.4	20.5
20	18	175	53.4	17.4
21	18	175	61.9	20.2
22	18	169	65.1	22.7
23	19	169	58.3	20.4
24	21	181	72.8	22.2
Ortalama±SS	19.7±1.87	182.8±9.2	70.1±8.8	20.9±1.65

Deneklerin vücut kompozisyonları, sabah aç karnına, ayaktan ayağa biyoelektrik impedans analiz yöntemi ile ölçülüp değerlendirildi. (Tanita, Body Composition Analyser, TBF-300M) (73). Bu değerlendirme; vücut yağ oranı, vücut yağ yüzdesi, yağsız vücut ağırlığı, total vücut su miktarı ile VKİ'yi içermektedir.

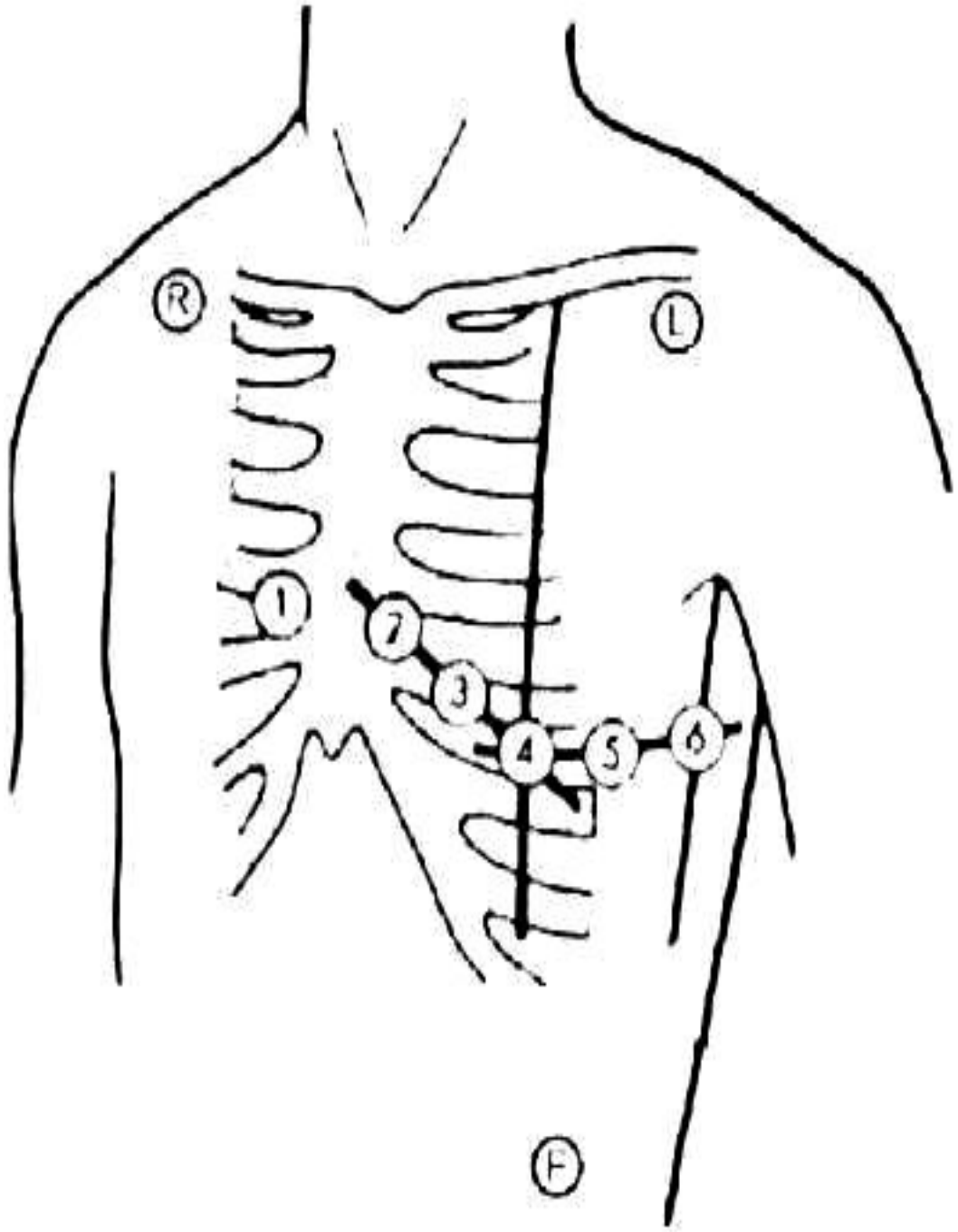
4.2. Deneklerin Egzersiz Testine Hazırlanması

Deneklere egzersiz testine katılmadan önce testi yapacakları laboratuvar ortamı ve aletleri gösterildi. Bunun amacı deneklerin heyecan faktörünü ve buna bağlı olarak sonuçlarda çıkabilecek hataları minimuma indirmektir. Egzersiz çalışmaları sabah 8-10 arasında, aç karnına (veya en az iki saat öncesinde yemek yememiş olması), deneklerin uykusunu almış ve dinlenmiş olmaları göz önünde bulundurularak uygulandı. Ayrıca bu çalışmalardan önce deneklere performanslarını etkileyebilecek çay, kahve veya herhangi bir ilaç almamaları gerektiği söylendi.

Egzersiz test protokolünün uygulanacağı laboratuvar ortamının sıcaklığı yaklaşık olarak 20-22 C° civarında sabit tutuldu. Bütün denekler için bisikletin sele yüksekliği her deneğin boyu göz önünde bulundurularak bacaklarının tam olarak açılması sağlanacak şekilde ayarlandı. Laboratuvar ortamının sıcaklığı, nemi ve barometrik basıncı belirlenerek egzersiz ölçüm sistemine kaydedildi. Çünkü laboratuvar ortamındaki solunan hava ortam koşulları ile etkilenebileceğinden sıcaklık, barometrik basınç ve nem dikkate alındı. Egzersiz testinde kullanılacak olan bisiklet ergometre, metabolik ve solunum ölçüm sistemleri kalibre edildi.

Egzersiz testlerinin yapılmasında elektromanyetik sabit bisiklet ergometre kullanıldı (VIA sprint™ 150/200P). Mikroişlemci kontrollü olan bu bisiklet ergometre 20-1000 W arasında değişen bağımsız iş yüküne sahiptir. Sele yüksekliği hastanın boyuna uygun olarak 120 cm ile 210 cm arasında manuel olarak ayarlanabilmektedir. Gidon ayarı (yükseklik ve açı) yapılabilir. Bisiklet ergometre 5 adet önceden tanımlanmış, 10 adet kullanıcı tarafından ayarlanabilecek test programı hafızasına sahiptir. Dijital RS-232 ara birimi ayrıca analog giriş ve çıkışı vardır. Elektromanyetik bisiklet ergometre; değişen pedal çevirme hızlarında iş gücünün etkilenmeden sabit tutulmasını sağlar. Bu hızın korunması için bisiklet ergometre elektronik olarak kontrol edilir. Pedal çevirme hızı genelde 50-70 rpm'de (≈ 60 rpm'de) tutulmaktadır.

Teste başlamadan önce EKG elektrotları deneklerin göğüs duvarına uygun şekilde yerleştirildi (Şekil 4.1). Pulse oksimetre ikinci parmak ucuna takıldı. Deneklere elektrotların düzgün bir şekilde yapıştırıldığı mutlaka kontrol edildi. Efor filesi ile elektrotların ve elektrotlara takılan EKG kablosu uçlarının sabitlenmesine ve bunların test sırasında hareket etmemesine dikkat edildi.



Şekil 4.1: Egzersiz testi sırasında EKG elektrot bağlantılarının yerleşim düzeni.

4.3. Egzersiz Test Protokolü

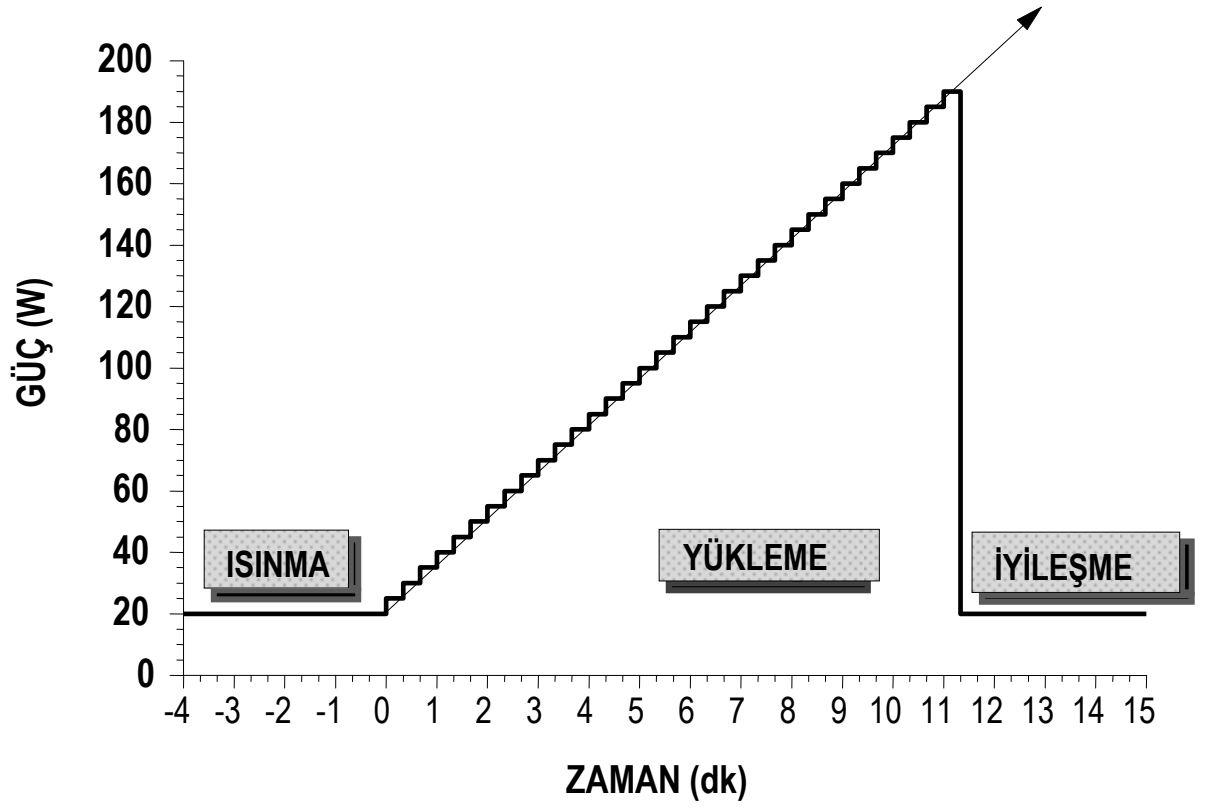
Çalışmamızda deneklere iş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz test protokolü (rapid incremental exercise test) uygulandı (17).

4.3.1. İş Gücünün Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi

Yükleme testi olarak da bilinen iş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi;

- Isınma dönemi
- Yükleme dönemi
- İyileşme dönemi olmak üzere 3 basamaktan oluşmaktadır (Şekil 4.2).

Isınma Dönemi: Egzersiz testi, minimum 4 dakikalık 20 W (pedal çevirme hızı 50-80, ortalama 60 rpm) iş gücünde ısınma dönemi ile başladı (Şekil 4.2). Bu dönemde deneklerin heyecan veya anksiyete durumları varsa değerlendirilip düzeltildi. Bu başlangıçtaki ısınma döneminde deneklerde oluşabilecek heyecan ya da stres durumu testin devamındaki sonuçları olumsuz yönde etkileyebileceğinden testin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (74). Böylece test sırasında denğin kardiyak, respiratuvar ve metabolik durumunu belirlememizi sağlayan akciğer gaz değişim parametrelerinde oluşabilecek yanlış sonuçlardan kaçınıldı. Doğru bir şekilde elde edilen parametreler sonucunda tespit edilen AE'nin hatasız olarak elde edilmesi sağlandı.



Şekil 4.2: Çalışmalarda kullanılan şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz test protokolü. 20 W'taki -4 ve 0 dakikalar arası ısınma dönemini gösterir. 0'dan itibaren yükleme (ramp) dönemi başlamakta ve iş gücü dakikada 15 W olarak bilgisayar kontrollü olarak artırıldı. İyileşme dönemi ise yükleme döneminin sonunda maksimum iş gücünün tekrar 20 W'a indirildiği kısımdır.

Yükleme (Ramp) Dönemi: Deneklerin heyecan veya anksiyete durumları ısınma döneminde değerlendirilip düzeltildikten sonra elektromanyetik bisiklet ergometrenin (VIAsprint™ 150/200P) iş gücü bilgisayar kontrollü olarak dakikada 15 W (5 W/20 sn) olarak arttırıldı. Bu artış bireyin sağlık durumuna göre farklılıklar içermekte olup her bir bireyin artık pedal çeviremediği (40 rpm altına düşürülmeyecektir) duruma kadar yani maksimum efora kadar devam ettirildi (Şekil 4.2).

İyileşme Dönemi (Recovery Period): Bireyler maksimal efor kapasitelerine (W_{max} , W) ulaştıklarında ve artık pedal çevirmeye devam edemeyecekleri noktaya ulaştıklarında bisiklet ergometrenin pedal gücü bilgisayar kontrollü olarak ısınma dönemindeki değer olan 20 W'a düşürüldü. Denekler 20 W iş gücünde en az dört dakika süre ile pedal çevirmeye devam etti.

İyileşme döneminin amacı deneklerin vücutlarında oluşan anaerobik yan ürün olan laktik asiti uzaklaştırmak ve bireylerin normal durumlarına dönüp dönmediğini kontrol altında tutmaktır. Bu test ile bireylerin maksimal efor kapasiteleri (W_{max} , W), aerobik ve anaerobik iş kapasiteleri (AE) belirlendi (17). Bu dönemin amacı ise deneklere düzenli olarak stres uygulayarak bu strese deneklerin kardiyorespiratuar, kardiyovasküler ve metabolik sistemlerinin verdiği cevabı ölçmektir. Egzersiz testleri sırasında deneklerin kardiyak parametreleri 12'li göğüs elektrotları kullanılarak EKG'leri (Nihon Kohden BSM-230) takip edildi. Akciğer gaz değişim parametrelerinin ölçümü ise solunumdan solunuma metabolik gaz ölçüm cihazı ile yapıldı (Master Screen CPX, Germany).

Bu test sırasında metabolik (enerji substrat kullanımı, RQ), kardiyovasküler (kalp atım hızı, O₂ pulse) ve respiratuvar (V_E, solunum sayısı, solunum derinliği, R, solunum O₂ eşitliği, solunum CO₂ eşitliği, P_{ET}O₂ ve P_{ET}CO₂ vb.) sistemlerin verdiği cevaplar aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri için ayrı ayrı değerlendirildi (75).

4.4. Kardiyak, Metabolik ve Respiratuvar Parametrelerin Ölçümü

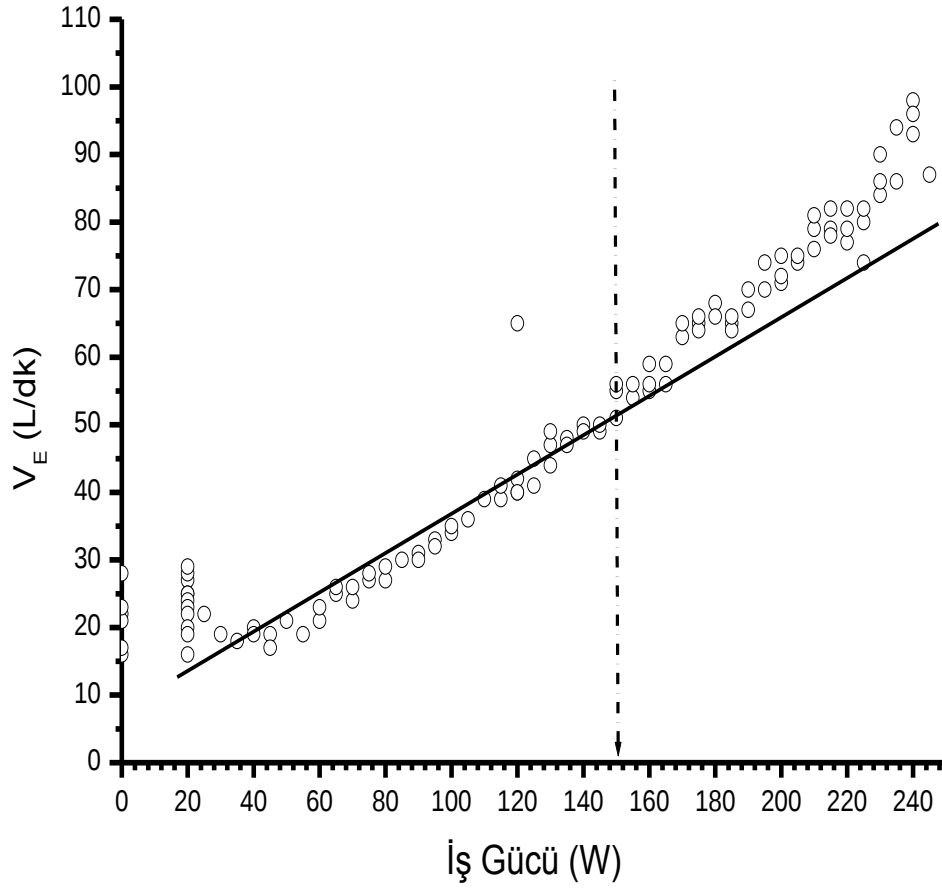
Deneklere uygulanan egzersiz testi Yeditepe Üniversitesi Egzersiz Laboratuvarı'nda metabolik gaz ölçüm cihazı (MasterScreen CPX, Germany) kullanılarak yapıldı. Deneklerin egzersiz testleri sırasında akciğer gaz değişim parametreleri ve metabolik değişimleri solunumdan solunuma (breath-by-breath) hesaplandı.

