

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

FARKLI YOĞUNLUKTAKİ SABİT YÜK
EGZERSİZ TESTLERİNİN VÜCUT METABOLİZMASI
VE SUBSTRATKULLANIMLARI
ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda UĞRAŞ

2013

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Oktay BURMA

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez Yüksek Lisans Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR

Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı

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

Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK

Danışman

Yüksek Lisans Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK

Doç. Dr. Mete ÖZCAN

Yrd. Doç. Dr. İhsan SERHATLIOĞLU

TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleri ile büyük katkı sağlayan, tez konumun belirlenmesi, çalışmamın planlanması, gerçekleştirilmesi ve sonuçlandırılmasında bana yol gösteren desteklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK'e ve Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Haluk KELEŞTİMUR'a, Biyofizik Anabilim Dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Mete ÖZCAN'a, Biyomühendislik Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. İhsan Serhatlıoğlu'na

Tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen Yeditepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Bayram Yılmaz'a ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ahmet Ayar'a

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her daim yanımda olan değerli ailem; Asef UĞRAŞ, Güler UĞRAŞ, Y. Mak. Müh. Vahdet UĞRAŞ ve A. Akın UĞRAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XII
1.ÖZET.....	XIII
2.ABSTRACT.....	XV
3.GİRİŞ.....	1
3.1. 3.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri.....	2
3.1.1 Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testleri (Incremental Exercise).....	5
3.1.2. Sabit Yük Egzersiz Testleri (Constant Load Exercise Test).....	7
3.2. KPET ile Aerobik Fitnes Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Önemli Kriterler: Anaerobik Eşik (AE), Kritik Güç (KG), Maksimal O ₂ Alımı (VO ₂ max).....	8
3.2.1. Anaerobik Eşik (AE).....	8
3.2.1.1. Anaerobik Eşiğin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler.....	11
3.2.1.2. AE Kullanım Alanları.....	13
3.2.2. Kritik Güç.....	13
3.2.3. Maksimal O ₂ Alımı (VO ₂ max).....	15
3.3. Vücut Enerji Kaynakları.....	17
3.3.1. İnsan İskelet Kasında Enerji Üretiminin Kimyası.....	17
3.4. Enerji Sistemleri.....	19

3.4.1. Yüksek Enerji Fosfat Sistemi (Fosfokreatin PCr).....	19
3.4.2. Anaerobik Glikolitik Sistem.....	21
3.4.2.1. Laktik Anaerobik Enerji Sistemi (Laktik Asit Sistemi).....	21
3.4.3. Aerobik Oksidatif Sistem.....	23
3.5. Enerji Kaynaklarının Hesaplanması (Solunum Katsayısı Respiratory Quotient, 'RQ').....	25
4. GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	29
4.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri.....	29
4.2. Deneklerin Sabit Yük Egzersiz Testine Hazırlanması.....	30
4.3. Egzersiz Test Protokolü.....	31
4.3.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yük Egzersiz Testi (rapid incremental exercise test).....	32
4.3.2. Sabit Yük Egzersiz Testi.....	34
4.3.3. Kardiyak, Respiratuvar ve Metabolik Ölçümler.....	36
4.3.3. İstatiksel Analiz.....	37
5. BULGULAR.....	39
5.1. Deneklerin Yapılan Sabit Yük Egzersiz Testi Sırasında Verdiği Cevaplar.....	39
5.2 Sabit Yük Egzersiz Testindeki Solunum Katsayısı (RQ) Cevapları.....	48
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	54
6.1 İş gücü Şiddetinin Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi Cevapları.....	54
6.2 Egzersiz-Substrat Kullanım Cevabı.....	56
6.3 Sabit Yük Egzersiz Test Protokollerinin Verdiği Cevaplar.....	60
6.4. Sonuçlar.....	68

6.5. Yapılması Hedeflenen Çalışmalar.....	70
7. KAYNAKLAR.....	71
8. ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 3.1:** Hücresel (internal) ve pulmoner (eksternal) solunumda gaz değişim mekanizmaları. Dişliler sisteminin fizyolojik bileşenlerinin fonksiyonel iç bağımlılığını temsil etmektedir. Atmosfer ve mitokondriler arası O_2 transferi. Akciğerler, kardiyovasküler sistem ve kaslarda VO_2 'yi göstermektedir. FiO_2 : inspirasyonda O_2 fraksiyonu, QT: kardiyak output, FEO_2 : ekspirasyonda O_2 fraksiyonu, CaO_2 , CO_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.....2
- Şekil 3.2:** O_2 taşınması / O_2 kullanım yolağı. Mitokondriaya O_2 taşımak için tüm basamakların etkileri ve sistemin maksimum kapasitesi gösterilmiştir.....3
- Şekil 3.3:** Aerobik egzersiz boyunca gaz değişimi (A). Aerobik ve anaerobik (B) egzersiz. İkinci mekanizmada asit-baz sonucu hücrede laktik asit üretimi net olarak artar. Hücrede oluşan laktik asit bikarbonat ile tamponlanır. İkinci mekanizmada hücrenin CO_2 üretimi yaklaşık %22 artacak laktik asit tamponlayıcı bikarbonat sistemi devreye girecektir. Kimyasal konsantrasyon derecesi sonucunda hücrede laktat artar ve bikarbonat azalır, laktat taşınmasının dışında bikarbonat taşınmasına da neden olur.4
- Şekil 3.4:** İş gücünün dakikada kademeli olarak (incremental) (üst) ve rampa şeklinde (rapid incremental) (alt) arttığı egzersiz test protokolleri. a, b, c iş yükü artışı sırası ile dakikada 30, 15 ve 5 watt'tır.....6
- Şekil 3.5:** Farklı iş gücü şiddetinde uygulanan sabit yük egzersiz testleri.....8

Şekil 3.6: Bisiklet ergometre ile yapılan egzersiz sırasında: arteriyel kanda bikarbonat, laktat ve pH belirlenmiştir. Ayrıca O_2 alımı (VO_2), CO_2 atımı (VCO_2), V_E/VCO_2 , V_E/VO_2 , $PETCO_2$, $PETO_2$, dakika ventilasyonu solunumdan solunuma ölçülmüştür. Laktatın artmaya başladığı nokta laktat eşiğini gösterir. V_E/VO_2 arttığında HCO_3 azalması olur. V_E/VCO_2 artışı olmaksızın bazı oranlarda V_E ve VCO_2 paralel arttığında izokapnik tamponlanma dönemi meydana gelir ve $PETCO_2$ sabit tutulur. İzokapnik tamponlama döenminden sonra $PETCO_2$ azalır ve V_E/VCO_2 artar. Egzersizin metabolik asidozdan solunum kompanzasyonuna yansıdığını gösterir.10

Şekil 3.7: AE hesaplamak için kullanılan ölçütler. (L-): arter kan laktat düzeyi. $PETCO_2$: tidal sonu parsiyel CO_2 basıncı, $PETO_2$: tidal sonu parsiyel O_2 basıncı, V_E/VO_2 : O_2 alımı için solunum eşitliği, V_E/VCO_2 : CO_2 atılımı için solunum eşitliği, dikey kesik çizgiler AE'i ve son panel ise V- slope metodunu göstermektedir.....12

Şekil 3.8: (A) Non-lineer güç-zaman grafiği. (B) Non-lineer güç-zaman grafiği lineer regrasyon analiziyle lineer güç-zaman formuna dönüştürülmüş şekli. KG'ün bulunması.....15

Şekil 3.9: O_2 alımının cevabı: a) sabit yük egzersiz testi sırasında orta şiddetteki egzersizden ağır şiddetteki egzersize geçiş b) artan (ramp) egzersiz testi. Protokoller (a ve b) arasında O_2 alımı farklı değildir. O_2 alım cevabında platonun açıklaması yoktur (maksimum O_2 alımı) sabit kararlı durumda O_2 alımı orta yoğunluktaki sabit yük egzersiz testinde gözlemlenmiştir. (a) üretim oluşur.....16