Deneklerin egzersiz sırasında kalp atım hızı, VO₂ (ml/dk, STPD, standart ısı, standart basınç ve kuru hava), VCO₂ (ml/dk, STPD), V_E (L/dk, BTPS, vücut ısı ve basınç), O₂ için solunum eşitliği (V_E/VO₂), CO₂ için solunum eşitliği (V_E/VCO₂), P_{ET}CO₂ (kPa), P_{ET}O₂ (kPa) değerleri ölçüldü.

4.5. Anaerobik Eşiğin Hesaplanması

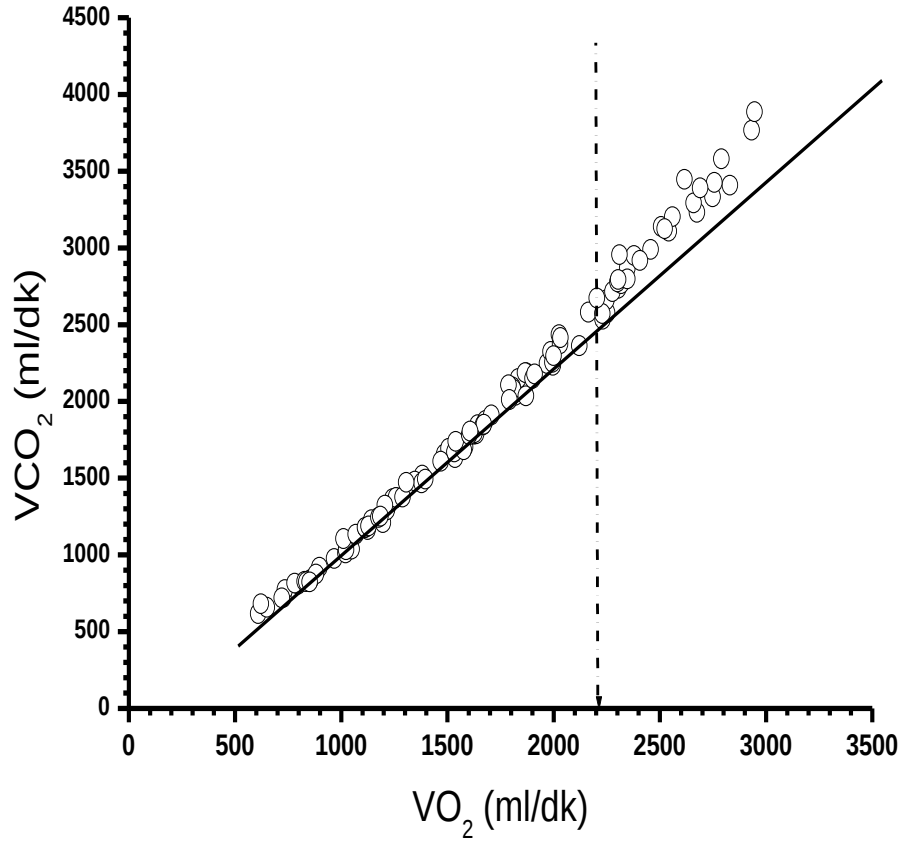
Aeorobik ve aneorobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan AE:

- a) Solunum-metabolizma-iş gücü kriterleri ile belirlendi (25) (Şekil 4.3),



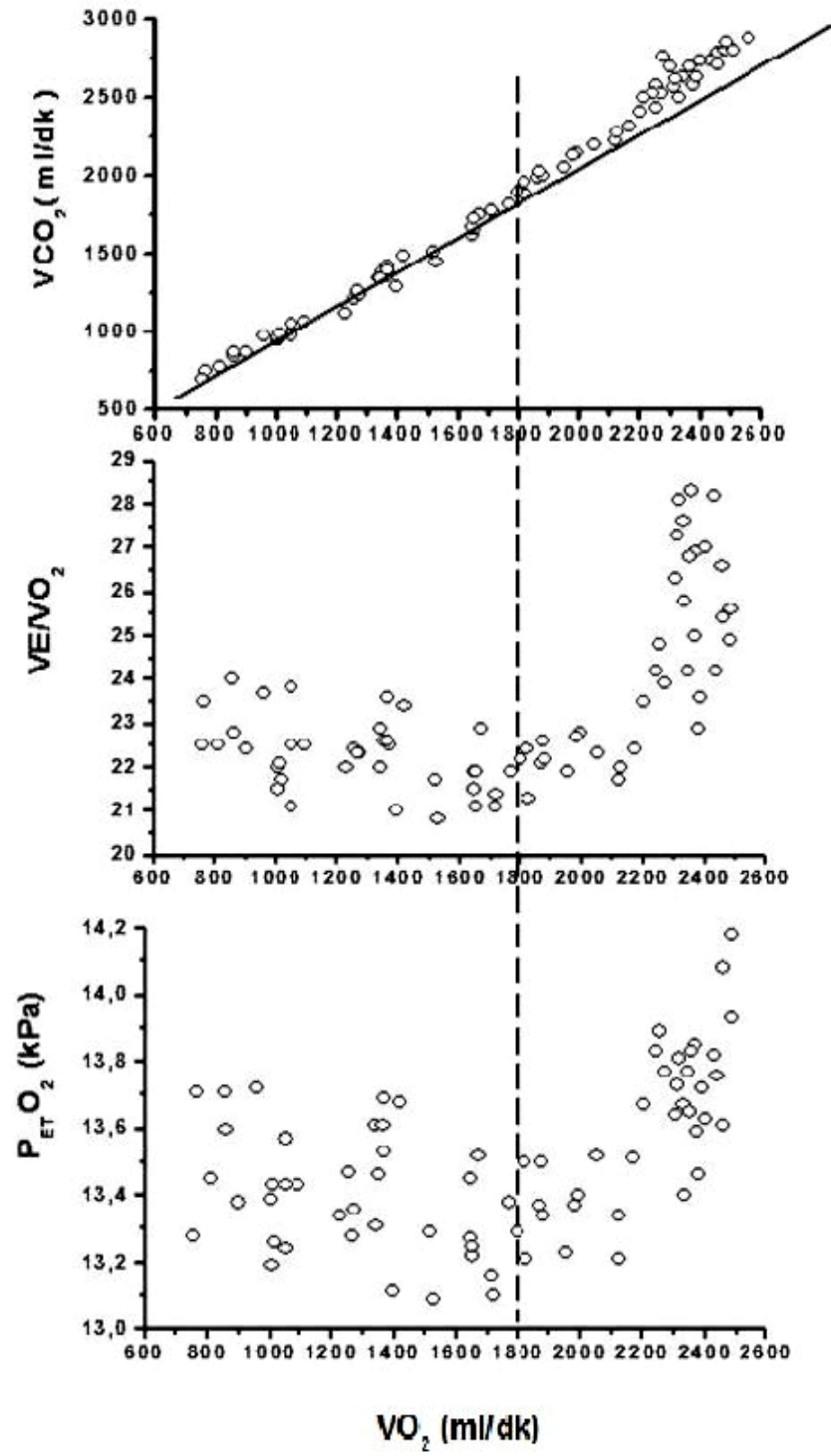
Şekil 4.3: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersi testi sırasında örnek bir deneğin V_E -iş gücü ilişkisi ile AE tespiti. Yatay çizgi iş gücü-solunum arasındaki paralelliği göstermektedir. Dikey kesikli çizgi aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş noktası olan AE'yi göstermektedir.

- b) V-slope tekniği ile yani egzersiz sırasında tüketilen O_2 ile üretilen CO_2 (VCO_2/VO_2) ilişkisi ile belirlendi (46) (Şekil 4.4),



Şekil 4.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denegin VCO_2 - VO_2 ilişkisi ile AE tespiti. Yatay çizgi metabolizmanın iş gücü ile olan ilişkisini göstermektedir. Dikey kesik çizgi aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş noktası olan AE'yi göstermektedir.

- c) Diğer akciğer gaz değişim parametreleri yani O_2 için solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 için solunum eşitliği (V_E/VCO_2), $P_{ET}O_2$ (kPa) ve $P_{ET}CO_2$ (kPa) kriterleri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (49) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: İş gücünün düzenli olarak arttığı egzersiz testi sırasında örnek bir denegın AE'sinin hesaplanmasında kullanılan VO_2 - VCO_2 , V_E/VO_2 , $P_{ET}O_2$ ilişkisi. Dikey kesik çizgi aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş bölgesini yani AE'yi göstermektedir.

4.6. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Prosedürleri

4.6.1. Gaz Değişim Sistemlerinin Kalibrasyonu

Modern KPET sistemleri, solunumdan soluma (breath by breath) istirahette, egzersiz esnasında ve iyileşme sırasında VO_2 ve VCO_2 hesaplanmasına imkan sağlayan hızla yanıt veren O_2 ve CO_2 sensörleri içerir. Üreticinin önerileri kalibrasyon ile ilgili oldukça değişiklik gösterse de, tüm KPET sistemleri her egzersiz testi öncesinde kalibre edilmelidir. Bu kalibrasyon; hava akımı hacimlerini, O_2 ve CO_2 analizörlerini içermelidir.

Gaz analizörleri ve flowmetreler belirsizliğe yatkın olduklarından ciddi hatalara yol açabilirler. Bugün, tüm ticari olarak mevcut sistemler bir mikro işlemci tarafından kontrollü kalibrasyon prosedürleriyle pratiktir. Onay çalışmaları bilgisayar sistemlerinin çoğunda yapılmıştır (76, 77). Solunan havadaki O_2 konsantrasyonu, ortam koşulları ile etkilenebileceğinden sıcaklık, barometrik basınç ve nem dikkate alınmalıdır. Birçok modern KPET sistemi, bu koşulları otomatik olarak ölçer ve solunan O_2 konsantrasyonunu hesaplamak için uygun ayarlamalar yapar. Bu özellik mevcut değilse atmosferik koşullar, harici bir alet tarafından KPET sistemine girişte ölçülmelidir. Bu, sistemin her kalibrasyonundan önce yapılmış olmalıdır. Kalibrasyon raporunun bir kopyası her testten önce basılmalıdır ve test raporuna eklenmelidir. Test sonuçlarının geçerli yorumu yalnızca uygun kalibrasyon değerleriyle mümkündür. Sistem kalibre değilse test yapılmamalıdır.

Aşağıdaki özel kalibrasyon prosedürleri geçerli datalar elde etmek için yapılmış olmalıdır:

1. Oda havasını (FIO_2); %0 nemde $20.93 \pm 0.03\%$ okumalıdır; ancak kesin fraksiyon neme bağlıdır ve buna göre ayarlanmalıdır. % 100 nitrojen içeren bir kalibrasyon kaynağı %0 O_2 okumalıdır. Analizörün test esnasında ekspire edilen O_2 fraksiyonu (FEO_2) yaklaşık olarak %16 O_2 olmalıdır.
2. CO_2 analizörü, oda hava fraksiyonunu $0.03 \pm 0.02\%$ okumalıdır ve kalibrasyon tanklarından örneklemeler yapılarak %100 N_2 veya %16 O_2 fraksiyonunun değişmediği kontrol edilmelidir. CO_2 analizöründe, egzersiz esnasında ekspire edilen CO_2 fraksiyonu (FECO_2) yaklaşık olarak %4 CO olmalıdır.
3. Özellikle solunumdan solunuma (breath-by-breath) KPET sistemleri için; analizörün doğal cevap sürelerini kontrol etmek, örneklemme noktası ve analizörler arasında taşıma süresini tam olarak belirlemek gereklidir. Üretici tarafından belirtilen özelliklere sistemin uygun olması önemlidir, bu özellik birçok sistemde mevcuttur.
4. Solunum hacmi ölçümü, pneumotachometreler, kütle akış sensörleri, pitot tüpü flowmetreler, türbin hacmi dönüştürücüleri dahil olmak üzere birçok cihaz ile artık kolayca elde edilebilir. Hepsi stabil bir temel (0 L/min) tespit ederek ve bir şırıngadan hacmi bilinen (genellikle 3 veya 4 L) enjeksiyon ile test yapılmadan önce kontrol edilebilir. Bu istikrarı sağlamak için farklı akış hızlarında birkaç enjeksiyon yapılması tercih edilir, ortalama hatanın bilinen hacminin %3'ünü aşmaması gerekir (16, 78).

4.6.2. Yazılım Faktörleri

Birçok farklı KPET sisteminin her biri işleme, analiz ve veri görüntüleme için eşsiz yazılım sağlar. Yazılım, çıkarılan datanın türünü ve miktarını, özet raporlarını, data örnekleme ve ortalamalarını ve grafiksel raporları belirler. Çoğu sistem; test esnasında görüntüleme ve test raporlarının özetlenmesinde özel çözümler ve yöntem belirlemek için kullanıcıya olanak sağlar. Bu faktörler önemlidir çünkü test sonuçlarında önemli bir etkiye sahip olabilirler. Yaş, cinsiyet ve vücut ölçüleri gibi normal tahmin edilen değerlerin hesaplanmasında kullanılan hasta özellikleri KPET yazılımına girilir. Normal standartlar için eşitlikler geniş ölçüde değişebilir. Popülasyon spesifikliği normal bir yüzde olarak hasta cevapları değerlendirilirken düşünülmelidir.

Modern KPET sistemleri; raporların, veri ortalama ve örnekleme tekniklerinin, kalibrasyon yöntemleri ve grafiklerin otomatik olarak geniş bir çeşidini sağlar. Bilgisayarlaşma kullanım kolaylığı sağlanmasına rağmen, değişkenleri hesaba katma, veri ifade etme ve yorumlama zorunluluğu olması nedeniyle bazı karışıklıklara yol açar. Standardizasyon ihtiyacında önemli bir alan veri örneklemesidir. Örneklemede (örneğin; solunumdan solunuma (breath-by-breath), nefeslerin ortalama sayısı veya 10, 15 veya 30 saniye gibi zaman aralıklarında farklılıklar test sonuçlarında yüksek oranda tutarsızlığa sebep olabilir. Bu inişli çıkışlı 30 saniyelik ortalamaların sık sık (örneğin; 10 dk'da) yazdırılarak kullanılması tavsiye edilir (79). Grafik seçenekleri sınırsız sayıdadır ve birçok sistemde kullanıcı tarafından spesifik olarak kullanılabilir. Minimum olarak; V-slope'un (46) ve zamanla V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 cevaplarının görüntülediği grafik AE'yi doğrulamak için yazdırılmış olmalıdır. KPET

sonuçlarına dayalı tanımlar sağlayan otomatik tercüme programları yaygındır. Bu test raporu için yararlı takviye olabilir. Fakat AE'nin belirlenmesinde herhangi bir otomatik çeviriye klinik kararlar almak için güvenilmemelidir. Uygulamalar, KPET konusunda deneyimli bir birey tarafından okunmalıdır (16).

4.6.3. Sistem Bakımı ve Kalite Kontrol

Düzenli olarak doğrulamasının yapılması KPET sistemi için oldukça önemlidir. Gaz değişimi ölçümleri, test yöntemleri tutarlılık gösteriyorsa belirli bir hastada çok defa tekrarlanabilir. Bir sistemin performansını doğrulamak için sıklıkla kullanılan metod periyodik olarak eşlenen bir submaksimal iş gücünde laboratuvar personelini test etmektir (muhtemelen 4-6 ay).

Birey kararlı durumdayken (örneğin sabit metabolizma hızı) VO_2 ve diğer KPET değişkenleri tekrar kontrol edilebilir olmalıdır. Sabit yük ile 4-6 dakikada düşük-orta-yoğun egzersiz çoğu kişide kararlı bir durum elde etmek için gereklidir. Kararlı durumda belirlenmiş sabit iş gücüyle VO_2 , VCO_2 ve V_E için kabul edilebilir varyasyon sınırları gösterilmiştir (80) (Tablo 4.2). Tekrarlanabilir olmasının yanı sıra VO_2 , eksternal iş gücünde temel alınan VO_2 tahmini ile karşılaştırıldığı zaman kabul edilebilir bir aralık içinde olmalıdır. Amerikan Spor Koleji denklikleri kararlı durumda yapılan iş gücü değerleri için tavsiye edilen en iyi değerlendirmedir (81). Bu bağlamda; tahmin edilen VO_2 sadece kararlı durumda yapılan egzersiz esnasında geçerlidir; kademeli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi esnasında VO_2 tahmini yanlışlıkları uygun şekilde belgelenmiştir (81, 82).

Tablo 4.2: Alınan submaksimal bir iş gücü oranında aynı bireyin tekrarlanan çalışmalarından elde edilen gaz değişim değişkenleri varyasyon limitleri (Kaynak 16, 80 ve 83'den alınmıştır).

Değişken	Varyasyon %
Oksijen Alınımı (VO_2)	± 5.0
Karbondioksit Atılımı (VCO_2)	± 6.0
Dakika Ventilasyon (V_E)	± 5.5
Solunum Gaz Değişim Oranı (R)	± 3.0

Uygun kalibrasyon prosedürleri takip edilmiş olsa bile; modern otomatik KPET sistemleri kesin olmayan, doğru gibi görünen hatalı sonuçlar sağlayabilir. Solunum gaz değişim simülatörleri kalibre KPET sistemlerinde mevcuttur (84). Ancak bu sistemler; nefes alma modellerinde varyasyon, sıcaklık ve nem doğrulamaları ve diğer faktörler dahil olmak üzere insanlarda egzersiz kondisyonlarını mükemmel derecede taklit edemez (16).

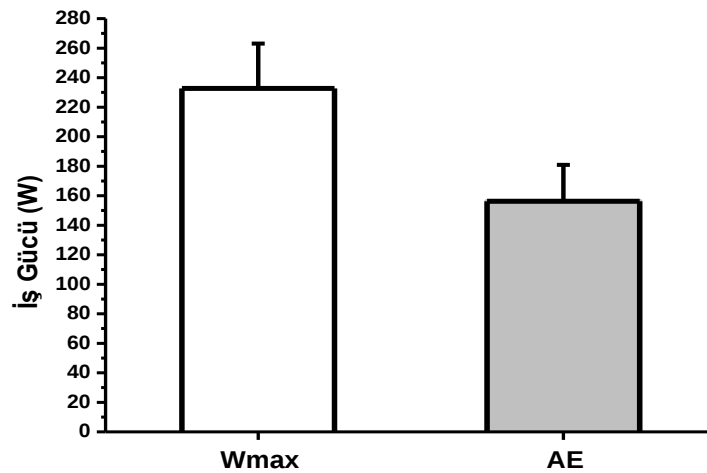
4.7. İstatistiksel Analiz

Çalışma sırasında elde edilen değerler ortalama $\pm$ standart sapma (SS) olarak Orjin 6.0 istatistik programında analiz edildi. Aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde elde edilen değerlerin analizinde eşleştirilmiş t-testi ve regresyon analizi kullanılarak istatistiksel analizler gerçekleştirildi. İstatistiksel olarak $p<0.05$ (*) anlamlı, $p<0.001$ (**) çok anlamlı olarak kabul edildi.

5. BULGULAR

Egzersiz testi sırasında aerobik ve aneorobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan AE; solunum-metabolizma-iş gücü kriterleri (Şekil 4.3), V-slope tekniği yani egzersiz sırasında tüketilen O_2 ile üretilen CO_2 (VCO_2/VO_2) arasındaki ilişki (Şekil 4.4) ve diğer akciğer gaz değişim parametreleri yani O_2 için solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 için solunum eşitliği (V_E/VCO_2), $P_{ET}O_2$ (kPa) ve $P_{ET}CO_2$ (kPa) kriterleri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (Şekil 4.5).

Çalışmaya katılan tüm antrenmanlı erkek deneklerin ($n=24$) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında verdiği cevaplar analiz edilerek W_{max} 'daki iş gücü değerleri, AE'deki iş gücü değerleri, W_{max} ve AE'deki her kilogram başına iş üretebilme kapasiteleri ve ortalamaları ($\pm SS$) Tablo 5.1'de verilmiştir. Deneklerin egzersiz testi sırasında ulaştıkları W_{max} değerleri bireysel kapasite farklılıkları nedeniyle değişmekte olup (minimum 185 W-maksimum 295 W) ortalama değer 233 ± 30 W olarak bulundu (Şekil 5.1).

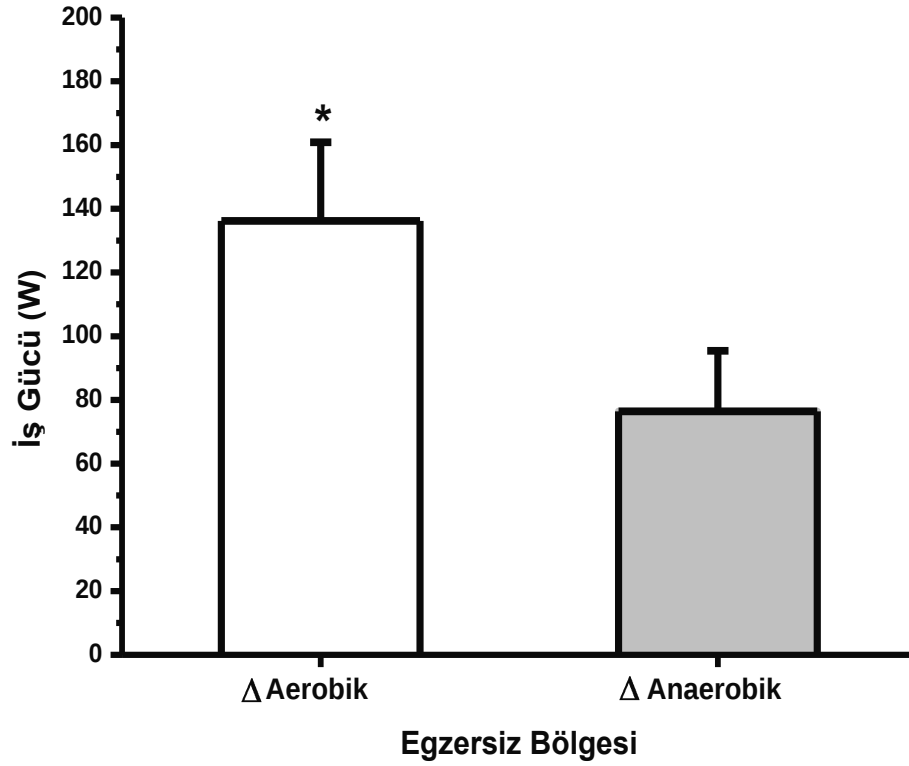


Şekil 5.1: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin ulaştıkları W_{max} ve AE iş gücü değerleri. Değerler ortalama ($\pm SS$) olarak verilmiştir ($n=24$).

Tablo 5.1: Çalışmaya katılan deneklerin $W_{\max}$, AE ve her kilogram vücut ağırlığı başına $W_{\max}$ ve AE'deki iş üretebilme kapasiteleri ve ortalama ($\pm$ SS) değerleri (n=24).

Denek No	$W_{\max}$ (W)	AE (W)	$W_{\max}/\text{kg}$ (W/kg)	AE/kg (W/kg)
1	260	150	3.81	2.19
2	295	210	4.32	3.07
3	205	130	2.77	1.75
4	245	145	3.31	1.95
5	225	135	2.72	1.63
6	270	175	3.26	2.11
7	255	160	3.15	1.97
8	290	205	3.58	2.53
9	185	125	2.55	1.72
10	230	155	3.18	2.14
11	195	125	2.38	1.52
12	235	155	2.86	1.80
13	235	140	3.38	2.01
14	260	150	3.74	2.23
15	230	180	3.53	2.76
16	205	155	3.51	2.65
17	200	150	3.50	2.62
18	230	150	3.69	2.41
19	265	210	3.76	2.98
20	195	135	3.65	2.52
21	245	170	3.95	2.74
22	205	155	3.14	2.38
23	210	155	3.60	2.65
24	215	130	2.95	1.78
Ortalama$\pm$(SS)	233$\pm$30	156$\pm$25	3.34$\pm$0.4	2.26$\pm$0.08

İş gücü değerleri AE’de ise ortalama olarak 156 ± 25 W olarak bulundu (Şekil 5.1) ve bu değer minimum 125 W – maksimum 210 W arasında değişti (Tablo 5.1). Egzersiz sırasında deneklerin ulaştıkları AE ile $W_{\max}$ arasındaki oran % 67 olarak bulundu. Deneklerin $W_{\max}$ kapasitelerinin vücut ağırlıklarına oranı minimum 2.38 W/kg ve maksimum 4.32 W/kg değerleri arasında değişmekte olup ortalama olarak 3.34 ± 0.4 W/kg’dır (Tablo 5.1). AE kapasitelerinin vücut ağırlıklarına oranı ise minimum 1.52 W/kg maksimum 3.07 W/kg değerleri arasında değişmekte olup ortalama olarak 2.26 ± 0.08 W/kg bulundu (Tablo 5.1).

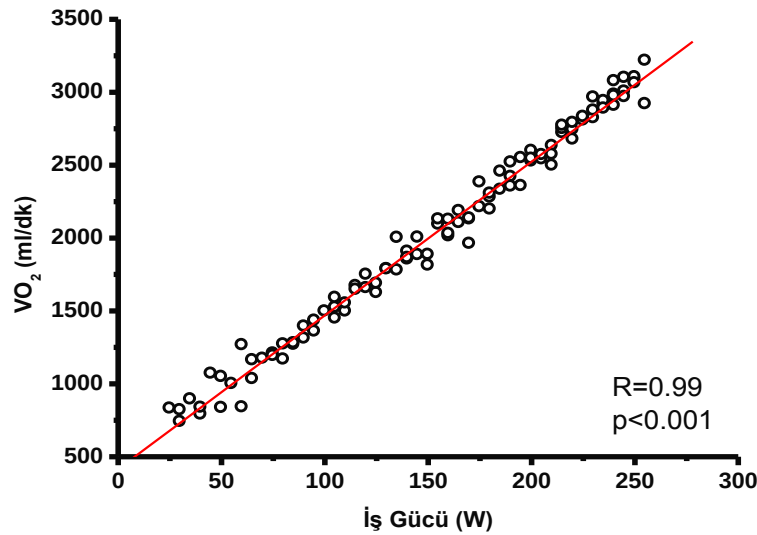


Şekil 5.2: Deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde Δ iş gücü ortalama ($\pm$ SS) değerleri (n=24) (*p<0.05).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında; ısınma periyodu ile AE arası aerobik bölgede deneklerin ulaştıkları iş gücü ortalama değeri 136.2 ± 25 W iken, AE ile $W_{\max}$ arasındaki anaerobik bölgede 76.4 ± 19 W olarak bulundu (Şekil 5.2).

5.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Oksijen Alımı Cevabı

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında istirahat döneminde deneklerde VO_2 değeri ortalama olarak 629 ± 67 ml/dk bulundu. Isınma döneminde 20 W iş gücündeki ortalama VO_2 değeri ise 747 ± 56 ml/dk olarak bulundu (Tablo 5.2). İş gücünün 15 W/dk olarak artırıldığı yükleme döneminde VO_2 bisiklet ergometrenin pedal gücünün artmasına paralel olarak artış gösterdi. AE'deki VO_2 değerleri ortalama 2174 ± 270 ml/dk olarak belirlendi. $W_{\max}$ değerinde VO_2 2931 ± 317 ml/dk'ya ulaştı (Tablo 5.2).

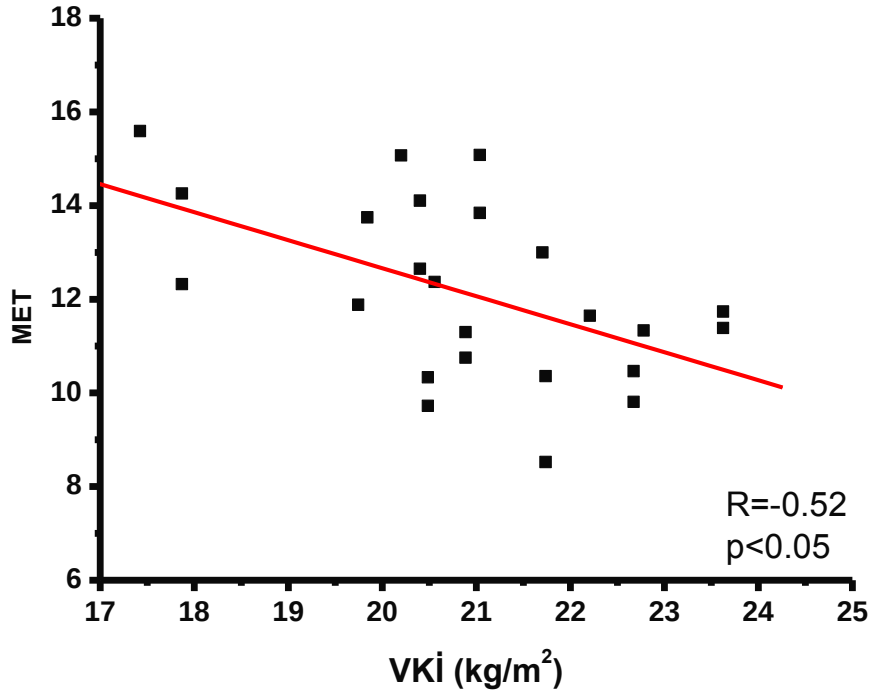


Şekil 5.3: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin VO_2 -iş gücü ilişkisi (düz, eğimli çizgi lineerliği göstermekte).

Tablo 5.2: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin bireysel istirahat, ısınma, AE, maksimal VO₂, VO_{2max}/kg, Δ aerobik VO₂, Δ anaerobik VO₂ değerleri ve ortalamaları (±SS).

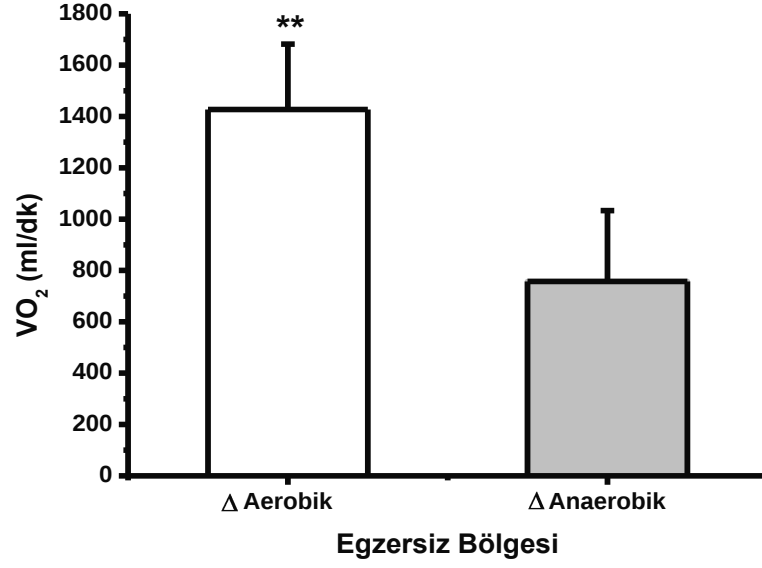
Denek No	İstirahatta VO ₂ (ml) değeri	Isınmada VO ₂ (ml) değeri	AE'de VO ₂ (ml) değeri	VO _{2max} (ml) değeri	VO _{2max} /kg (ml) değeri	Δ Aerobik VO ₂ (ml) değeri	Δ Anaerobik VO ₂ (ml) değeri
1	637	781	2234	3298	48.35	1453	1064
2	649	723	2506	3593	52.68	1783	1087
3	649	776	2203	2511	33.93	1423	308
4	592	654	2069	2670	36.08	1415	601
5	633	756	2060	2990	36.15	1304	930
6	648	691	2205	2459	29.73	1514	254
7	773	717	2135	3216	39.75	1418	1081
8	605	776	2427	3315	40.97	1651	888
9	644	723	1727	2714	37.53	1004	987
10	493	699	1875	2852	39.44	1176	977
11	635	817	1842	2804	34.23	1025	962
12	528	694	2094	2992	36.53	1400	898
13	734	892	2281	2986	43.02	1389	705
14	671	716	2411	3457	49.81	1695	1046
15	578	681	2257	2951	45.40	1576	694
16	642	751	1958	2576	44.18	1207	618
17	546	694	1856	2369	41.48	1162	513
18	689	827	2663	2987	48.02	1836	324
19	625	748	2344	3041	43.19	1596	697
20	564	706	2114	2909	54.47	1408	795
21	762	836	2796	3259	52.64	1960	463
22	612	749	2090	2576	39.56	1341	486
23	560	774	2281	2873	49.27	1507	592
24	634	749	1754	2961	40.67	1005	1207
Ortalama (±SS)	629±67	747±56	2174±270	2931±317	42.38±6.6	1427±254	757±275

Deneklerin egzersiz testi sırasında maksimal MET değerleri bireysel kapasite farklılıkları nedeniyle değişmekte olup (minimum 8.5 MET - maksimum 15.5 MET) ortalama değer 12 ± 1.8 MET olarak bulundu. AE'deki MET değerleri ise ortalama olarak 9 ± 1.7 MET olarak bulundu ve bu değer minimum 6 MET – maksimum 13 MET arasında değişti. VO_2 MET değeri aerobik bölgede 6 MET iken (minimum 3.5 MET, maksimum 9 MET) anaerobik bölgede 3 MET (minimum 1 MET, maksimum 4.5 MET) oldu.