Şekil 3.10: Hücrenin enerji üretebilmesi için gerekli olan ATP'nin üretim şekilleri.....21

Şekil 3.11: Solunum katsayı ölçümü ile diyetteki karbonhidratın kullanım yüzdesi.....	26
Şekil 4.1: Egzersiz testi sırasında deneklere rutin olarak uygulanan 12'li EKG elektrotlarının bağlantı yerleri.....	31
Şekil 4.2: Şiddeti düzenli şekilde artan yüke karşı yapılan egzersiz test protokolünde -4 ve 0 dakikalar arası 20 W'taki ısınma dönemini gösterir. 0'dan itibaren artan (incremental) dönem başlar ve yük dakikada 15 W (5 W/ 20 sn) kontrollü olarak artırıldı. Yükleme dönemi sonunda iyileşme dönemi başlangıcında iş gücü tekrar 20 W'a düşürüldü.....	33
Şekil 4.3: deneklere uygulanan sabit yük egzersiz test protokolleri anaerobik eşiğin %25 altına denk gelen iş gücü ($W_{0.25} < W_{AE}$) anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), SKN deki iş gücü (W_{SKN}), anaerobik eşiğin %25 üstüne denk gelen iş gücü ($0.25 > W_{AE}$) ve anaerobik eşiğin %100 üstüne ($100 > W_{AE}$) denk gelen iş güçleri kullanıldı.	35
Şekil 5.1: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir deneğin O_2 alımının (VO_2) CO_2 atılımına (VCO_2) göre değişimini gösteren V-Slope tekniği ile (üstteki grafik) AE hesaplanması. Buna ilave olarak solunum O_2 alım ilişkisi (VE/VO_2) ve tidal sonu parsiyel O_2 basıncının (PET_{O_2}) ile AE hesaplanmasının desteklenmesi.	42
Şekil 5.2: Üstteki grafik AE hesaplanmasında kullanılan VCO_2 'nin VO_2 'ye oranını göstermektedir. Ortadaki grafikte ise dakika solunum (V_E) ile CO_2 atılımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir (VE/VCO_2). Alttaki grafikte tidal sonu CO_2 parsiyel basıncının (PET_{CO_2}) verdiği cevabı göstermektedir. Dikey kesik çizgi anaerobik metabolizmanın başlangıcı olan AE'yi göstermektedir. Dikey solid	

çizgiler ise solunum kompensasyon noktasının (SKN) başlangıcını göstermektedir.....	43
Şekil 5.3: Egzersiz iş gücü şiddetinin %25 AE altında olan egzersiz testinde tüm deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 alttaki ise test esnasında RQ'nun dengelendiği noktayı göstermektedir.....	49
Şekil 5.4: Egzersiz iş gücü şiddeti AE'ye denk gelen sabit yük egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 alttaki kesik çizgi ise test esnasında RQ'nun dengelendiği noktayı göstermektedir.....	50
Şekil 5.5: İş gücü şiddeti SKN'de olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 alttaki kesik çizgi ise test esnasında RQ'nun dengelendiği noktayı göstermektedir.....	51
Şekil 5.6: İş gücü şiddetinin %25 AE üstünde olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Kesik çizgi RQ:1.00'i göstermektedir.....	52
Şekil 5.7: İş gücü şiddetinin %100 AE üstünde olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Kesik çizgi RQ:1.00'i göstermektedir.....	53
Şekil 6.1: Farklı enerji substratları ve egzersiz yoğunluğunun özellikleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. ATP dönüşümü, bacak kasında sistem boyunca hesaplanmıştır. PCr ve laktat sadece yüksek yoğunluktaki egzersizde ATP üretimine önemli katkı sağlayarak oluşmuştur.....	65

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1: Tez çalışmasında kullanılan metabolik ölçüm sisteminin (Master Screen CPX) özellikleri.....	38
Tablo 5.1: Deneklerin yaş (yıl), boy (cm), vücut ağırlığı (kg) ve vücut kitle indeksleri.....	39
Tablo 5.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin maksimal iş gücü (V_{max}), AE'deki iş gücü değerleri (W_{AE}), maksimal iş gücü ile AE deki iş gücü oranı ($\%W_{AE}$) ve maksimal iş gücü ($W_{max/kg}$) ve AE'deki ($W_{AE/kg}$) kilogram vücut ağırlığı başına ulaştıkları değerler.....	40
Tablo 5.3: Bu çalışma sırasında deneklere uygulanan egzersiz test protokolleri ve bu protokollere denk gelen iş gücü uygulamaları: Anaerobik eşiğe denk gelen iş gücünün $\%25$ altı ($W_{AE<\%25}$) anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), izokapnik tamponlanma döneminin sonundaki solunum kompanzasyon noktasındaki iş gücü (W_{SKN}), anaerobik eşğin $\%25$ üstüne denk gelen iş gücü ($W_{AE>\%25}$) ve anaerobik eşğin $\%100$ üzerine denk gelen iş gücü ($W_{\%100>AE}$) değerleri.....	44
Tablo 5.4: Bu çalışma sırasında deneklere uygulanan egzersiz test protokolleri ve bu protokollere gelen iş gücü uygulamaları: anaerobik eşiğe denk gelen iş gücünün $\%25$ altı ($W_{AE<\%25}$) anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), izokapnik tamponlanma dönemindeki iş gücü (W_{ICB}), anaerobik eşğin $\%25$ üstüne denk gelen iş gücü ($W_{AE>\%25}$) ve anaerobik eşğin $\%100$ üzerine denk gelen iş gücü ($W_{\%100>AE}$) değerlerinin kilograma bölünmesiyle elde edilen değerler.....	45
Tablo 5.5. Deneklere uygulanan egzersiz protokolündeki iş güçlerinin maksimal egzersiz kapasitesine yüzde oran değerleri.....	46

Tablo 5.6: Deneklerin AE<%25 altı, AE, İCB, AE>%25 üstü ve %100>AE' deki iş güçleri uygulanması sonucunda devam ettirebildikleri zaman değerleri.....	47
Tablo 5.7: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin maksimal egzersiz kapasitelerinde ve anaerobik eşikteki VO ₂ değerleri ve kilogram başına ulaştıkları O ₂ alım (VO ₂) değerleri.....	48
Tablo 6.1: Karbonhidratlar ve yağlar için substrat kullanım yüzde değerleri.....	59

KISALTMALAR LİSTESİ

KPET	: Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri
AE	: Anaerobik Eşik
V_E	: Dakika Ventilasyonu
SKN	: Solunum Kompanzasyon Noktası
İTD	: İzokapnik Tamponlama Dönemi
CO₂	: Karbondioksit
VCO₂	: Karbondioksit Atılımı
O₂	: Oksijen
VO₂	: Oksijen Alınımı
KG	: Kritik Güç
W	: Watt
VO₂max	: Maksimal Oksijen Alımı
Wmax	: Maksimal İş Gücü
CO	: Kardiyak Output
PETCO₂	: Tidal Sonu Parsiyel CO ₂ Basıncı
PETO₂	: Tidal Sonu Parsiyel O ₂ Basıncı
V_E/VO₂	: O ₂ alımı için solunum eşitliği
V_E/VCO₂	: CO ₂ atılımı için solunum eşitliği