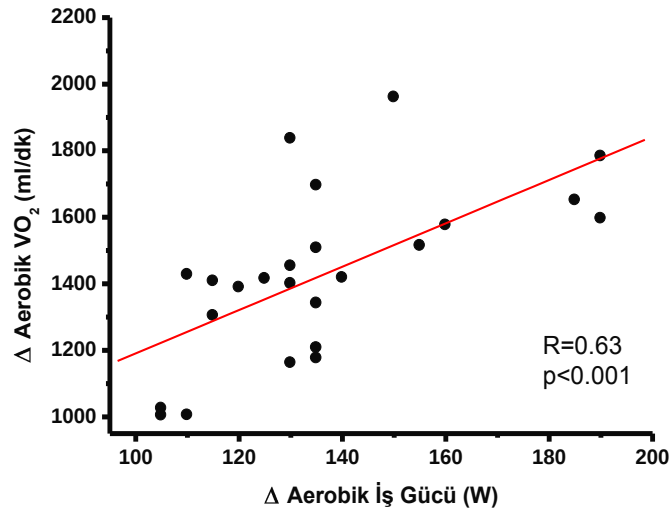
Şekil 5.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin VKİ (kg/m^2) ve MET ilişkisinin lineer regresyon analizi ($n=24$).

Tüm deneklerin VKİ (kg/m^2) ve maksimal MET kapasiteleri arasındaki ilişkinin lineer regresyon analizi ile değerlendirilmesi sonucunda negatif korelasyon olduğu bulundu ($R = -0.52$, $p < 0.05$).



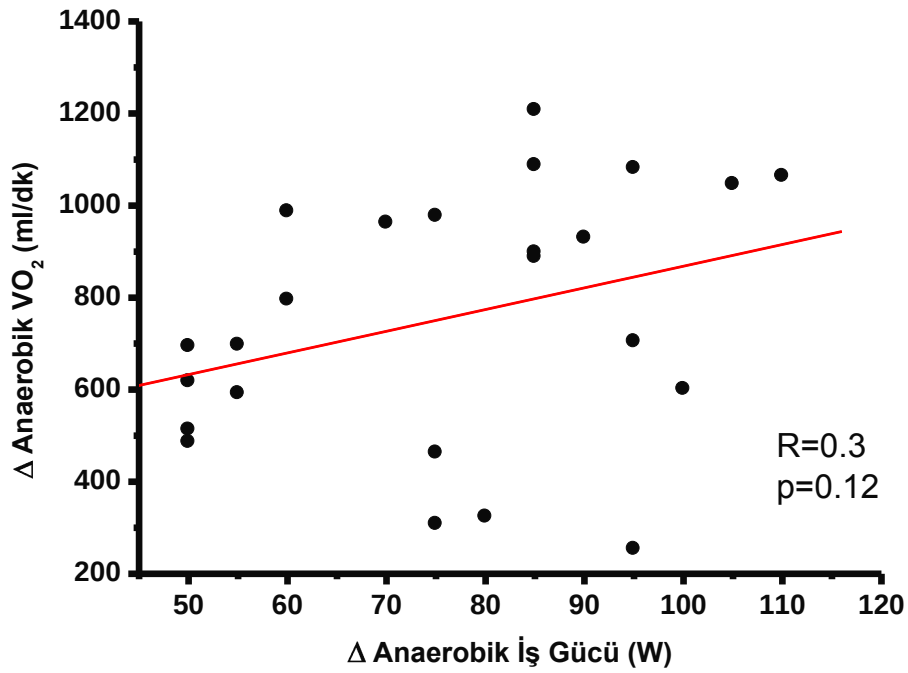
Şekil 5.5: Çalışmaya katılan deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki ΔVO_2 cevaplarının karşılaştırmalı olarak gösterimi (n=24) (**p<0.001).

Deneklerin egzersiz sırasında aerobik ve anaerobik bölgelerdeki VO_2 ortalama değerleri sırasıyla 1427 ± 254 ml/dk ve 757 ± 275 ml/dk olarak bulundu (Şekil 5.5). Aerobik ve anaerobik VO_2 cevapları arasında anlamlı farklılık gözlemlendi (p<0,001).



Şekil 5.6: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VO_2 ilişkisinin lineer regresyon analizi (n=24).

Tüm deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki ΔVO_2 ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişkinin lineer regresyon analizi ile değerlendirilmesi sonucunda pozitif korelasyon olduğu bulundu ($p<0.001$) (Şekil 5.6).

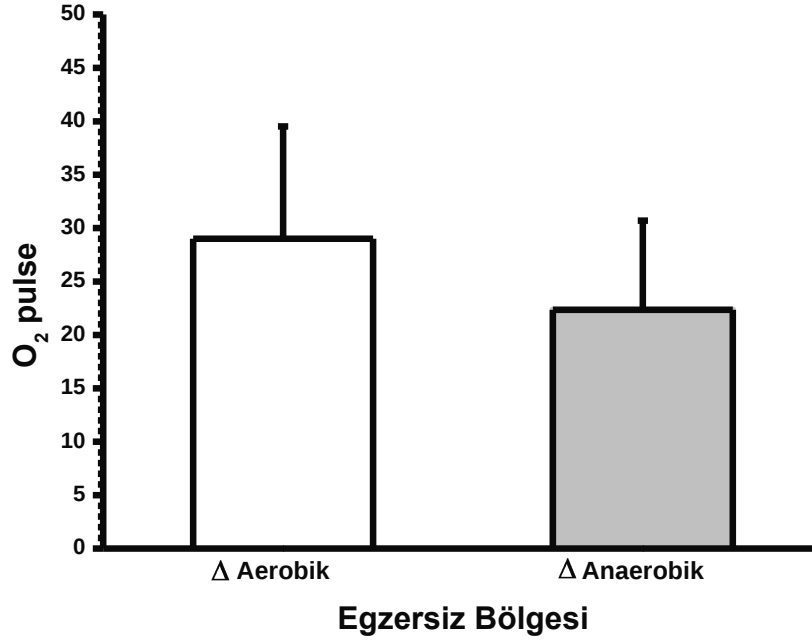


Şekil 5.7: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü- VO_2 ilişkisinin lineer regresyon analizi (n=24).

Buna karşılık; tüm deneklerin anaerobik egzersiz bölgesi ΔVO_2 ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde ise aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı görüldü (Şekil 5.7).

Deneklerin maksimal egzersiz performanslarında ulaştıkları VO_2 değerinin vücut ağırlıkları ile ilişkisi (VO_{2max}/kg) ortalama olarak 42.38 ± 6.6 ml/dk/kg

olarak bulundu. Buna ilave olarak deneklerin AE’de ulaştıkları VO_2 değerinin vücut ağırlıkları ile ilişkisi (AE/kg) 31.6 ± 6.1 ml/dk/kg olarak bulundu.



Şekil 5.8: Çalışmaya katılan deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri ΔO_2 pulse cevaplarının karşılaştırmalı olarak gösterimi (n=24) (p=0.06).

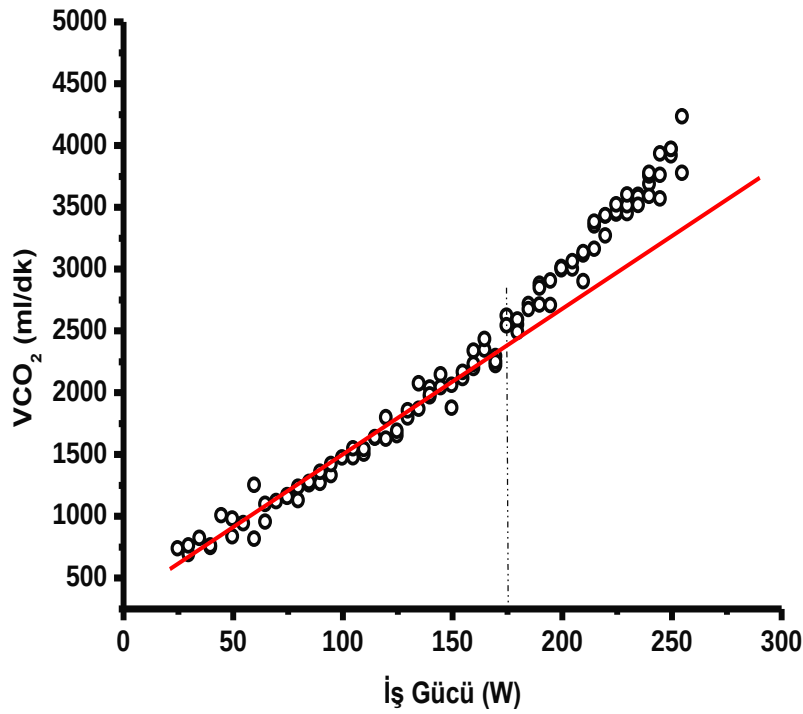
Egzersiz performansının değerlendirilmesinde kullanılan diğ er önemli bir kriter olan O_2 pulse aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirildi (Şekil 5.8). Her kalp atımında pulmoner kana eklenen O_2 hacmi olan O_2 pulse (VO_2/HR) değeri ise aerobik bölgede 29 ± 10.5 ml/atım, anaerobik bölgede 22.3 ± 8.3 ml/atım olarak bulundu (Şekil 5.8). O_2 pulse değeri için aerobik ve anaerobik bölgelerin cevabı istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir (p=0.06).

5.2. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi

Sırasında Karbondioksit Atılımı Cevabı

Deneklerin egzersiz sırasında vücut fonksiyonlarının incelenmesinde önemli gaz değişim parametrelerinden olan VCO_2 değerleri ise; ısınmada, istirahatta, AE'de ve W_{max} 'da sırası ile 658 ± 123 ml/dk, 727 ± 69 ml/dk, 2236 ± 277 ml/dk ve 3360 ± 409 ml/dk olarak bulundu (Tablo 5.3).

İş gücü şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında VCO_2 artan iş gücüne başlangıçta paralel olarak artış gösterdi (Şekil 5.9). AE üstü bölgede ise VCO_2 -iş gücü arasındaki paralellik bozulmakta ve VCO_2 iş gücüne göre daha hızlı şekilde artış göstermektedir (Şekil 5.9).

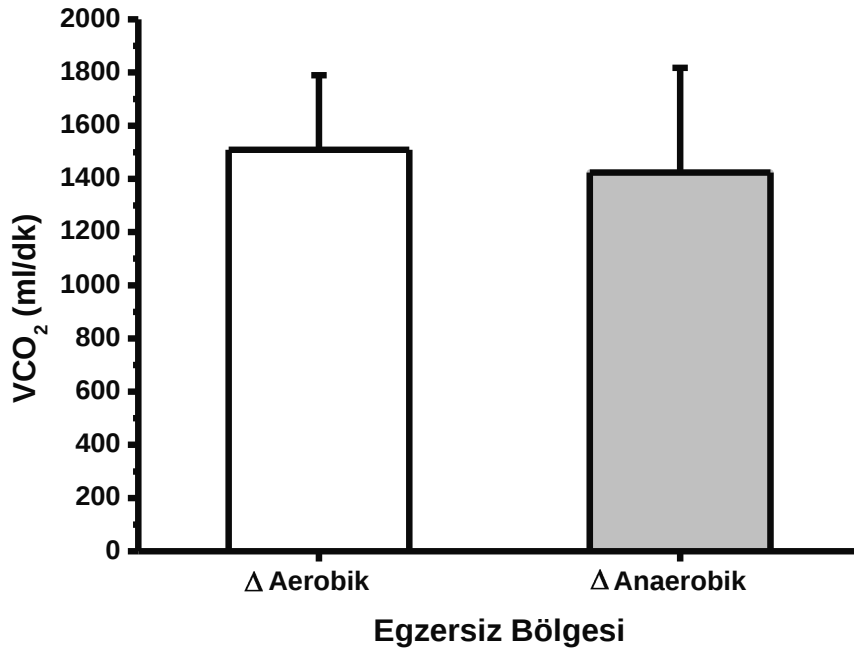


Şekil 5.9: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denek için VCO_2 -iş gücü ilişkisi (eğik kalın çizgi lineerliği, dikey kesikli çizgi AE'yi göstermektedir).

Tablo 5.3: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin bireysel istirahat, ısınma, AE, maksimal VCO₂, Δ aerobik VCO₂ ve Δ anaerobik VCO₂ değerleri ve ortalamaları ($\pm$ SS).

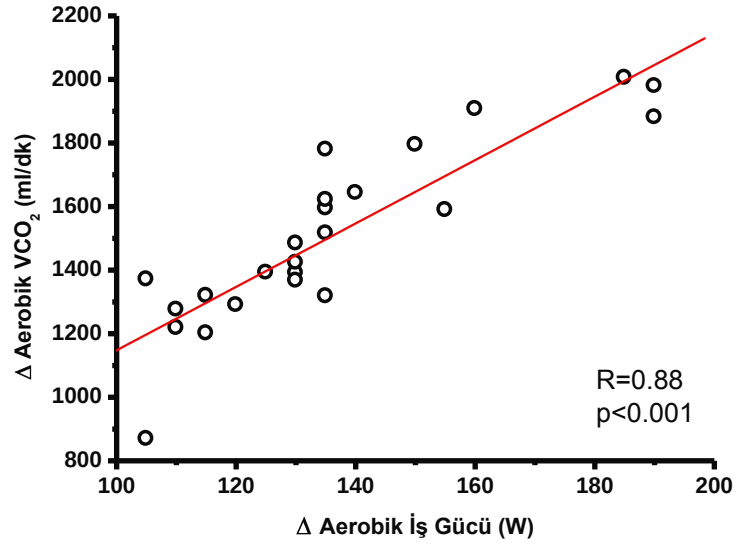
Denek No	İstirahatta VCO ₂ (ml) değeri	Isınmada VCO ₂ (ml) değeri	AE'de VCO ₂ (ml) değeri	VCO _{2max} (ml) değeri	Δ aerobik VCO ₂ (ml) değeri	Δ anaerobik VCO ₂ (ml) değeri
1	669	782	2173	3968	1391	1795
2	725	748	2727	4556	1979	1829
3	663	730	1948	2808	1218	860
4	655	740	2132	3668	1392	1536
5	561	671	1872	3770	1201	1898
6	600	764	2353	2925	1589	572
7	867	686	2329	4226	1643	1897
8	568	669	2674	3839	2005	1165
9	411	631	2002	3432	1371	1430
10	450	688	2204	3571	1516	1367
11	851	878	1747	3103	869	1356
12	570	656	2023	3702	1367	1679
13	728	780	2070	3778	1290	1708
14	555	622	1940	3915	1318	1975
15	714	661	2568	3877	1907	1309
16	836	743	2337	3230	1594	893
17	578	729	2213	3231	1484	1018
18	811	892	2315	3750	1423	1435
19	678	760	2641	3747	1881	1106
20	562	734	2053	3886	1319	1833
21	776	803	2597	4074	1794	1477
22	798	716	2337	3230	1621	893
23	617	717	2496	3760	1779	1264
24	559	654	1930	3800	1276	1870
Ortalama ($\pm$SS)	658$\pm$123	727$\pm$69	2236$\pm$277	3360$\pm$409	1509$\pm$279	1423$\pm$393

Ayrıca deneklerin VCO_2 değerleri; aerobik bölgede 1509 ± 279 ml/dk, anaerobik bölgede ise 1423 ± 393 ml/dk olarak bulundu (Şekil 5.10). Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında aerobik ve anaerobik bölge ΔVCO_2 cevapları arasında farklılık görülmedi ($p=0.43$).



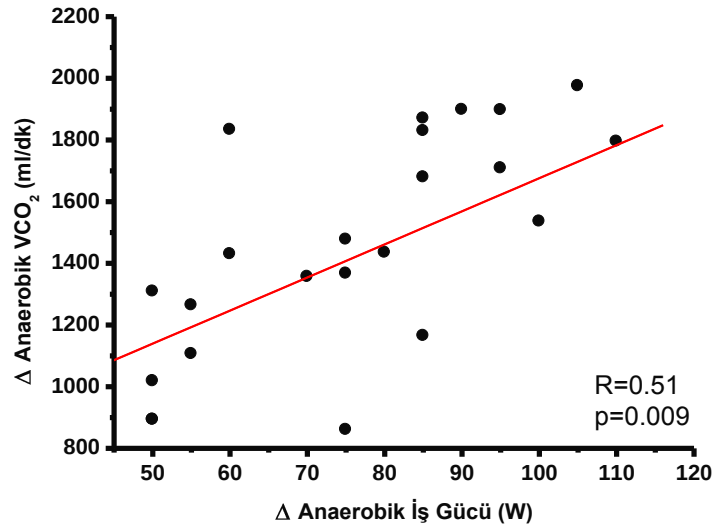
Şekil 5.10: Çalışmaya katılan deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki ΔVCO_2 cevaplarının karşılaştırmalı olarak gösterimi ($n=24$) ($p=0.43$).