1. ÖZET

Vücut substrat kullanımında uygun yağ yakım bölgesini belirlemek için 5 farklı sabit yük egzersiz testi karşılaştırılmalı olarak incelendi. Yedi sedanter erkek denek lokal etik komite iznini okuyup imzaladıktan sonra çalışmaya katıldılar. Başlangıçta denekler anaerobik eşik (AE), solunum kompanzasyon noktası (SKN) ve maksimal egzersiz kapasitesinin (W_{max}) belirlenmesi için bisiklet ergometre ile artan yüke karşı yapılan egzersiz testine (15 W/dk) katıldılar. Sonra her denek 5 farklı sabit yük egzersiz tesine katıldılar (30 dk): AE'nin %25 altı, AE' de, SKN' de, AE'nin %25 üstünde ve AE'nin %100 üstünde. Solunum ve pulmoner gaz değişim parametreleri nefesten-nefese değerlendirildi. Metabolik değişim solunum katsayısı (RQ) ile belirlendi. AE ve SKN V-Slope ve diğer konvensiyonel metotlar ile belirlendi. Verilerin analizinde Paired t-testi kullanılmıştır. Yağ oksidasyon oranı SKN de (0.917 ± 0.04), AE'nin %25 altı (0.952 ± 0.01) ve AE'ye (0.950 ± 0.02) göre daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). RQ, AE'nin %25 üstü (1.046 ± 0.03) ve AE'nin %100 üstü (1.530 ± 0.09) iş güçlerinde düzenli olarak arttı.

Egzersiz yoğunluğu arttıkça (AE'nin % 25 altından AE'ye ve SKN'ye) yağ oksidasyonunun artmasına neden olmaktadır. Ama SKN'nin üstündeki iş gücü artışı anaerobik glikoliz sayesinde karbonhidrat oksidasyonunun artışıyla sonuçlanmaktadır. SKN'de yapılan iş gücündeki yağ oksidasyonunun artışı, klinik bilimleri için önemli bir egzersiz protokolüdür.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz Testi, Metabolizma, Anaerobik Eşik, Solunum Katsayısı.

2. ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT CONSTANT LOAD EXERCISE TESTS ON BODY METABOLISM AND SUBSTRATE UTILISATION

Body substrate utilization was examined comparatively in 5 different constant load exercise tests to find optimal fat burning zone. Seven sedentary male subjects participated in the study after giving signed written informed contents, which were approved by the local ethical committee. They initially performed an incremental exercise test (15 W/min) for estimation of anaerobic threshold (AT), respiratory compensation point (RCP) and maximal exercise capacity (Wmax) using cycle ergometer. Then, each subject performed 5 different constant load exercise tests (30 min): work load corresponded to 25% below AT, at the AT, at the RCP, at the 25% above AT and at 100% above AT. Ventilatory and pulmonary gas exchange parameters were evaluated breath-by-breath. Metabolic changes were determined using respiratory quotient (RQ). AT and RCP were estimated using V-Slope method and other conventional methods. A paired t- test was used to evaluate values. Fat oxidation ratio was found to be higher in RCP (0.917 ± 0.04) than AT (0.950 ± 0.02) and 25% below AT (0.952 ± 0.01) ($p < 0.05$). RQ was systematically increased workload at the 25% above AT (1.046 ± 0.03) and at 100% above AT (1.530 ± 0.09). Increasing exercise intensity (from 25% below to AT to RCP) caused increases in fat oxidation ratio. However, workload intensity above the RCP results in increases carbohydrate oxidation rate

due to the anaerobic glycolysis. Increases in fat oxidation at the workload at corresponded to RCP could be an important training protocol for clinical medicine.

Key Words: Exercise Test, Metabolism, Anaerobic Threshold, Respiratory Quotient.

3. GİRİŞ

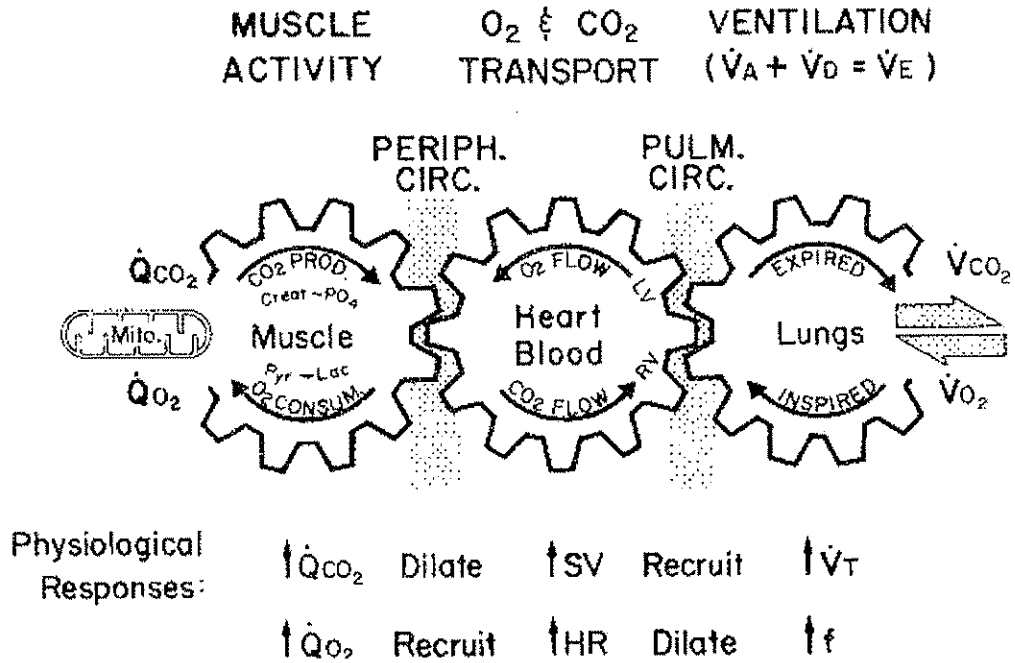
Sağlık, Dünya Sağlık Örgütü tarafından "sadece hastalık ve sakatlığın olmayışı değil; beden, ruhen ve sosyal yönden tam bir iyilik hali" olarak tanımlanmıştır (1). İnsanların vücut organ ve sistemlerinin sağlamlık derecesi göstergelerinden olan aerobik fitness ve aerobik fitnessin belirlenerek değerlendirilmesi günümüz sağlık bilimlerinin önemli konularının başında gelmektedir. Egzersiz aktivitelerinin sağlık ve sağlamlık üzerindeki önemli etkileri antik Yunan kaynaklarında yazılı olarak kayıt altına alınıp günümüze kadar önemini artırarak gelmiştir.

İnsanların fitness değerlendirmesi için çeşitli sayıda yöntemler geliştirilmiştir. Egzersiz testlerinin dayandığı temel nokta belirli iş gücü stresi uygulandığında vücut organ ve sistemlerinin verdiği cevaba bakarak o organ ve sistemler hakkında sağlamlık derecesi veya varsa azalma derecesinin nedenlerini belirlemektir (2, 3).

Bireylerin ulaşabilecekleri maksimal egzersiz kapasiteleri (W_{max}), organ ve sistemlerin sağlamlık dereceleri ile yakından ilişkilidir. Kardiyopulmoner fitness, egzersiz kapasitesinin önemli göstergelerinden biri olup bireylerin başta kardiyorespiratuvar ve metabolik sistemleri olmak üzere vücuttaki tüm organ ve sistemlerinin fonksiyonel durumlarını yansıtmaktadır (Şekil 3.1) (3-7).