Tüm deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki ΔVCO_2 ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişkinin lineer regresyon analizi ile değerlendirilmesi sonucunda pozitif korelasyon olduğu bulundu ($p<0.001$) (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü-VCO₂ ilişkisinin regresyon analizi (n=24).

Tüm deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ VCO₂ ve iş üretim kapasiteleri (Δ W) cevaplarının lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde pozitif bir korelasyon görüldü ($p<0.05$) (Şekil 5.12).

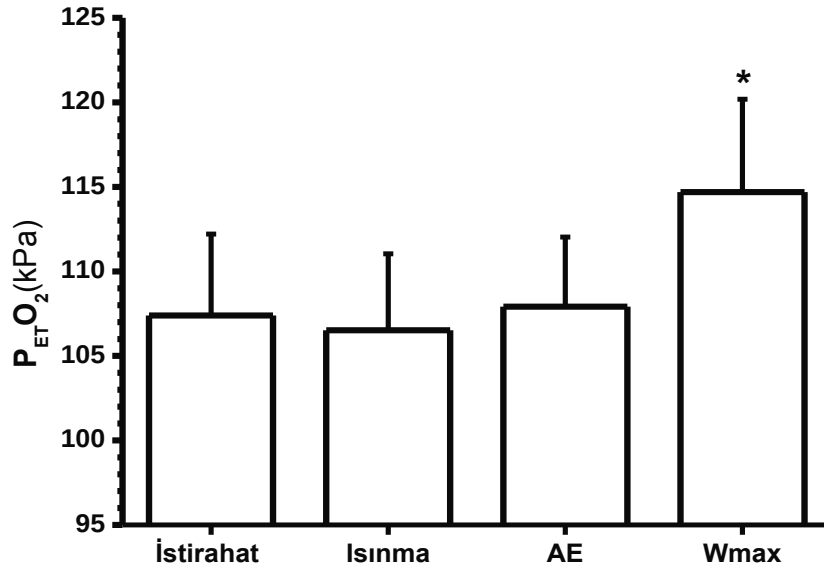


Şekil 5.12: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ iş gücü-VCO₂ ilişkisinin regresyon analizi (n=24).

5.3. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi

Sırasında Tidal Sonu Parsiyel Basınç Cevapları

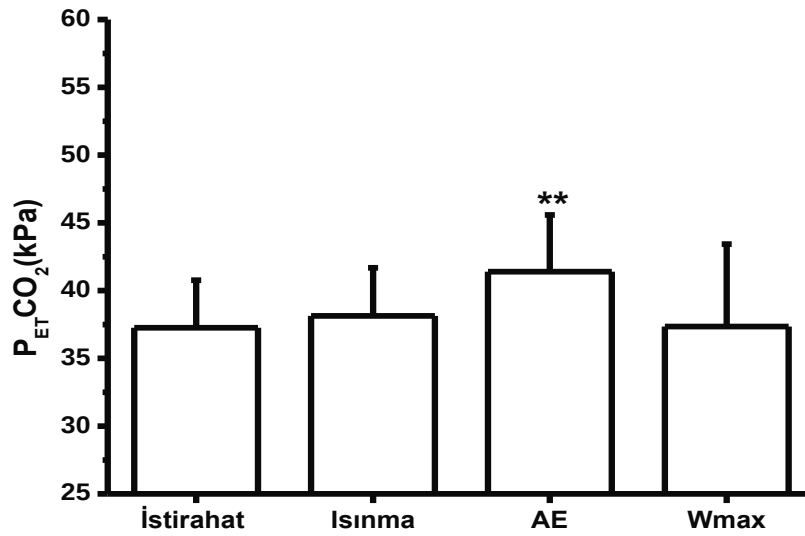
Tidal hacim sonu parsiyel O₂ basıncının (P_{ET}O₂) ortalama ($\pm$ SS) değerleri istirahatta, ısınmada, AE'de ve W_{max}'da sırasıyla; 107.3 $\pm$ 4.8 kPa, 106.5 $\pm$ 4.5 kPa, 107.9 $\pm$ 4.1 kPa, 114.6 $\pm$ 5.4 kPa oldu (Şekil 5.13). İstirahat, ısınma ve AE'deki P_{ET}O₂ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı. Buna karşılık maksimal egzersiz performansındaki P_{ET}O₂ değeri istatistiksel olarak anlamlı artış gösterdi (p<0.05).



Şekil 5.13: Bireylerin istirahatte, ısınmada, AE'de ve W_{max}'da P_{ET}O₂ ortalama ($\pm$ SS) değerlerinin gösterimi (n=24) (*p<0.05).

Tidal hacim sonu parsiyel CO₂ basıncı (P_{ET}CO₂) ortalama ($\pm$ SS) değerleri ise; istirahatta 37.2 $\pm$ 3.5 kPa ve ısınma döneminde 38.1 $\pm$ 3.5 kPa olarak bulundu. İstatistiksel olarak bu iki değer anlamlı farklılık göstermemektedir. AE'de P_{ET}CO₂ değeri 41.3 $\pm$ 4.1 kPa'ya yükseldi. Bu değer ısınma dönemine göre istatistiksel

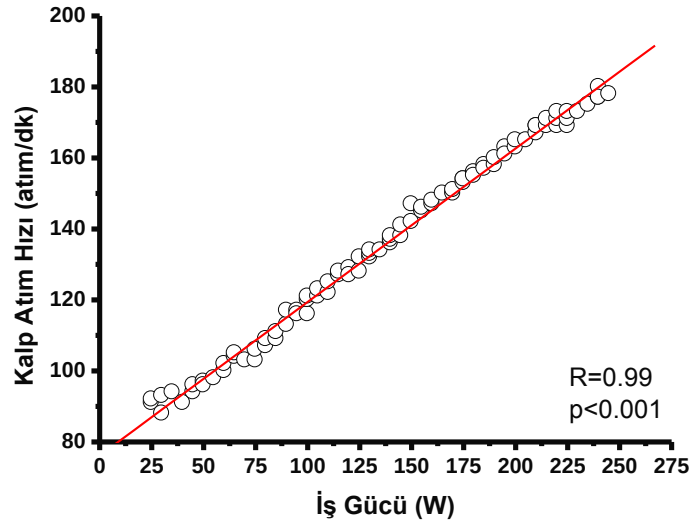
olarak anlamlı farklılık ifade etmektedir. Maksimal egzersiz performansında $P_{ET}CO_2$ 37.3 ± 6 kPa'ya azaldı. Bu değer ısınma dönemine göre istatistiksel olarak farklılık göstermemekte fakat AE'deki değere göre anlamlı olarak farklı bulundu ($p < 0.001$) (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Deneklerin istirahat, ısınma, AE'de ve W_{max} 'da $P_{ET}CO_2$ ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi (n=24) (** $p < 0.001$).

5.4. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Kalp Atım Hızının Verdiği Cevaplar

Deneklerin kalp atım hızı iş gücü ilişkisi genel olarak farklılık göstermekle birlikte deneklerin büyük bir kısmında bu ilişki testin sonuna kadar lineer bir şekilde gözlemlendi (Şekil 5.15). Bazı deneklerde ise maksimal efora doğru sağa veya sola doğru kırılmalar gözlemlendi.

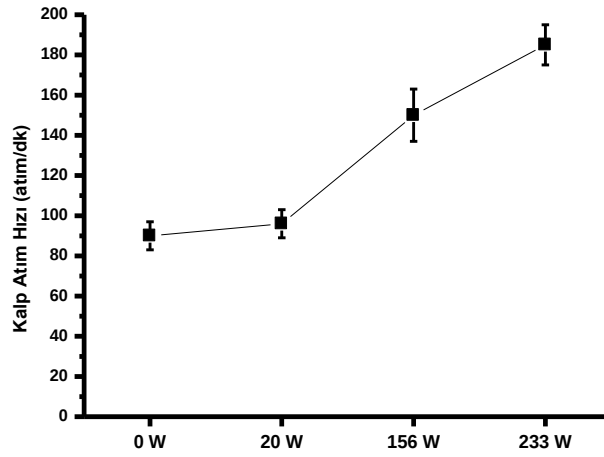


Şekil 5.15: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin kalp atım hızı-ış gücü ilişkisi (düz çizgi lineerliği göstermekte).

Deneklerde ısınma periyodu başlangıcında kalp atım hızı 90 ± 7 atım/dk olarak bulundu. Vücudun egzersiz testine alışması için uyguladığımız 20 W iş gücündeki ısınma döneminde ise kalp atım hızı değeri 96 ± 7 atım/dk olarak belirlendi. İş gücünün 15 W/dk olarak arttırıldığı yükleme döneminde vücutta yapılan işi karşılamak için kalp atım hızı artış gösterdi ve AE’de kalp atım hızı 150 ± 13 atım/dk oldu. $W_{\max}$ değerine ulaşıldığı dönemde ise kalp atım hızı 185 ± 10 atım/dk olarak bulundu (Tablo 5.4).

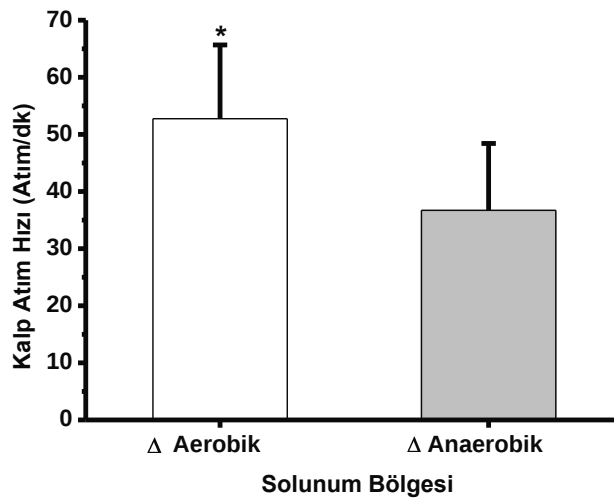
Tablo 5.4: Deneklerin istirahat, ısınma, AE, $W_{\max}$ ve beklenen ortalama ($\pm$ SS) kalp atım hızı değerleri (n=24).

Kalp Atım Hızı Değerleri (atım/dk)			
Isınma	AE	$W_{\max}$	Beklenen
96 ± 7	150 ± 13	185 ± 10	200 ± 1



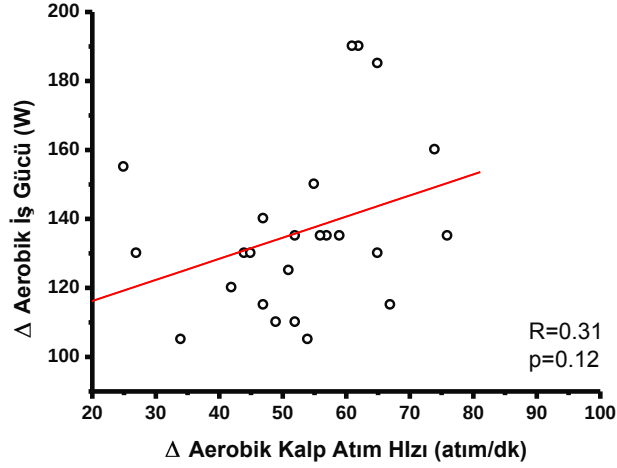
Şekil 5.16: Deneklerin istirahat, ısınma (20 W), AE (156 W) ve W_{max} 'daki (233 W) kalp atım hızı ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi (n=24).

Deneklerin aerobik ve anaerobik bölgelerdeki kalp atım hızı ortalama değerleri sırası ile 52 ± 12 atım/dk ve 36 ± 11 atım/dk oldu. Deneklerin aerobik bölgede iş gücü kalp atım hızı ortalama oranı 2.75 ± 0.9 W/atım/dk iken anaerobik bölgede 2.20 ± 0.5 W/atım/dk olarak bulundu.



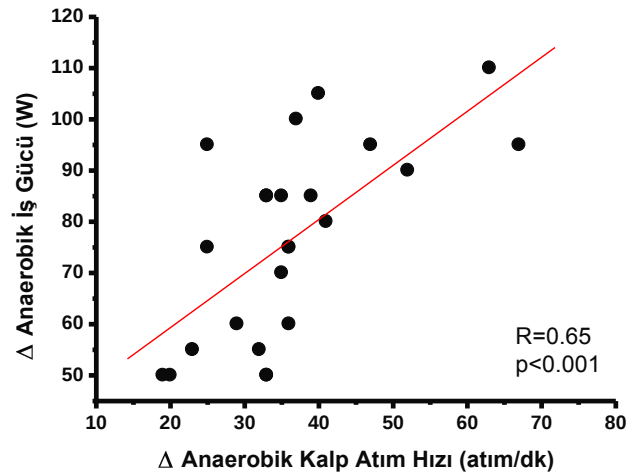
Şekil 5.17: Deneklerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki Δ kalp atım hızı ortalama ($\pm SS$) değerlerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi (n=24) (* $p < 0.05$).

Tüm deneklerin aerobik egzersiz bölgeleri Δ kalp atım hızı ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde korelasyon görülmedi ($p=0.12$) (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki Δ kalp atım hızı-iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi ($n=24$).

Tüm deneklerin anaerobik egzersiz bölgeleri Δ kalp atım hızı ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde pozitif yönde anlamlı bir korelasyon görüldü ($p<0.001$) (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: Deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki Δ kalp atım hızı-iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi ($n=24$).

5.5. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testi

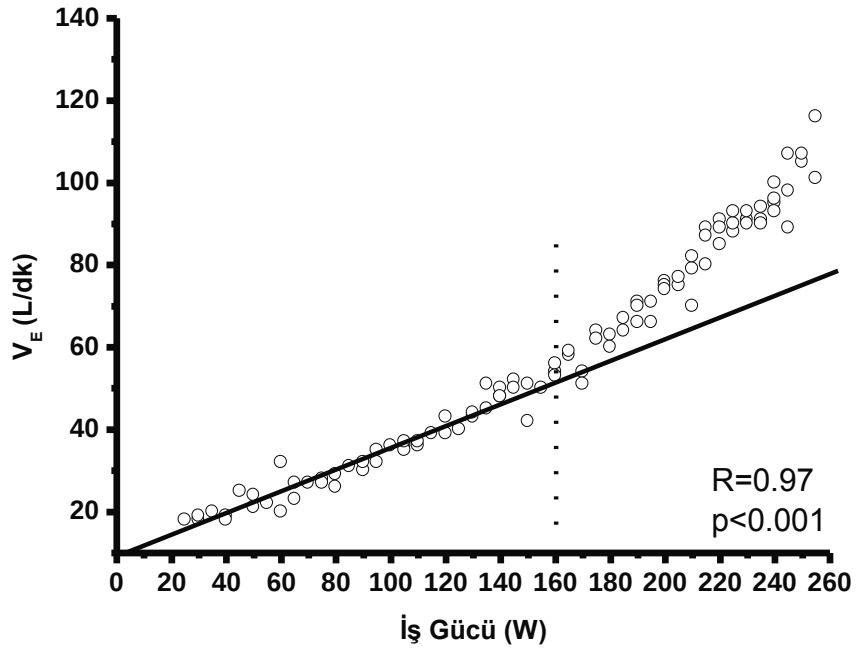
Sırasında Solunum Parametreleri

İstirahat döneminde deneklerde V_E ortalama olarak 18.9 ± 3.1 L/dk bulundu. 20 W iş gücündeki ısınma dönemindeki ortalama V_E değeri ise 22.1 ± 3.1 L/dk bulundu. İş gücünün 15 W/dk olarak artırıldığı yükleme döneminde V_E bisiklet ergometrenin pedal gücünün artmasına paralel olarak artış gösterdi. AE'deki V_E değerleri ortalama 59 ± 9.5 L/dk olarak belirlendi. W_{max} değerinde ise V_E 110.7 ± 25 L/dk'ya ulaştı (Tablo 5.5).

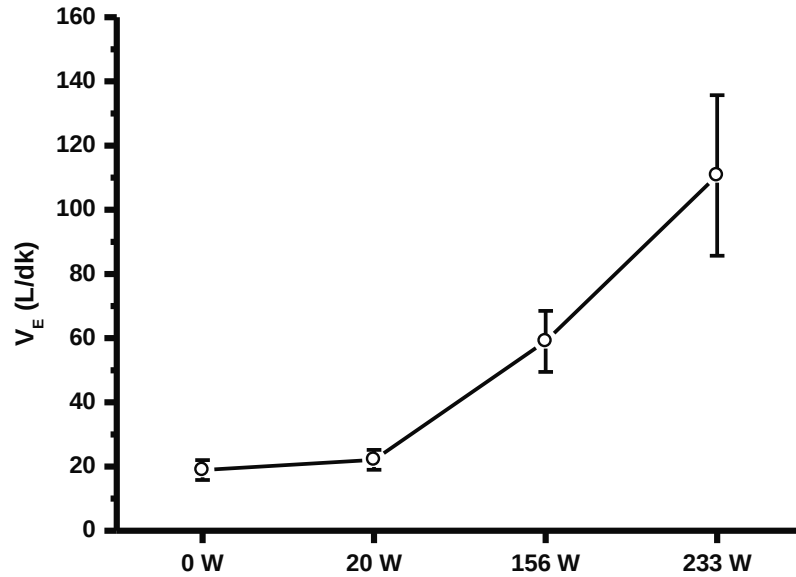
Tablo 5.5: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin istirahat, ısınma dönemi, AE ve W_{max} 'daki dakika solunum (V_E L/dk) ortalama ($\pm SS$) değerleri (n=24).

Solunum Parametreleri				
Ölçüm	İstirahat	Isınma	AE	W_{max}
V_E (L/dk)	18.9 ± 3.1	22.1 ± 3.1	59.0 ± 9.5	110.7 ± 25

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin V_E (L/dk) değerleri AE noktasına kadar lineer bir artış gösterirken, AE noktasında kırılma olmakta ve W_{max} değerine kadar hızlı bir artış göstermektedir (Şekil 5.20).

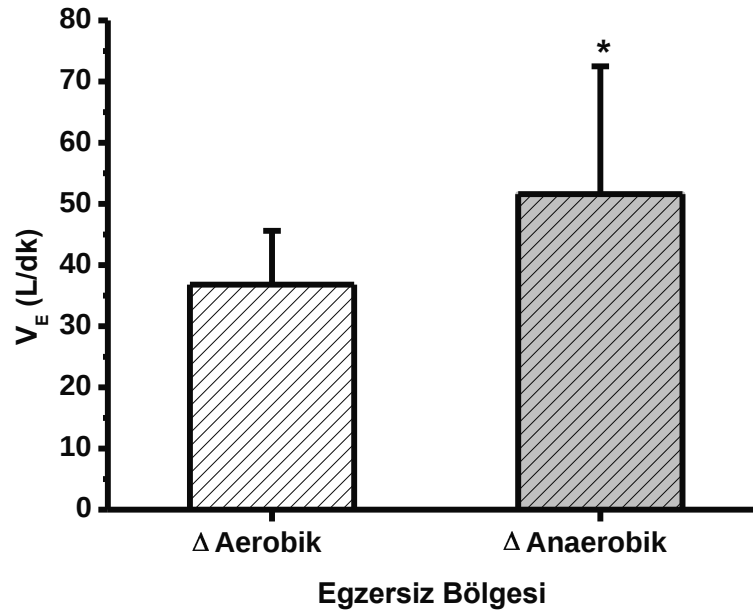


Şekil 5.20: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin V_E -iş gücü ilişkisi. Kesikli, dikey çizgi AE noktasını, düz, eğimli çizgi lineerliği göstermekte.



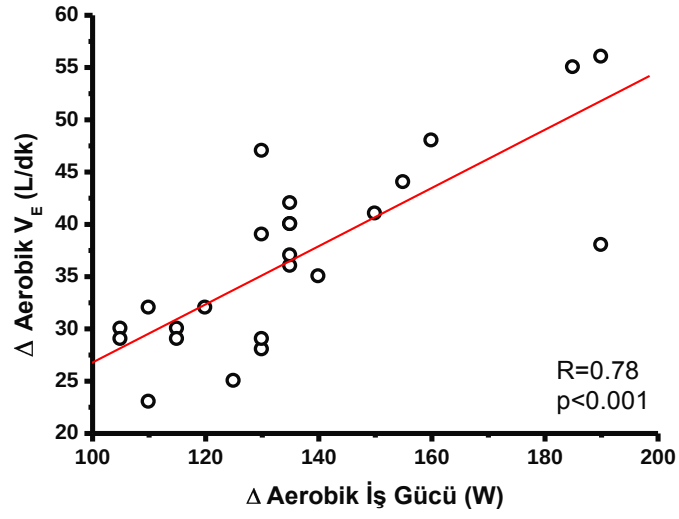
Şekil 5.21: Deneklerin istirahat, ısınma (20 W), AE (156 W) ve W_{max} 'daki (233 W) V_E (L/dk) ortalama ($\pm SS$) değerlerinin gösterimi ($n=24$).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında elde edilen parametreler sonucunda deneklerin aerobik bölgede ortalama ($\pm$ SS) ΔV_E (L/dk) değerleri 36.8 ± 8.8 L/dk iken anaerobik bölgede bu değer 51.6 ± 20.9 L/dk'ya yükseldi (Şekil 5.22).



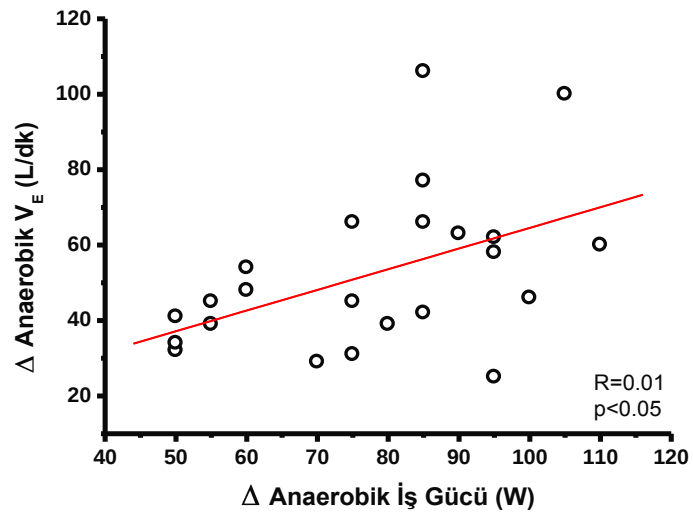
Şekil 5.22: Aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde deneklerin ΔV_E (L/dk) ortalama ($\pm$ SS) değerlerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi (n=24) (*p<0.05).

Tüm deneklerin aerobik egzersiz bölgeleri ΔV_E ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde pozitif yönde anlamlı bir korelasyon görüldü (p<0.001) (Şekil 5.23).



Şekil 5.23: Deneklerin aerobik egzersiz bölgesindeki ΔV_E -iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi (n=24).

Tüm deneklerin aerobik egzersiz bölgeleri ΔV_E ve iş üretim kapasiteleri (ΔW) arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile değerlendirildiğinde pozitif yönde anlamlı bir korelasyon görüldü ($p<0.05$) (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: Deneklerin anaerobik egzersiz bölgesindeki ΔV_E -iş gücü ilişkisinin lineer regresyon analizi (n=24).

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Artan yüke karşı yapılan egzersiz test protokolü kullanılarak uygulanan KPET; hasta bireylerin fonksiyonel kapasitelerinin değerlendirmesi için çeşitli fizyolojik değişkenlerin ölçümünü içermektedir (7, 16, 37 85). Bu test protokolü; hasta bireylere ilave olarak çocuklara, sedanter ve antrenmanlı sağlıklı yetişkin bireylere, yaşlılara ve farklı fonksiyonel kapasiteye sahip bireylere etkin bir şekilde uygulanmaktadır (86, 87, 88). Bu çalışmada; antrenmanlı bireylere şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi uygulanarak deneklerin fonksiyonel kapasitelerindeki değişimler tespit edildi. Ayrıca aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri cevapları karşılaştırmalı olarak değerlendirildi.

Deneklere uygulanan şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin vücut ağırlıkları başına ürettikleri iş kapasitesi ortalama olarak 3.34 ± 0.4 W/kg bulundu. Bu çalışmada elde edilen değer normal erkek bireyler için kabul edilen ortalama değerlerin üstündedir (89, 90). Çalışmamızda egzersiz testini gerçekleştiren bireyler sedanter bireylerden fiziksel kapasitesi yüksek olan deneklerdir ve bu nedenle elde ettiğimiz veriler literatür ile uyumludur.

Sağlıklı sedanter bireyler için AE'deki kilogram başına iş üretim değeri yaklaşık olarak 1.65 W/kg arasında normal kabul edilir (89). Bu çalışmada AE'deki kilogram başına iş üretim değeri 2.26 ± 0.4 W/kg olarak bulundu. Bu değer literatürde sedanter bireyler için kabul edilen değerlerden yüksektir (91). Deneklerin aerobik bölgede ortalama iş gücü değeri 136.2 ± 25 W iken anaerobik bölgede 76.4 ± 19 W'a düştü. Aerobik ve anaerobik bölgedeki ortalama iş gücü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu. Deneklerin

aerobik bölgedeki kilogram başına iş gücü değeri 1.97 ± 0.4 W/kg iken anaerobik bölgede 1.0 ± 0.2 W/kg değerine düştü. Bu değerler arasındaki anlamlı farklılık deneklerin anaerobik bölgedeki iş üretebilme kapasitelerinin aerobik bölgeye göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Bireylerin egzersiz sırasında ulaştıkları maksimal iş kapasiteleri ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki önemli bir fitness değerlendirici kriter olarak kullanılmaktadır (85, 92). Bu çalışmada literatüre eklemeyi hedeflediğimiz nokta ise maksimal iş kapasitesi ile vücut ağırlığı oranına ilave olarak sadece aerobik ve anaerobik bölgedeki iş kapasitesi vücut ağırlığı oranının da önemli bir kriter olarak düşünülmesi gerektiğidir. Böylece bireylerin maksimal iş kapasitelerinde artış veya azalışın kaynağının aerobik bölgede mi anaerobik bölgede mi olduğu kolaylıkla belirlenecektir. Böylelikle bireylerde egzersiz kapasiteleri ile ilgili gelişebilecek problemleri çözmenin daha kolay olmasını sağlayacaktır.

Bireylerin aerobik ve anaerobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan AE çalışmamızda; solunum-metabolizma-iş gücü kriterleri, V-slope tekniği yani egzersiz sırasında tüketilen O_2 ile üretilen CO_2 (V_{CO_2}/V_{O_2}) arasındaki ilişki ve diğer akciğer gaz değişim parametreleri yani O_2 için solunum eşitliği (V_E/V_{O_2}), CO_2 için solunum eşitliği (V_E/V_{CO_2}), $P_{ET}O_2$ ve $P_{ET}CO_2$ kriterleri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (93). AE ilk kez Wasserman ve Mc. ILroy tarafından tanımlanmıştır (25). Bu konudaki ayrıntılı çalışmalar ise Wasserman ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (29). Aerobikten anaerobik bölgeye geçişi tanımlayan AE (25) ilk tanımlandığından bu yana popülaritesini kaybetmeden sürekli gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Amerikan Kalp Derneği AE, V_E , LE ve LAE terimlerinin başka kavamlar olduğunu söylese (16)

çalışmamızda kullandığımız AE terimi; VE, LE ve LAE gibi farklı isimler ile de anılmaktadır (94, 95, 96, 97).

Deneklerin maksimal egzersiz performansları ve AE'deki iş güçleri arasındaki oran %67 olarak bulundu. Literatürde normal sağlıklı bireylerin egzersiz kapasitelerinin %40-60'ı arasında asit üretmeden egzersize devam edebilecekleri gösterilmiştir (85, 98). Bireylerin AE oluşum değeri W_{max} 'ın %60'ı üzerine çıktığında; metabolik dayanıklılık ve yüksek aerobik fitness göstergesi olur (85). Buna karşılık bireylerin AE oluşum değeri, W_{max} 'ın %40'ı altına düştüğünde; metabolik dayanıklılık azalması ve düşük aerobik fitness göstergesi olur (85). Normal sağlıklı bireylerin kan-laktat seviyesinde artış olmadan egzersizin yaklaşık %50'sini sürdürebilmesi gerektiği öne sürülmüştür (99). Wasserman ve arkadaşları yaptıkları çalışma ile sporcularda kan-laktat seviyesinin normal bireylere göre daha geç arttığını göstermişlerdir (37). Sedanter bireylerden fiziksel kapasitesi yüksek olan deneklerle gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada denekler yaklaşık %67 seviyelerine kadar egzersizi aerobik metabolizmalar ile devam ettirmişlerdir. Bu bulgu daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur (100). Aerobik enerji üretiminin anaerobik mekanizmalar ile tamamlanmasıyla ulaşılan egzersiz VO_2 üst seviyesi olarak tanımlanan AE, kas ve arterial kanda laktat ve laktat/pirüvat oranında artış ile yansıtılır. Bu çalışmada elde ettiğimiz AE'nin %67'de oluşma değeri deneklerin fiziksel kapasitelerinin sedanterlere göre yüksek olduğunun göstergelerinden biridir.

Günümüzde artan iş gücü yüküne karşı yapılan egzersiz testi yaygın olarak kullanılmakta ve önemini korumaktadır (16, 22, 74, 75, 86, 101, 102, 103). Sabit yük egzersiz testleri sadece aerobik veya anaerobik iş gücü yüklerini içerir. Buna

karşılık şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi hem aerobik hemde anaerobik iş gücü yüklerinin aynı test ile değerlendirilebilmesini sağlar (3, 22). Bu test ile bireylerin kardiyopulmoner, kardiyovasküler ve metabolik fonksiyon parametreleri kolaylıkla belirlenebilmektedir (103, 104, 105, 106, 107). Elde edilen parametreler ile kişinin egzersiz limiti düzeyi değerlendirilir, performans yeterliliği ile eksternal-internal gaz değişim eşleşmesinin değişik oranlarının tespiti sağlanır, egzersiz sırasında ilk olarak anormallik gösteren organ sistemi bulunur ve bunun hangi VO_2 değerinde meydana geldiği belirlenebilir (16, 102, 108, 109, 110, 111). Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında VO_2 ile artan iş gücü arasında lineer bir ilişki gözlenmiştir (Şekil 5.3). Bu bulgu literatürde kabul edilen referans VO_2 artış oranı olan 10 ml/dk/W ile uyumlu olarak bulunmuştur (85, 112). Egzersiz sırasında metabolizmadaki aerobikten anaerobiğe değişim; VO_2 -iş gücü arasındaki ilişki üzerine görülebilir anlamlı bir etkide bulunmamıştır. Buna karşılık egzersiz sırasında metabolizmadaki aerobikten anaerobiğe değişim VCO_2 -iş gücü ilişkisi üzerine önemli etkide bulunmuştur (Şekil 5.9). Metabolizmanın anaerobiğe kayması ile birlikte asit-tampon ilişkisi nedeniyle CO_2 üretimindeki artış VCO_2 'de hızlanmaya neden olmaktadır (85, 109). Davis J.A. ve arkadaşları; AE değerinin sağlıklı antrenmansız bireylerde, ölçülen pik veya maksimal VO_2 değerinin yaklaşık olarak % 45-65'i arasında olduğunu bulmuşlardır (42). Fiziksel kapasitesi sedanter bireylerden yüksek olan deneklerle gerçekleştirilen bu çalışmada AE, VO_{2max} 'ın yaklaşık %74 oldu. Bu değer sağlıklı antrenmansız bireylerde ölçülen değerden yüksektir. Bu fark deneklerin fiziksel kapasitesinin sedanter bireylerden yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Egzersiz sırasında değerlendirdiğimiz diğer önemli parametre olan MET değeri aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri için karşılaştırıldı. Egzersiz sırasında kullanılan MET değeri aerobik bölgede ortalama 6 MET iken anaerobik bölgede ortalama 3 MET civarındadır. Tüm deneklerin VKİ ve MET değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde değerler arasında anlamlı olarak negatif korelasyon görüldü (Şekil 5.4). Literatürde yapılan çalışmalarda bireylerin MET değerleri ile kardiyopulmoner fitness seviyeleri arasında önemli bir ilişki olduğu gösterilmiştir (113). MET değeri düşük olan bireylerde yüksek mortalite oranı bildirilmiştir. Bu çalışmada MET değerlerinin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde ayrı ayrı incelenmesinin bireylerin kapasitelerinin değerlendirilmesinde genel MET ölçümüne göre daha etkin olabileceği düşüncesindeyiz.

Rusko ve arkadaşları 1992 yılında, Greg ve arkadaşları ise 2009 yılında yaptıkları çalışmalarda normal VO_{2max}/kg değerinin sağlıklı sedanter bireyler için 25-40 ml/dk/kg iken yüksek antrenmanlı sağlıklı bireylerde 40 ml/dk/kg'dan 75 ml/dk/kg'ye kadar çıkmakta olduğunu bulmuşlardır (54, 87). Arena R. ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada; VO_{2pik} 'in yetişkin erkek bireyler için ortalama 43.9-29.4 ml/dk/kg iken yetişkin bayanlarda 37.4-25.1 ml/dk/kg olduğu ve VO_{2pik} değerinin cinsiyet ile değiştiiği ortaya konulmuştur (114). Fiziksel kapasitesi sedanter bireylerden yüksek olan erkek deneklerle gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada VO_{2max}/kg değeri ortalama olarak 42.3 ± 6.6 ml/dk/kg olarak bulundu. Bu değer antrenmanlı erkek bireyler için kabul edilen değerler içinde yer almaktadır (115, 116).