3.1. Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri:

Günümüzde kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET), kardiyak stres testleri, metabolik stres testleri gibi farklı isimlerle tanımlanan egzersiz testleri başta kardiyoji (7, 8) göğüs hastalıkları, (9) ve cerrahi bilimler olmak üzere klinik bilimlerinin çeşitli bölümleri tarafından tedavi ve teşhis amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır (10, 11). Wasserman'ın dişli çark modelinde görüldüğü gibi vücut organ ve sistemleri birbirlerine yakından bağlı olarak destekleyici görev görmektedirler (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Hücresel (internal) ve pulmoner (eksternal) solunumda gaz değişim mekanizmaları. Dişliler sisteminin fizyolojik bileşenlerinin fonksiyonel iç bağımlılığını temsil etmektedir. Atmosfer ve mitokondriler arası O₂ transferi. Akciğerler, kardiyovasküler sistem ve kaslarda VO₂'yi göstermektedir. FiO₂: inspirasyonda O₂ fraksiyonu, QT: kardiyak output, FEO₂: ekspirasyonda O₂ fraksiyonu, CaO₂, CO₂: arteriyel ve miks venöz kanın O₂ kontentleri, DO₂: O₂ difüzyon kapasitesi, PcO₂: ortalama kapiller parsiyel O₂ basıncı, Pmit O₂: mitokondride ortalama parsiyel O₂ basıncı (kaynak 2'den alınmıştır) (2).

Akciğer fonksiyonu



Kanda O₂ taşıma kapasitesi



Kardiyovasküler sistem (kardiyak output ve kanın bölgesel akımı)



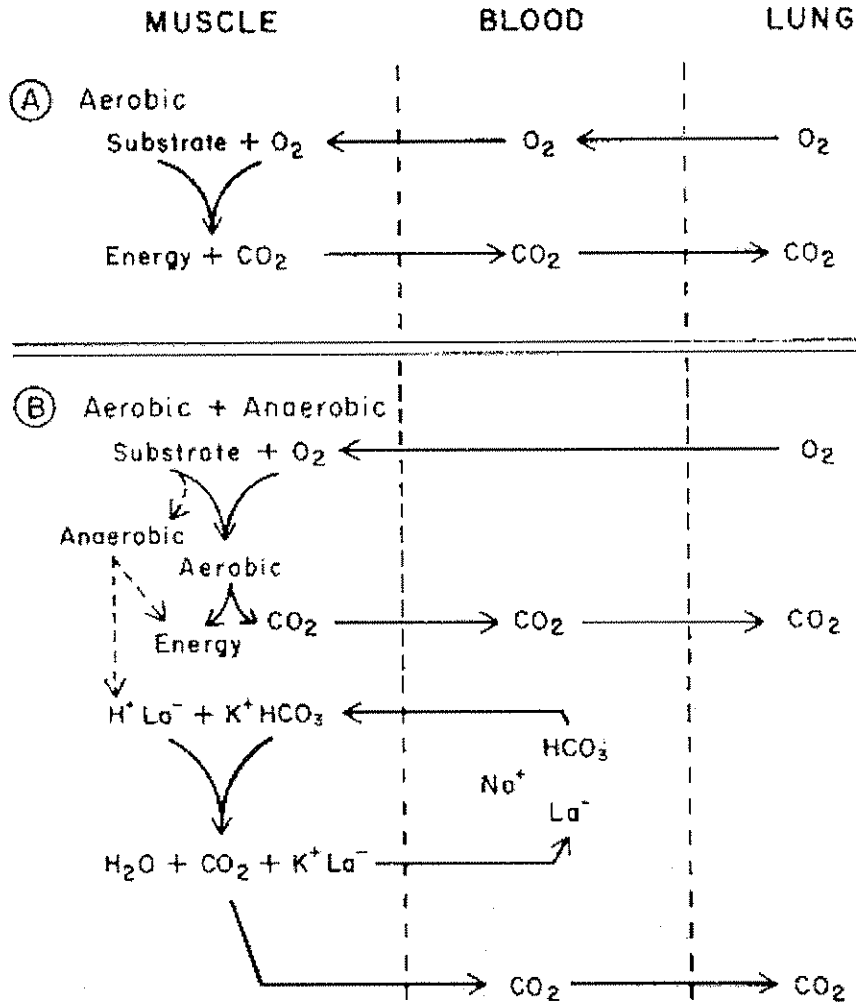
Kas kapillerlerinde O₂ taşıma kapasitesi



Mitokondrial oksidatif kapasite (hücrede O₂ kullanımı)

Şekil 3.2: O₂ taşınması / O₂ kullanım yolağı. Mitokondriaya O₂ taşımak için tüm basamakların etkileri ve sistemin maksimum kapasitesi gösterilmiştir (kaynak 12'ten alınmıştır) (12).

Egzersiz testleri sırasında sistemlerin fonksiyonel durumlarının değerlendirilmesinde çeşitli kriterler kullanılmaktadır (2, 13). Bunlar vücudun alabileceği ve kullanabileceği maksimum O₂ (VO₂max) seviyesi, metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği bölgeyi tanımlayan anaerobik eşik (AE) ve bireylerin yorulmadan gidecekleri en yüksek iş gücü noktasını tanımlayan kritik güçtür (KG). Egzersiz sırasında kaslarının artan enerji ihtiyacı için gerekli olan O₂'nin sağlanması egzersizin devam ettirilebilmesinde temel noktalardan bir tanesidir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Aerobik egzersiz boyunca gaz değişimi (A). Aerobik ve anaerobik (B) egzersiz. İkinci mekanizmada asit-baz sonucu hücrede laktik asit üretimi net olarak artar. Hücrede oluşan laktik asit bikarbonat ile tamponlanır. İkinci mekanizmada hücrenin CO₂ üretimi yaklaşık %22 artacak laktik asit tamponlayıcı bikarbonat sistemi devreye girecektir. Kimyasal konsantrasyon derecesi sonucunda hücrede laktat artar ve bikarbonat azalır, laktat taşınmasının dışında bikarbonat taşınmasına da neden olur (kaynak 2'den alınmıştır) (2).

Araştırmacılar ve bilim adamları çok sayıda egzersiz test protokolleri geliştirerek bunu klinik ve spor bilimlerine uygulamışlardır. Çeşitli testler geliştirmiş olmakla birlikte en yaygın kullanılanları iş gücü protokolünün düzenli olarak artırıldığı artan yüke karşı yapılan egzersiz testleri (**incremental exercise**)

ve iş gücü protokolünün birden artırılıp sabit tutulduğu sabit yük egzersiz (constant load exercise) testleridir.

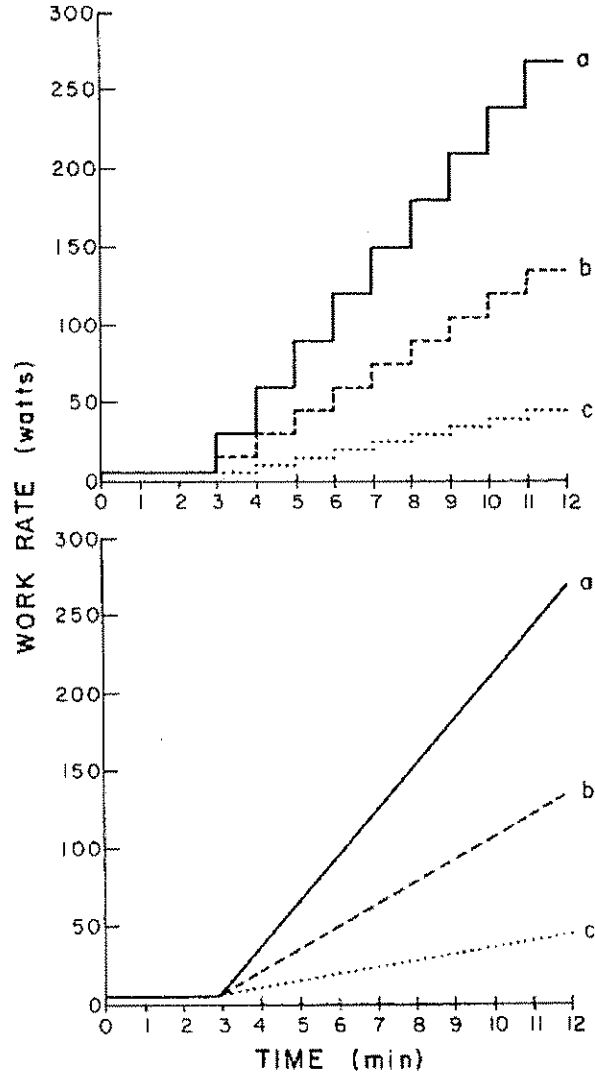
3.1.1 Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Testleri (Incremental Exercise)

Artan yüke karşı yapılan (rampa veya merdiven) egzersiz testi ilk defa 1959 yılında Balke tarafından geliştirilmiştir (14).