Literatürde yapılan çalışmalarda bireylerin ulaştığı maksimal O_2 kullanım seviyesi ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki vücut fonksiyonel kapasitesini değerlendirmek için önemli bir kriter olarak kullanılmıştır. Bu önemli kriteri değerlendirdiğimiz gibi sadece aerobik bölgedeki cevabı ve sadece anaerobik bölgedeki cevabı analiz ederek değerlendirdik. İlave olarak aerobik ve anaerobik bölgede elde edilen cevaplar karşılaştırmalı olarak da analiz edildi.

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin aerobik bölgesinde iş gücü- VO_2 ilişkisi anlamlı olarak lineerlik gösterirken anaerobik bölgede metabolizmanın farklı olmasından dolayı VO_2 -iş gücü arasında anlamlı ilişki görülmemektedir (Şekil 5.7). Aerobik egzersiz bölgesinde metabolizma O_2 ile desteklendiği için iş gücü ile lineer ilişki görülmüştür (85, 117). Buna karşılık anaerobik egzersiz bölgesinde iş gücü metabolizmanın hem aerobik hemde anaerobik kaynakları ile desteklendiği için anlamlı ilişki bulunmamıştır. Yaptığımız ilave analizde artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin aerobik bölgesinde deneklerin ortalama VO_2/kg değeri yaklaşık 21 ml/dk/kg iken anaerobik bölgede bu değer 11 ml/dk/kg olarak bulundu. Anaerobik bölgede VO_2/kg değeri aerobik bölgeye göre anlamlı olarak azalmıştır.

Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi aerobik bölgesinde VCO_2 -iş gücü ile paralel olarak artmaktadır (Şekil 5.9). Egzersizin bu bölgesinde ölçülen VCO_2 'nin kaynağı aerobik metabolizma sonucunda üretilen “metabolik CO_2 ”dir. Belli bir noktadan sonra, yani AE üstü bölgede, VO_2 ile iş gücü arasındaki paralellik aynı kalmasına rağmen deneklerin VCO_2 parametresinde yapılan iş gücü ile olan paralelliği bozulmakta ve daha da hızlanmaktadır. (85). Bu AE üstü bölgedeki VCO_2 'nin hızlanma nedeni anaerobik metabolizma sonucunda üretilen

“non-metabolik CO₂”dir. Yani normal aerobik metabolizma ile üretilen CO₂’ye ilave non-metabolik CO₂’in eklenmesi VCO₂’de hızlanmaya neden olmaktadır (34, 117).

Elde ettiğimiz verilerde deneklerin aerobik ve anaerobik bölgedeki iş gücü oranının farklılığına rağmen her iki bölgenin VCO₂ ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmedi (Şekil 5.10). Ancak istatistiksel olarak elde edilen veriler bize deneklerin aerobik ve anaerobik bölgelerindeki iş gücü-VCO₂ ilişkileri arasında pozitif korelasyon olduğunu gösterdi (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). Deneklerin aerobik ve anaerobik VCO₂/kg değerleri sırası ile 21.9 ml/dk/kg ve 20.5 ml/dk/kg oldu. Bu değerler arasında istatistiksel olarak bir fark görülmedi. Burada önemli noktalardan biri ise aerobik egzersiz bölgesinde tüketilen O₂ ile üretilen CO₂’nin yaklaşık olarak 21 ml/dk/kg olması, bireylerin enerji tüketimlerinin göstergesi olan solunum katsayısının 1.00 olmasıdır. Bilindiği gibi antrenmanlı birey, yükleme testinin aerobik kısmında enerji kaynağı olarak karbonhidratları kullanmaktadır (16, 118). Literatürde bireylerin fiziksel kapasitesinin değerlendirilmesinde çoğunlukla gaz değişim parametrelerinden VO₂ ele alınmıştır. Bunun nedeni VCO₂ değerinin ortam koşulları (nem, sıcaklık, basınç, alınan besinler, solunum problemi) ile fazlasıyla etkilenmesi ve farklılık göstermesidir (16, 85).

Egzersiz sırasında P_{ET}O₂ basıncı istirahatta, ısınmada ve AE’de farklılık göstermezken W_{max}’da anlamlı olarak artış gösterdi (Şekil 5.13). AE üzerinde artan solunum hacmi sonucunda olmaktadır. P_{ET}CO₂ basıncı ise istirahatta, ısınmada ve W_{max}’da farklılık göstermezken AE’de anlamlı olarak azalmıştır.

Hiperventilasyon sonucu vücutta CO₂ atılımı (VCO₂) artmakta bu da P_{ET}CO₂'de azalmaya neden olmaktadır (Şekil 5.14).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında iş gücünün düzenli artışına kalp atımındaki artış eşlik etmektedir (119, 120, 121). Artan kalp atım sayısı ve atım hacmi gerekli olan O₂'nin ve besin maddelerinin dokulara ulaşmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda kalp atım sayısının uygulanan iş gücüyle linear arttığı gösterilmiştir (122, 123). Bununla birlikte eşik altı ve eşik üstü bölgelerde iş gücü kalp atım ilişkisi karşılaştırılmamıştır. Deneklerin aerobik bölgede iş gücü kalp atım hızı ortalama oranı 2.75±0.9 W/atım/dk iken anaerobik bölgede 2.20±0.5 W/atım/dk'ya düştü. Ayrıca deneklerin kalp atım hızı ortalama değeri anaerobik bölgeye göre aerobik bölgede anlamlı olarak yüksekti (Şekil 5.17). Kalp atım hızı aerobik bölgede iş gücü ile lineer korelasyon göstermezken anaerobik bölgede pozitif yönde anlamlı bir şekilde korelasyon gösterdi (Şekil.18 ve Şekil 5.19). Bireyin yapılan iş gücü ile kalp atım sayısı arasındaki ilişkinin aerobik ve anaerobik iş gücü bölgelerinde (iki farklı metabolizma) karşılaştırmalı olarak belirlenmesi kalbin etkinliğinin belirlenmesinde önemli bir yöntemdir.

Egzersiz testlerinin önemli kriterlerinden biri olan, her kalp atımında pulmoner kana eklenen O₂ değerini gösteren “O₂ pulse” (16, 85); aerobik ve anaerobik bölgelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemiştir (Şekil 5.8).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde solunum sisteminin, kalp atımının, metabolizmanın uygulanan iş gücü ile ilişkisi belirlenebilir (25, 124, 125, 126,

127, 128, 129, 130). Ayrıca bu iki farklı metabolizma bölgesinin karşılaştırılması araştırmacıya bireylerin durumu ile ilgili önemli bilgiler sağlayabilir. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında W_{max} , VO_{2max} , VCO_2 AE, maksimal kalp atım değerleri gibi önemli birçok parametre elde edilir (125, 126, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137).

V_E 'nin egzersiz testine verdiği cevap VCO_2 cevabına benzer şekildedir (87, 138, 139). Şekil 20'de görüldüğü gibi AE'ye kadar lineer artış gösterirken AE üstünde non-metabolik CO_2 'nin solunumu uyarması ile V_E hızlanmaktadır. Aerobik bölgede V_E 36.8 ± 8.8 L/dk iken anaerobik bölgede bu değer 51.6 ± 20.9 L/dk'ya yükselmiştir (Şekil 5.22). Deneklerin hem aerobik hemde anaerobik egzersiz bölgelerinde V_E -iş gücü ilişkisi pozitif yönde anlamlı bir korelasyon gösterdi (Şekil 23 ve Şekil 5.24). Aerobik egzersiz bölgesinde V_E -iş gücü ilişkisinin lineerliği aerobik metabolizmanın solunum tarafından desteklendiğinin anlamlı göstergesidir. Anaerobik egzersiz bölgesindeki solunum iş gücü ilişkisi ise anaerobik metabolizma sonucunda üretilen CO_2 'nin V_E tarafından atıldığının en önemli göstergesidir.

Sonuç olarak; şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi ile hem aerobik hem de anaerobik egzersiz kapasiteleri aynı test esnasında iş gücü sürekliliği sağlanarak bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumlarının karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilmesi sağlandı.

Bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerinde iş üretirken kullandıkları O_2 'nin, ürettikleri CO_2 'nin, kullandıkları V_E 'nin ve kalp atım hızı

değerlerinin analiz edilmesi ile standart bir değer bulunmasının sedanter ve hasta bireyler için karşılaştırma kriteri olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Böylece spor bilimlerinde; sedanter ve antrenmanlı bireylerin vücut kondisyonunun attırılmasında ve fitnes değerlendirmesinde, klinik bilimlerde; depresif, obez, kalp yetmezliği olan, pulmoner rahatsızlığı olan ve cerrahi operasyon geçirecek olan bireylerde KPET uygulamalarında hastalık tedavisine yardımcı olarak aerobik ve anaerobik egzersiz bölgeleri cevaplarının incelenmesinin daha etkin sonuçlar elde etmek için yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın temel noktası; egzersiz testinin maksimal değerlerinin incelenmesine ilave olarak aerobik ve anaerobik bölgelerin ayrı ayrı değerlendirilmesinin de bireylerin fonksiyonel durumlarının belirlenmesinde daha etkin bir kriter olacağıdır. Normal ve antrenmanlı bireylerin aerobik ve anaerobik egzersiz bölgelerindeki kardiyak, metabolik ve respiratuvar parametrelerinin referans değerlerinin bulunması gelecekte yapılması gereken çalışmalardır.

7. KAYNAKLAR

1. Bruce, R.A. Exercise testing of patients with coronary artery disease. *Ann. Clin. Res.* 1971; 3: 323-332.
2. Naughton J, Pietras R.J, and Gumar R.N. Treadmill exercise in assesment of patients with cardiac disease. *Am. J. Cardiol*, 1972; 30:757-762.
3. Balke B, and Ware, R.W: An experimental study of "physical fitness" of Air Force personnel. *U.S. Armed Forces Med. J.* 1959; 10: 675-688.
4. Astrand P.O, and Rodalh K: *Textbook of Work Physiology*. 2nd Ed. New York, McGraw-Hill 1977; pp. 333-365.
5. Ellasted M.H: *Stress Testing*. 2nd Ed. Philadelphia, F.A. Davis, 1980.
6. Buchfuhrer M.J, Hansen J.E, Robinson T.E, Sue D.Y, Wasserman K, and Whipp B.J: Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J. Appl. Physiol.* 1983; 55: 1558-1564.
7. M. West, Clinical Research Fellow, S. Jack, Consultant Clinician Scientist, M.P.W. Grocott, Professor of Anaesthesia and Critical Care Medicine. Perioperative cardiopulmonary exercise testing in the elderly. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 25, 2011; 427–437.
8. Agostoni P, Cattadori G. Patterns of response diagnostic for cardiac disease. *Eur Respir Mon.* 2007; 40: 93-107.
9. Older P, Smith R, Courtney P, Hone R. Preoperative evaluation of cardiac failure and ischemia in elderly patients by cardiopulmonary exercise testing. *Chest* 1993; 104: 701-704.
10. Casaburi R. A primer in cardiopulmonary exercise testing. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1993; 48: 266-271.
11. 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 Sayfa*: 1–35, 2007.
12. Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Rev Respir Med* 2010; 4: 179–188.
13. Palange P, Ward SA, Carlsen K-H, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J* 2007; 29: 185–209.
14. Wasserman K, Hansen J.E, Sue D.Y, Whipp B.J, Casuburi R. *Principles of exercise testing and interpretation*. Second edition Lea Febiger, 1994.
15. Gallager CG. Exercise limitation and clinical exercise testing in chronic obstructive pulmonary disease. *Clinical Exercise Testing*. Clinics in Chest Medicine. I Weisman, RJ Zeballos (Editörler). Philadelphia, Saunders. Sayfa 305–307, 1994.
16. Gary J. Balady, Ross Arena, Kathy Sietsema, et al. Clinician’s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults: A Scientific Statement From the American Heart Association; *Circulation* 2010; 122:191-225.
17. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol* 1981; 50: 217-21.
18. Astrand PO, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology. Physiological Basis of Exercise*, McGraw-Hill (Editörler). New York. Sayfa 1986; 413-486.
19. Older P, Hall A. Clinical review: how to identify high-risk surgical patients. *Crit Care* 2004; 8: 369-372.
20. Sinclair RC, Danjoux GR, Goodridge V, Batterham AM. Determination of the anaerobic threshold in the pre-operative assessment clinic: inter-observer measurement error. *Anaesthesia* 2009; 64: 1192–1195.
21. Whipp B.J. Domains of aerobic function and their limiting parameters. In: *The Physiology and Pathophysiology of Exercise Tolerance*. Edited by Ward S.A, Part 3, chapter 12, pp 83-89. Plenum Press. New York, 1996.
22. Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007; 37(7):575-86.

23. Brian J. Whipp, Darryl Y. Sue, James E. Hansen, Karlman Wasserman, William W. Stringer M.D. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*, Hardcover 2004.
24. Myers JN. *Essentials of Cardiopulmonary Exercise Testing*. Champaign, Ill: Human Kinetics 1996.
25. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14: 844-852.
26. Koike A, Kobayashi K, Adachi H, Shimizu N, Itoh H, Hiroe M, Wasserman K. Effects of dobutamine on critical capillary PO₂ and lactic acidosis threshold in patients with cardiovascular disease. *Chest* 2001; 120: 1218–1225.
27. Plato PA, McNulty M, Crunk SM, Tug Ergun A. Predicting lactate threshold using ventilatory threshold. *Int J Sports Med* 2008; 29: 732-737.
28. Koike A, Weiler-Ravell D, McKenzie DK, Zanconato S, Wasserman K. Evidence that the metabolic acidosis threshold is the anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 1990; 68: 2521–2526.
29. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973; 35: 236–243.
30. 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.
31. 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.
32. Beaver W.L, Wasserman K, Whipp, B.J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 1986b; 69: 2020-2027.
33. Keul J, Doll E, Keppeler D. In: *Energy Metabolism of Human Muscle*, edited by E. Jokl and Ky. Lexington, Baltimore: University Park Press, p.135, 1972.
34. Stringer W, Casaburi, R, Wasserman K. Acid- base regulation during exercise and recovery in humans. *J. Appl. Physiol.* 1992; 72 (3): 954-961.
35. Wasserman K. Coupling of external to cellular respiration during exercise: the wisdom of the body revisited. *Am J Physiol* 1994; 266: 519-539.
36. Whipp B.J, Wasserman K. Blood-gas and acid-base regulation. In: *The Lung*, chapter 152, edited by R.G. Crystal, J.B. West, et al. Lippincott Raven Publisher, Philadelphia, 1987; p: 2021-2031.
37. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. Lippincott Williams & Wilkins (Editor) 2004.
38. Douglas CG. Coordination of the respiration and circulation with variations in bodily activity. *Lancet*, 1927; p. 2: 213-218.
39. Owles W. H. Alterations in the 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.
40. Kubrychtova V, Olson TP, Bailey KR, Thapa P, Allison TG, Johnson BD. Heart rate recovery and prognosis in heart failure patients. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 105: 37– 45.
41. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation.* 1990; 81(suppl):II-14–II-30.
42. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol.* 1976; 41: 544 -550.
43. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 2000; 29:373-386.
44. Amann M, Subudhi AW, Walker J, Eisenman P, Shultz B, Foster C. An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36: 1716 -1722.
45. Bensimhon DR, Leifer ES, Ellis SJ, et al. HF-ACTION Trial Investigators. Reproducibility of peak oxygen uptake and other cardiopulmonary exercise testing parameters in patients with heart failure (from the Heart Failure and A Controlled Trial Investigating Outcomes of exercise training). *Am J Cardiol.* 2008; 102: 712–717.
46. Beaver W.L, Wasserman K, Whipp B.J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol.* 1986; 60: 2020-2027.