Bu egzersiz test protokolü başlangıçta çok düşük iş gücünde yaklaşık 3-4 dakika süren ısınma dönemi ile başlamaktadır. Bu dönem deneklerin sisteme alışması, heyecan veya stres durumları varsa giderilmesi, kas ve metabolik sistemlerin sonraki protokole hazırlanması için önemlidir. Bu dönemin dikkate alınmaması durumunda devamında uygulanacak olan protokolün ve bu protokolle elde edilecek pulmoner ve akciğer gaz değişim değerlerinin güvenilirliğini azaltmaktadır (15).

Isınma dönemini takiben (deneklerin stabil olduğu gözlemlendikten sonra) düzenli aralıklarla yük, direnç veya koşu hızı artırılır. İş gücündeki düzenli artış bireylerin egzersizi devam ettiremeyeceği seviyeye kadar (yani maksimal egzersiz kapasitelerine) sürdürülür. Bu döneme yükleme dönemi denilmektedir (16). İş gücünün düzenli arttığı egzersiz testinin bu döneminde vücudun metabolik ihtiyacı istirahat seviyesinden bireyin tolere edebileceği en yüksek iş seviyesi olan maksimal egzersiz kapasitesine kadar değişimler göstermektedir (17, 18).

Yükleme dönemini takiben egzersiz iş gücü tekrar çok düşük seviyelere alınarak iyileşme dönemi ile test sonlandırılır.



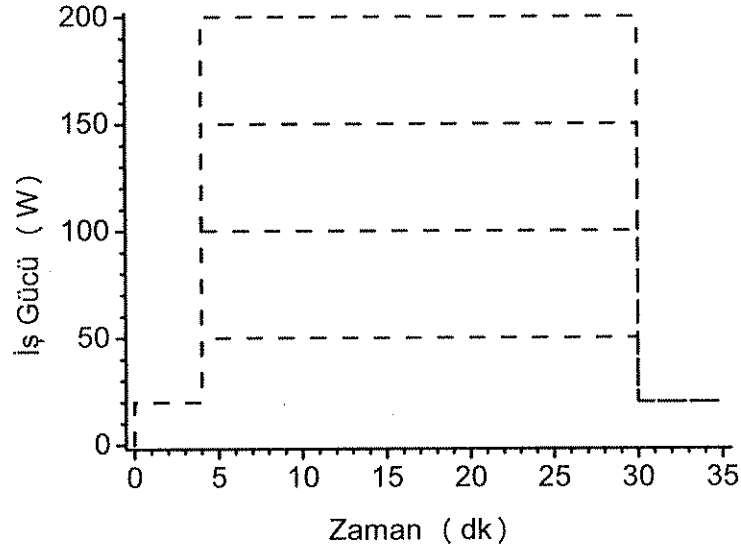
Şekil 3.4: İş gücünün dakikada kademeli olarak (incremental) (üst) ve rampa şeklinde (rapid incremental) (alt) arttığı egzersiz test protokolleri. a, b, c iş yükü artışı sırası ile dakikada 30, 15 ve 5 Watt'tır (kaynak 2'den alınmıştır) (2).

Artan yüke karşı yapılan egzersiz tipinde uygulanacak iş gücünün şiddeti ve süresi bireylere ve amaca göre farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.4) (19, 20). Normal bireylere 15W/dk, sporculara 30W/dk, aerobik fitnessi düşük olan bireylere 5W/dk veya altı iş güçleri uygulanabileceği gibi iki dakikada artış veya üç dakikada artış veya dört dakikada artış gibi egzersiz protokolleri de uygulanabilir.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersizin başlangıcında enerji ihtiyacı aerobik metabolizma tarafından sağlanmaktadır. Belirli bir iş gücünün üstünde ise (maksimal iş kapasitesinin yaklaşık %40-%65 arasında) artan enerji ihtiyacı anaerobik metabolizma tarafından sağlanmaya başlanır (4, 16).

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

Sabit yük egzersiz testleri, klinik ve spor bilimlerinde belli bir iş gücünün uygulanmasına bağlı olarak o iş gücünde sistemlerin verdiği cevapların değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Sabit yük egzersiz testlerinde egzersiz şiddeti ve süresi ulaşmak istenen hedefe göre değişiklik göstermektedir. Sabit yük egzersiz testleri, ayrıca hasta ve sporculara tedavi ve aerobik fitness artırıcı antrenman programı olarak da kullanılmaktadır (21). Sabit yüke karşı yapılan egzersiz testi, ısınma dönemi ile başlayıp yük, direnç veya koşu hızının bir kez ve aniden artırılması ile önceden belirlenen bir süre (3, 5, 10, 30 vs. dk) boyunca yapılan testtir. Bu test yine iyileşme dönemi ile sonlandırılır.



Şekil 3.5: Farklı iş gücü şiddetinde uygulanan sabit yük egzersiz testleri.

Sabit yük egzersiz testi protokolü ile bireylere istenilen oranda yük bindirilerek organ ve sistemlerinin verdiği cevaplar değerlendirilir (Şekil 3.5) (2).

3.2. Kardiyopulmoner egzersiz Testleri ile Aerobik Fitnes Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Önemli Kriterler: Anaerobik Eşik (AE), Kritik Güç (KG), Maksimal O₂ Alımı (VO₂max).

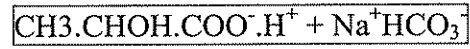
3.2.1. Anaerobik Eşik

Anaerobik eşik (AE) terimi ilk defa 1964 yılında Wasserman ve McIlroy tarafından ortaya konulmuştur (22). Araştırmacılar uyguladıkları egzersiz testi sırasında, arteriyel kan laktat seviyesinin belirli bir noktaya kadar artmadığı ve belirli bir seviyenin üzerinde artmaya başladığını göstermişlerdir (2). Egzersiz sırasında arteriyel kan laktat konsantrasyonunda sistematik artışın başladığı (yani egzersiz şiddetine bağlı olarak metabolizmanın aerobikten anaerobik

metabolizmaya daha fazla yoğunlaşmasını gerektiren geçişi gösteren) nokta AE olarak kabul edilmektedir (2, 23, 24).

Egzersiz sırasında arteriyel kan laktat seviyesinde artışın başladığı bu önemli egzersiz bölgesine AE, laktat eşiği, solunum eşiği, gaz değişim eşiği, operasyonel AE, yorgunluk eşiği gibi farklı isimlerde kullanılmaktadır (25-27).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında, metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçiş göstermesiyle artmaya başlayan kan-laktat seviyesi bikarbonat tampon sistemi tarafından engellenmeye çalışılmakta bunun sonucunda ise ekstra CO₂ açığa çıkmaktadır; böylece AE indirekt olarak solunum ve gaz değişim parametrelerinden kolaylıkla belirlenebilmektedir (Şekil 3.6).



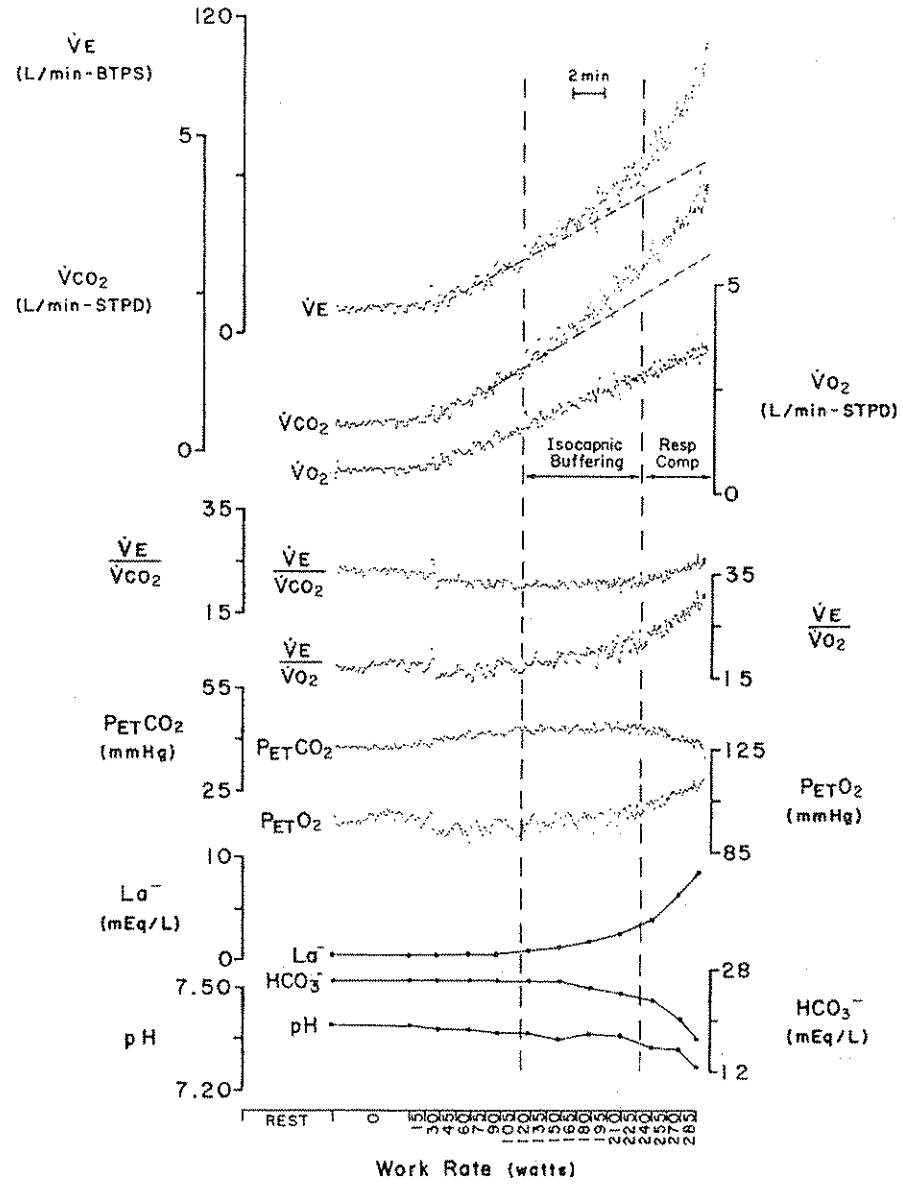
(Laktik Asit + Sodyum Bikarbonat)



(Sodyum Laktat + Karbonik Asit)



(Su + Karbondioksit)



Şekil 3.6: Bisiklet ergometre ile yapılan egzersiz sırasında: arteriyel kanda bikarbonat, laktat ve pH belirlenmiştir. Ayrıca O_2 alımı ($\dot{V}_{O_2}$), CO_2 atımı ($\dot{V}_{CO_2}$), $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$, $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$, P_{ETCO_2} , P_{ETO_2} , dakika ventilasyonu solunumdan solunuma ölçülmüştür. Laktatın artmaya başladığı nokta laktat eşikini gösterir. $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ arttığında HCO_3^- azalması olur. $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ artışı olmaksızın bazı oranlarda $\dot{V}_E$ ve $\dot{V}_{CO_2}$ paralel arttığında izokapnik tamponlanma dönemi meydana gelir ve P_{ETCO_2} sabit tutulur. İzokapnik tamponlama dönminden sonra P_{ETCO_2} azalır ve $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ artar. Egzersizin metabolik asidozdan solunum kompanzasyonuna yansıdığını gösterir (kaynak 2'den alınmıştır) (2).

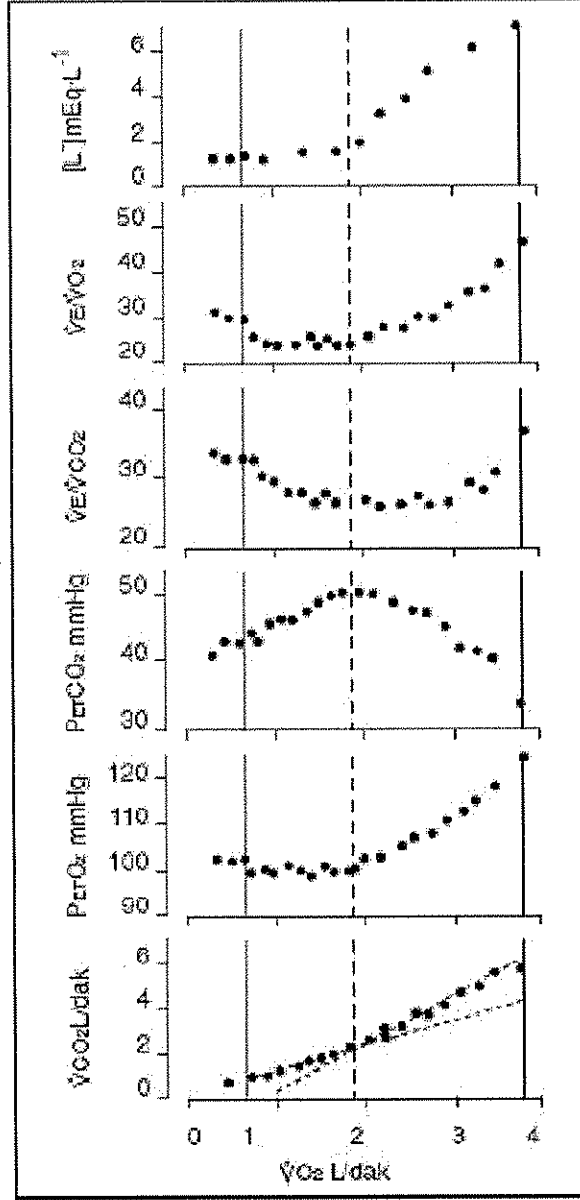
Anaerobik metabolizmanın aktifleşmesi sonucunda ortaya çıkan laktik asidin bikarbonat tampon sistemi tarafından CO_2 ve H_2O 'ya dönüşümü yukarıda şematize edilmiştir. Bikarbonat tampon sistemi ile üretilen "metabolik olmayan CO_2 " aerobik metabolizmadan gelen metabolik CO_2 'ye ilave olur ve toplam CO_2 miktarı aniden artar. Bu toplamda artan CO_2 'nin solunumu uyarmasıyla AE noktasında solunumda da hızlı bir artışa neden olmaktadır.