47. Solberg G, Robstad B, Skjønberg OH, Borchsenius F. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sport Sci Med* 2005; 4: 29-36.
48. Santos EL, Giannella-Neto A. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol*. 2004; 93: 315–324.
49. Whipp BJ, Ward SA, Wasserman K. Respiratory markers of the anaerobic threshold. *Adv Cardiol* 1986; 35: 47-64.
50. Whipp BJ. The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15: 173–191.
51. Shimizu M, Myers J, Buchanan N, et al. The ventilatory threshold: method, protocol, and evaluator agreement. *Am Heart J*. 1991; 122:509–516.
52. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33: 1841-1848.
53. 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.
54. Rusko HK. Development of aerobic power in relation to age and training in crosscountry skiers. *Med Sci Sports Exerc*; 1992; 24: 1040–1047.
55. Miyamura M, Honda Y. Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol*. 1972; 32: 185-188.
56. Karvonen J, Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med* 1988; 5: 303-312.
57. Savonen KP, Lakka TA, Laukkanen JA, et al. Heart rate response during exercise test and cardiovascular mortality in middle-aged men. *Eur Heart J* 2006; 27: 582–588.
58. Gerhard-Paul Diller, Darlington O. Okonko, Anselm Uebing, et al. Impaired heart rate response to exercise in adult patients with a systemic right ventricle or univentricular circulation: Prevalence, relation to exercise, and potential therapeutic implications. *International Journal of Cardiology* 2009; 134, 59–66.
59. Wilmore JH, Stanforth PR, Gagnon J, et al. Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 99-106.
60. Pinkstaff S, Peberdy MA, Kontos MC, Finucane S, Arena R. Quantifying exertion level during exercise stress testing using percentage of age-predicted maximal heart rate, rate pressure product, and perceived exertion. *Mayo Clin Proc*. 2010; 85:12:1095-100.
61. Efthimiadis GK, Giannakoulas G, Parcharidou DG, et al. Chronotropic incompetence and its relation to exercise intolerance in hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiol*. Epub 2010 Sep 20. 2011;153(2):179-84.
62. Cunha FA, Farinatti PD, Midgley AW. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *J Sci Med Sport*. [Epub ahead of print] 2010.
63. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* 1982; 52: 869-873.
64. Droghetti P, Borsetto C, Casoni I, et al. Non-invasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller and ice-skating, rowing and walking. *Eur J Appl Physiol* 1985; 53: 299-303.
65. Eliassen AH, Hankinson SE, Rosner B, Holmes MD, Willett WC. Physical activity and risk of breast cancer among postmenopausal women. *Arch Intern Med*. 2010; 170(19):1758-64.
66. Giuseppe Sergi, Alessandra Coin, Silvia Sarti, et al. Resting VO₂, maximal VO₂ and metabolic equivalents in free-living healthy elderly women. *Clinical Nutrition*, Volume 29, Issue 1, Pages 2010; 84-88.
67. Jamieson M. Bourque, Benjamin H. Holland, Denny D. Watson, George A. Beller: Achieving an Exercise Workload of ≥ 10 Metabolic Equivalents Predicts a Very Low Risk of Inducible Ischemia: Does Myocardial Perfusion Imaging Have a Role? *Journal of the American College of Cardiology*, Volume 54, Issue 6, Pages 2009; 538-545.
68. Jeffrey A. Meyerhardt, Edward L. Giovannucci, Shuji Ogino, et al. Physical activity and survival in male colorectal cancer survivors *Arch Intern Med*. 2009; 169(22): 2102–2108.

69. Alessandro Mezzani, Ugo Corra, Enzo Bosimini, Andrea Giordano, and Pantaleo Giannuzzi. Contribution of peak respiratory exchange ratio to peak VO₂ prognostic reliability in patients with chronic heart failure and severely reduced exercise capacity. *Am Heart J*. 2003;145(6):1102-7.
70. Lewis MJ, Short AL. Exercise and cardiac regulation: what can electrocardiographic time series tell us? *Scand J Med Sci Sports*. Review. 2010 Dec;20(6):794-804.
71. Giada F, Conte R, Pescatore V, Brugin E. Sports and arrhythmias. *Minerva Med*. Review. 2011 Jun;102(3):239-47.
72. Grundy SM, Balady GJ, Criqui MH, et al. Primary prevention of coronary heart disease: guidance from Framingham. A statement for healthcare professionals from the AHA Task Force on Risk Reduction. *Circulation* 1998; 97: 1876-87.
73. Utter AC, Nieman DC, Ward AN, Butterworth DE. Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 603-7.
74. Ozcelik O, Ward SA, Whipp BJ. Effect of Altered Body CO₂ Stores on Pulmonary Gas Exchange Dynamics During Incremental Exercise in Humans, *Exp. Physiol*, 1999; 84, 999-1011.
75. Bentley DJ, McNaughton LR. Comparison of W(peak), VO₂(peak) and the ventilation threshold from two different incremental exercise tests: relationship to endurance performance *J. Sci Med Sport*. 2003; 6(4):422-35.
76. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, DellaValle DM, Haas JD. Accuracy and reliability of the Parvo Medics True One 2400 and MedGraphics VO2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 98: 139 -151.
77. Foss Ø, Halle'n J. Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med*. 2005; 26: 569 -575.
78. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians, ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing [published correction appears in *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167:1451–1452]. *Am J Respir Crit Care Med*. 167: 211–277.
79. Myers J, Arena R, Franklin B, et al. American Heart Association Committee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology, the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism, and the Council on Cardiovascular Nursing. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2009; 119: 3144-3161.
80. Jones NL. Quality control in exercise studies. *Clinical Exercise Testing*. Philadelphia, Pa: Saunders; 1997; 164-166.
81. American College of Sports Medicine, ACSM's Metabolic Calculations Handbook. Baltimore, Md: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
82. Arena R, Myers J, Williams MA, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*. 2007; 116:329-343.
83. Wilmore JH, Stanforth PR, Turley KR, et al. Reproducibility of cardiovascular, respiratory, and metabolic responses to submaximal exercise: the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc*. 1998; 30: 259-265.
84. Huszczuk A, Whipp BJ, Wasserman K. A respiratory gas Exchange simulator for routine calibration in metabolic studies. *Eur Respir J*. 1990; 3: 465-468.
85. Wasserman K, Hansen J.E, Sue D.Y, Whipp B.J, Casuburi R. Principles of exercise testing and interpretation. Fifth edition 2012.
86. U. Voderholzer, R. Dersch, H.H. Dickhut, A. Herter, T. Freyer, M. Berger: Physical fitness in depressive patients and impact of illness course and disability. *Journal of Affective Disorders* 128, 2011; 160–164.
87. Greg D. Wells, Stephen R. Norris. Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. *Paediatric Respiratory Reviews* 10 2009; 91–98.
88. Guazzi M, Myers J, Arena R. Cardiopulmonary exercise testing in the clinical and prognostic assessment of diastolic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 1883–1890.

89. Ozcelik O, Aslan M, Ayar A, Kelestimur H. Effects of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise test. *Physiol Res* 2004; 53: 165–170.
90. Sue DY, Hansen JE. Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest Med* 1984; 5: 89-98.
91. Lars Donath, Silke Boettger, Christian Puta, et al. Dissociation of performance parameters at the IAT requires specific exercise recommendations for depressed patients. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry* 34, 2010; 131–135.
92. V.A.M. Gulmans, K. de Meer, R.A. Binkhorst, P.J.M. Helders, W.H.M Saris. Reference values for maximum work capacity in relation to body composition in healthy Dutch children. *Eur Respir J*, 1997; 10: 94–97.
93. Whipp BJ, Ward SA. The normal respiratory response in exercise. In: *Cardiopulmonary Exercise Testing*. Leff AR, (Editör) Orlando: Grune and Stratton, Sayfa 45–68, 1986.
94. Ivy J.L, R.T. Withers, P.J. Van Handel, D.H. Elgers, and D.L. Costill. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* 1980; 48: 523-527.
95. Hansen D, Dendale P, Berger J, Meeusen R. Low agreement of ventilatory threshold between training modes in cardiac patients. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 101: 547-554.
96. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Pérez M, Carvajal A, Chicharro JL. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med* 2002; 36: 113-117.
97. Matthew S. Tenan, Robert G. McMurray, B. Troy Blackburn, Melanie McGrath, Kyle Leppert: The relationship between blood potassium, blood lactate, and lectromyography signals related to fatigue in a progressive cycling exercise test. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 21, 2011; 25–32.
98. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. Philadelphia. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129: 49-55.
99. Spurway NC. Aerobic exercise, anaerobic exercise and the lactate threshold. *Br Med Bull* 1992; 48: 569–591.
100. Myers J, Ashley E. Dangerous curves: A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest.* 1997; 111: 787-795.
101. McLoughlin P, Popham P, Linton RA, Bruce RC, Band DM. Use of arterialized venous blood sampling during incremental exercise tests. *J Appl Physiol* 1992; 73: 937-940.
102. James R Clark; Incremental exercise test performance with and without a respiratory gas collection system. *SAJSM* vol:20 no:2, 2008.
103. John Mach, Adrian W. Midgley, Steve Dank, Ross S. Grant and David J. Bentley: The Effect of Antioxidant Supplementation on Fatigue during Exercise: Potential Role for NAD⁺(H) Nutrients. 2010; 2, 319-329.
104. Zoe A. Ridgway and Simon J. Howell, *Cardiopulmonary exercise testing: a review of methods and applications in surgical patients* *Eur J Anaesthesiol* 2010; 27: 858–865.
105. Stephen L. Tuner, MBChB, MRCS, Chris Easton, et al. *Cardiopulmonary responses to treadmill and cycle ergometry exercise in patients with peripheral vascular disease*. The Society for Vascular Surgery, 2008.
106. J.M. Casillas, V. Gremeaux, S. Damak, A. Feki, D. Pérennou, *Exercise training for patients with cardiovascular disease*. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 50, 2007; 403–418.
107. Karen E. Wallman, Alan R. Morton, Carmel Goodman, and Robert, *Grove Physiological Responses during a Submaximal Cycle Test in Chronic Fatigue Syndrome*. 2004; 10.1249.
108. Linnarsson D, Karlsson J, Fagraeus L, Saltin B. Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J Appl Physiol* 1974; 36: 399–402.
109. Brian J. Whipp, *Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during exercise in humans*. *Exp Physiol* 2007; 92. 2 pp 347–355.
110. Colm McParland, Bharath Krishnan, John Lobo and Charles G. Gallagher; *Respiration Effect of physical training on breathing pattern during progressive exercise*. *Physiology*, 1992; 90: 311-323.

111. Lounana J, Campion F, Noakes TD, Medelli J. Relationship between %HRmax, %HR reserve, %VO₂max, and %VO₂ reserve in elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 350-357.
112. Koyal SN, Whipp BJ, Huntsman D, Bray GA, Wasserman K. Ventilatory responses to the metabolic acidosis of treadmill and cycle ergometry. *J Appl Physiol* 1973;35:928-931. *J Appl Physiol* 1976;40:864-867.
113. Lee DC, Sui X, Artero EG, Lee IM, Church TS, McAuley PA, Stanford FC, Kohl HW 3rd, Blair SN. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the Aerobics Center Longitudinal Study. *Circulation*. 2011 Dec 6;124(23):2483-90.
114. Arena R, Myers J, Guazzi M. Cardiopulmonary exercise testing is a core assessment for patients with heart failure. *Congest Heart Fail*. 2011 May-Jun;17(3):115-9.
115. Lockwood PA, Yoder JE, Deuster PA. Comparison and cross-validation of cycle ergometry estimates of VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 1997; 29: 1513-1520.
116. Maria Cristina Bisi, Rita Stagni, Gianni Gnudi Automatic detection of maximal oxygen uptake and ventilatory threshold. *Computers in Biology and Medicine* 41, 2011; 18-23.
117. Whipp BJ. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol* 2007; 92: 347-355.
118. Brown S.E, Wiener S, Brown RA, et al. Exercise performance following a carbohydrate load in chronic airflow obstruction. *J Appl Physiol*. 1985; 58:1340-1346.
119. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 2003; 33: 517-538.
120. Jonathan Myers, Rochelle L. Goldsmith, Steven J. Keteyian, et al. The Ventilatory Anaerobic Threshold in Heart Failure: A Multicenter Evaluation of Reliability. *Journal of Cardiac Failure* Vol.16 No.1 2010.
121. Azevedo LF, Perlingeiro PS, Brum PC, et al. Exercise intensity optimization for men with high cardiorespiratory fitness. *J Sports Sci*. 2011 Mar;29(6):555-61.
122. Rodgers GP, Ayanian JZ, Balady G, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Clinical Competence statement on stress testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians–American Society of Internal Medicine Task Force on Clinical Competence. *J Am Coll Cardiol*. 2000; 36: 1441-1453.
123. American College of Sports Medicine, ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins 2010; 286 -299.
124. Lucía A, Sánchez O, Carvajal A, Chicharro JL. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *Br J Sports Med* 1999; 33: 178-185.
125. Lepretre PM, Foster C, Koralsztejn JP, Billat VL. Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise. *J Appl Physiol* 2005; 98: 1660-1665.
126. Lavie CJ, Milani RV, Mehra MR. Peak exercise oxygen pulse and prognosis in chronic heart failure. *Am J Cardiol* 2004; 93: 588-593.
127. Metin G, Öztürk L, Yücesir İ, Bayraktar B. Birinci lig düzeyi elit bayan basketbol oyuncularında istirahat ve egzersiz sırasındaki solunum parametreleri. *Solunum* 2003;5: 220-226.
128. Gürsel Y, Sonel B, Gök H, Yalçın P. The peak oxygen uptake of healthy Turkish children with reference to age and sex: a pilot study. *Turk J Pediatr* 2004; 46: 38-43.
129. Poole DC, Richardson RS. Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. *Sports Med*. 1997; 24: 308-320.
130. 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.
131. Ward SA, Whipp BJ. Influence of body CO₂ store on ventilatory-metabolic coupling during exercise. In: *Control of Breathing and its Modelling Perspective*, Y. Honda, Y. Miyamoto, K. Konno, JG Widdicombe (Editörler). Plenum Pres, New York. 1992; Sayfa: 425-431.

132. Stringer W, Wasserman K, Casaburi R. The VCO_2/VO_2 relationship during heavy, constant work rate exercise reflects the rate of lactic acid accumulation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995; 72: 25-31.
133. Skinner JS, Gaskell SE, Rankinen T, et al. Heart rate versus $\%\text{VO}_2\text{max}$: age, sex, race, initial fitness, and training response-- HERITAGE. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 1908-1913.
134. Scheuermann BW, Barstow TJ. O_2 uptake kinetics during exercise at peak O_2 uptake. *J Appl Physiol* 2003; 95: 2014–2022.
135. 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.
136. Honold J, Geiger L, Assmus B, Fischer-Rasokat U, et al. The initial slope of the VCO_2/VO_2 -curve (s1) in cardiopulmonary exercise testing is a strong and independent predictor of outcome in patients with previous myocardial infarction. *Clin Res Cardiol* 2008; 97: 882-890.
137. Hollenberg M, Tager IB. Oxygen uptake efficiency slope: an index of exercise performance and cardiopulmonary reserve requiring only submaximal exercise. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 194–201.
138. Papazachou O, Anastasiou-Nana M, Sakellariou D, et al. Pulmonary function at peak exercise in patients with chronic heart failure. *Int J Cardiol*. 2007 May; 16;118(1):28-35.
139. Ulubay G, Oner Eyüboğlu F. Cardiopulmonary exercise testing. *Tuberk Toraks*; 2006;54(1):90-8.

8. ÖZGEÇMİŞ

10.07.1985 tarihinde Elazığ'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Ankara Keçiören Fevzi Çakmak İlköğretim Okulu ve Sağlık İşçileri Sendikası İlköğretim Okulu'nda yaptım. Lise öğrenimimi Yabancı Dil Ağırlıklı Ankara Bahçelievler Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladım. 2005 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nü kazandım. 2006 yılında yaz stajımı Elazığ Sarahatun Kadın Doğum Hastanesi Mikrobiyoloji, Biyokimya ve Kan Merkezi laboratuvarlarında tamamladım. 2009 yılında Biyoloji Bölümü'nü bitirdim. 2009 yılı güz döneminde Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım.

Yüksek lisans eğitimim süresince; 2010 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Deney Hayvanları Kullanım Sertifikası Eğitim Programına ve Aydın Adnan Menderes Üniversitesi 22. Ulusal Biyofizik Kongresi'ne, 2011 yılında İstanbul Yeditepe Üniversitesi Uluslararası Fizyoloji Kongresi'ne (Turkish - FEPS Physiology Congress) ve İstanbul Medipol Üniversitesi Nöron Kültürü Kursuna katıldım.

Ulusal Yayınlar:

- Serhatlıoğlu İ, Kaya H, **Aslan N**, Oruç S. Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Sırasında Solunum Parametrelerinin Erkek Ve Bayanlarda Karşılaştırılması. F.Ü. Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi,24(3),173-7, 2010.
- Serhatlıoğlu İ, Kaya H, **Aslan N**, Oruç S, Özçelik O, "Artan Güce Karşı Yapılan Egzersiz Testi Sırasında Solunum Parametrelerinin Genç Erkek ve

Kadınlarda Karşılaştırılması" 22. Ulusal Biyofizik Kongresi, P9: Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 2010.

- Serhatlıoğlu İ, Özçelik O, **Aslan N**, Yılmaz B, "Çok Kısa Süreli Aerobik ve Anaerobik Egzersizin Programının Voleybolcuların Aerobik Fitnesleri Üzerine Etkileri" 36. Ulusal Fizyoloji Kongresi, P:91, Edirne, 2010.

Uluslararası Yayınlar:

- **Aslan N**, Serhatlıoğlu I, Uğras S, Uğur FA, Özçelik O, "Effects of Aerobic and Anaerobic Regions of Incremental Exercise Test on Cardiorespiratory and Metabolic Changes In Trained Subjects" Turkish - FEPS Physiology Congress, PC237: İstanbul, 2011.
- S. Oruc, M. Özcan, **N. Aslan**, S. Kutlu, H. Keleştimur, A. Ayar, "Leptin activates intracellular calcium signals in isolated rat dorsal root ganglion neurons" Proc Physiol Soc 23, PC174, University of Oxford 2011.
- Uğras S, Yılmaz B, Serhatlıoğlu I, **Aslan N**, Özçelik O, "Effects of Work Load Intensity on Body Metabolism and Substrate Utilisation during Muscular Exercise Performance" Turkish - FEPS Physiology Congress, PC215: İstanbul, 2011.