3.2.1.1. Anaerobik Eşiğin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

AE'nin indirekt hesaplanmasında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar: solunumda non-linear artışın başladığı nokta;

- CO_2 atılımının (VCO_2) non-linear arttığı nokta;
- solunum katsayısının (RQ) 1.00 üzerine çıktığı nokta;
- solunum O_2 eşitliğinin ($\text{V}_\text{E}/\text{VO}_2$) hızlandığı nokta;
- tidal solunum parsiyel O_2 basıncının (PETO_2) artmaya başladığı nokta (Şekil 3.7) (2, 22).

İlave olarak koşu şiddeti ile kalp atımı arasındaki ilişkiye dayanan Conconi testi, kan-laktat seviyesini ölçmeden veya herhangi bir kan örneği almadan AE'i tespit edebilen bir metottur (28). Bu metodda egzersiz sırasında kalp atım hızının uygulanan iş gücüne olan paralelliğinin bozulmasının tespiti ile AE belirlenmektedir.



Şekil 3.7: AE hesaplamak için kullanılan ölçütler. (L-): arter kan laktat düzeyi. $P_{ET}CO_2$: tidal sonu parsiyel CO_2 basıncı, $P_{ET}O_2$: tidal sonu parsiyel O_2 basıncı, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$: O_2 alımı için solunum eşitliği, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$: CO_2 atılımı için solunum eşitliği, dikey kesik çizgiler AE'i ve son panel ise V- slope metodunu göstermektedir (kaynak 29'dan alınmıştır) (29).

3.2.1.2. AE Kullanım Alanları

Egzersiz sırasında metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçtiği bölgeyi tanımlayan AE, ilk tanımlandığından bu yana popüleritesini kaybetmeden sürekli gelişerek günümüze kadar gelmiştir (7). AE, klinik ve spor bilimlerinde yaygın olarak çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları:

- Bireylerin aerobik ve anaerobik kapasitelerinin değerlendirilmesinde (2, 30),
- Hasta ve sporculara tedavi ve antrenman amaçlı iş gücü olarak uygulanmasında (21, 31),
- Egzersiz yoğunluğunun hafif, orta, ağır ve şiddetli olarak sınıflandırılmasında (32),
- Özellikle ağır ameliyat sonrası ortaya çıkacak olan ölüm riskinin belirlenerek ameliyatların başarı oranının artırılması amacıyla kullanılmaktadır (33, 34).

3.2.2. Kritik Güç

KG, bireyin yorulmadan uzun süre gidebileceği en yüksek aerobik nokta veya aerobik enerji sistemleri kullanılarak gidilebilecek en üst nokta olarak adlandırılmaktadır (35, 36).

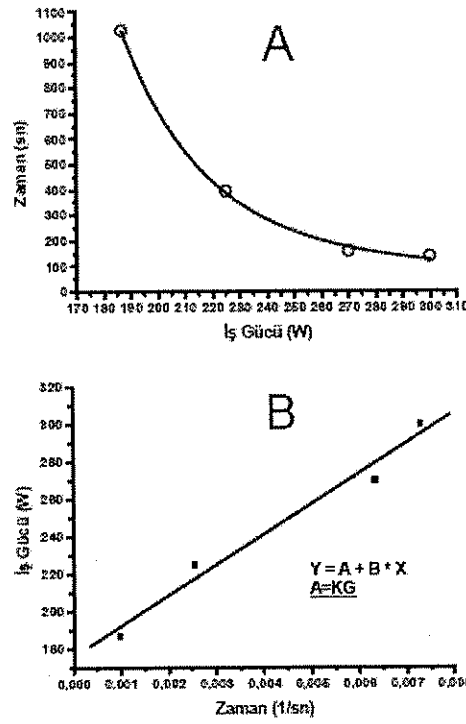
KG terimi, uygulanan güç ve bu gücün devam ettirilebilme süresi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Bu ilişkinin hiperbolik olduğu 1965 yılında Monod ve Scherrer tarafından ilk defa gösterilmiştir (36). KG, performansların belirlenmesinde kullanılmakla birlikte aerobik ve anaerobik kapasitelerin

belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Bireylerin uygun egzersiz protokollerinin hazırlanması için KG önemli fayda sağlamaktadır (37-39).

KG'deki iş gücü etkili biçimde tedavi ve rehabilitasyon amacı güderek kronik obstriktif akciğer hastalarında ve sporcularda anaerobik kapasite belirlenmesinde de kullanılmıştır (40). Ek olarak aerobik egzersiz sonrası oluşan fizyolojik değişikliklerin tespitinde de etkinliğini göstermiştir. KG hesaplamada basit bir kronometre ve bisiklet ergometre yeterli olmaktadır. KG değerinin saptanması çok kısa süreli ve yoğun 2-7 arasındaki farklı şiddetteki sabit yük egzersiz testleriyle de hesaplanabilir (35, 38). İş-zaman veya güç-zaman arasındaki ilişki ile hesaplanmaktadır. Yapılan birçok çalışmada KG 3 farklı matematiksel modelle hesaplanabilmektedir;

- 1- Lineer model olan güç/zaman modeli
- 2- İş-zaman modeli
- 3- Non-lineer model

Uygulanan egzersiz yükü ve yüke karşı devamlılık cevabı KG'yi göstermektedir (35, 36, 41) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: (A) Non-lineer güç-zaman grafiği. (B) Non-lineer güç-zaman grafiği lineer regrasyon analiziyle lineer güç-zaman formuna dönüştürülmüş şekli. KG'ün bulunması.

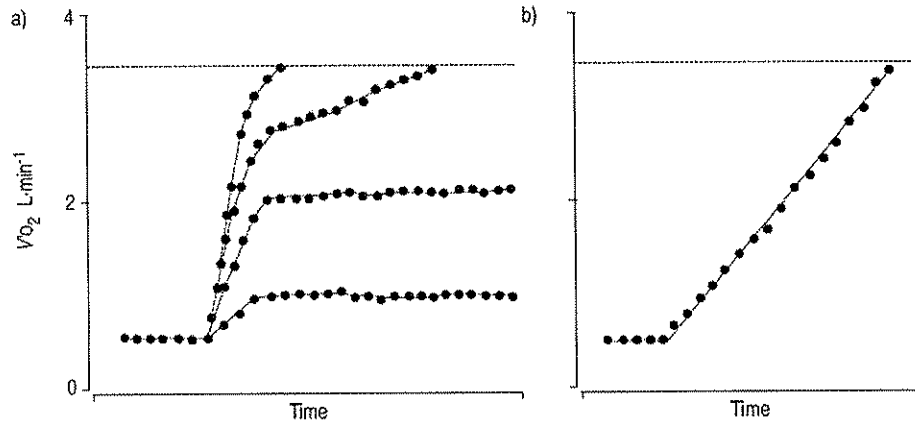
3.2.3. Maksimal O₂ Alımı (VO₂max)

Egzersiz sırasında organ ve dokularının alabileceği ve kullanabileceği en fazla O₂ alım hacmini tanımlanmaktadır (2, 3). Maksimal O₂ alım ölçümü, maksimal kardiyak output ve arteriyel venöz O₂ farkı ile belirlenmektedir. Dokulara gönderilen kanın dokular tarafından alınıp kullanılan miktarını göstermektedir (42, 43). VO₂max ölçümü genellikle; L/dak (dakikada kullanılan O₂ litre olarak miktarı) yada ml/dak/kg (vücut ağırlığının kilogramı başına dakikadaki mililitre olarak miktarı) olarak değerlendirilmektedir (44).

Egzersiz sırasında solunum işi sınırlı bir fonksiyondur. Kaslarda maksimal O₂ alım hızı VO₂max olarak tanımlanmıştır. Bunun üzerinde ilave enerji ihtiyacı anaerobik enerji metabolizması tarafından sağlanmaktadır. VO₂max antrenmanlı

bireylerde normal bireylere göre daha yüksek olup antrenman ile daha da artar (45). İlave olarak atmosferden iskelet kasındaki mitokondrialara O_2 taşınması linear bir karakter gösterir. Solunum basamakları, kas hücresi mitokondriasındaki solunum zinciri enzimleri ile akciğerlerden O_2 sağlanması arasındadır (45). O_2 alımı (VO_2), kardiyak output (CO) ve arteriyel ile venöz O_2 farkı ile hesaplanabilir.

$$VO_2 = CO \times (\text{arteriyel } O_2 - \text{venöz } O_2)$$



Şekil 3.9: O_2 alımının cevabı: a) sabit yük egzersiz testi sırasında orta şiddetteki egzersizden ağır şiddetteki egzersize geçiş b) artan (ramp) egzersiz testi. Protokoller (a ve b) arasında O_2 alımı farklı değildir. O_2 alım cevabında platonun açıklaması yoktur (maksimum O_2 alımı) sabit kararlı durumda O_2 alımı orta yoğunluktaki sabit yük egzersiz testinde gözlemlenmiştir. (kaynak 2'den alınmıştır) (2).

Normal egzersiz sırasında VO_{2max} 'ın %75'i merkezi, O_2 taşınmasının geri kalan %25 i ise periferel faktörler tarafından belirlenmektedir (45).

Üst düzey bir VO_{2max} ; yüksek şiddet ve uzun süreli egzersizleri desteklemeye, yoğun bir egzersizden sonra çabuk toparlanmaya, aşırı yorgunluk

göstermeksizin daha aktif olmaya, önemli antrenman yüklerini desteklemeye, uzun süreli yarışmalarda daha başarılı olmaya olanak sağlar (Şekil 3.9).

3.3. Vücut Enerji Kaynakları

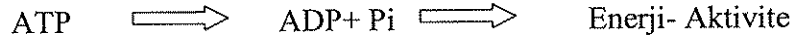
Egzersiz testleri sırasında bireylere uygulanan iş gücünün şiddeti, vücudun artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanma yolları üzerinde durulması gereken önemli noktalar. Hareketin devamı için veya organ ve sistemlerin çalışması için enerji mutlak gereklidir. Diğer önemli nokta ise egzersiz sırasında sağlanan bu enerjinin hangi kaynaklardan ve ne oranda elde edildiğidir. Egzersiz sırasında enerji ihtiyacının belirlenmeye çalışılması son 50 yıldan beri araştırılmakta olan önemli bir konudur (46).

3.3.1. İnsan İskelet Kasında Enerji Üretiminin Kimyası

İnsan vücudundaki tüm enerjiler, karbonhidrat, yağ ve protein gibi alınan besinlerin yıkılmasıyla elde edilmektedir (47). Bu alınan maddelerin yıkılmasının son ürünü olarak ATP üretilmektedir. Bu da vücudun geçerli enerji kaynağıdır. ATP, kas çalışması ve besinlerin sindirimi de dahil olmak üzere vücuttaki tüm biyokimyasal olayların gerçekleşmesi için gereken enerjiyi sağlamaktadır. Egzersiz sırasında kas gücü performansının kapasitesi yeterli enerji sağlanmasına bağlı olup bu da aktivitenin süresi ve ihtiyacı ile yakından ilişkilidir.

$$\text{İş} = \text{uygulanan güç} \times \text{alınan mesafe}$$

Enerji kimyasal olarak ATP'nin fosfat alt grupları arasında bulunmakta ve ATPaz enziminin hidrolizi ile kırılarak açığa çıkmaktadır.



ATP kırılma basamağı ATP turnover olarak adlandırılmaktadır. ATP molekülünün stabil olmayan molekülü olan fosfat grupları su ile hidrolize olmakta inorganik fosfat molekülü (Pi) ve adenzindifosfat (ADP) meydana gelmektedir. Her bir ATP molekülü için salınan enerji yaklaşık olarak 38-42 kjoule veya 9-10 kkal'dir (48).

Vücut bu enerjiyi serbest Pi gruplarının başka moleküle transfer olmasında kullanır. Bu molekül başka bir serbest fosfat grubuna katıldığında buna fosforilizasyon adı verilmektedir. Vücuttaki bütün kas işleri fosforillenmiş moleküllere bağlıdır (48). Vücut performansı sırasında ATP'nin sürekli olarak sağlanması gerekir çünkü ATP'nin depolanması sınırlıdır ve hızlı bir şekilde erkenden kullanılmaktadır bu nedenle ATP tekrar üretilmelidir. ADP ve inorganik kombinasyonunun yenilenmesiyle ATP yenilenebilir. ADP ve Pi kombinasyonu ile ATP'nin tekrar üretilmesini sağlayan metabolik süreçlere ATP resentezi denilmektedir.



ATP fosfokreatin (PCr) ve ADP kombinasyonu ile de tekrar üretilir.



Bu reaksiyon vücutta çok hızlı şekilde gerçekleşmektedir. ATP'nin tekrar üretimi için enerji gerekmektedir. Bu enerjiyi ise insan metabolik enerji sistemlerindeki karbonhidrat ve yağ gibi besin moleküllerinin yıkılmasıyla sağlanmaktadır.

3.4. Enerji Sistemleri

ATP üretimi ve sentezi birbirinden farklı 3 enerji sistemi tarafından yapılmaktadır. Bu enerji sistemleri:

- 1) Yüksek enerji fosfat sistemi
- 2) Anaerobik glikolitik sistem
- 3) Aerobik oksidatif sistem

Bu enerji sistemleri, kas kontraksiyonu şiddetine ve enerji üretimi için O_2 varlığına bağlı olarak aerobik veya anaerobik olarak dizayn edilir. Yüksek enerjili fosfat ve anaerobik glikolitik sistemler O_2 ye ihtiyaç duymazlar. Aerobik oksidatif sistem ise enerji üretiminde O_2 ye ihtiyaç duymaktadır. Bu 3 farklı enerji sistemi insan fizyolojisinde kas aktivitesi için gerekli enerjinin üretimi için önemlidir.

3.4.1. Yüksek Enerji Fosfat Sistemi (Fosfokreatin PCr):

Yüksek enerji fosfat sistemi (fosfojen, anaerobik alaktik sistem, fosfokreatin olarak da bilinir) enerji üretiminde substrat kullanımıyla karakterizedir. Bu sistemin yüksek yoğunluktaki kas hareketleri için enerji sağlama süresi çeşitli kaynaklarda rakamsal olarak farklılık gösterse de (6-8 sn, 8-15sn v.b) yüksek yoğunluktaki kas hareketinin ilk 1-30 saniyelerinde enerji sağlamaktadır. Yüksek yoğunluktaki egzersizin başlangıç evresinde ATP, ATPaz

enzimi tarafından parçalanmakta ve fosfokreatin ise kreatinkinaz tarafından parçalanmakta açığa çıkan inorganik fosfat ise ATP'nin tekrar sentezlenmesinde kullanılmaktadır (49). Bir çok kaynakta sedanter ve antrenmanlı bireylerde kısa süreli enerji üretimi farklılık göstermekle birlikte ortalama değer normal sedanter bireylerde 2.4 mmol/kg/sn; antrenmanlı bireylerde 10-15 mmol/kg/sn olarak değerlendirilmiştir. Yüksek enerji fosfat sistemi intramusküler ATP depoları tükenene kadar enerji üretmeye devam eder (50, 51). Bunu takiben lokal olarak fosfokreatin sağlandığı müddetçe ADP'den ATP resentezine devam eder. Toplam kas ATP deposu (3.5-7.5 mmol/kg) ve kreatin fosfat deposu (16-28 mmol/kj) az olduğu için yüksek yoğunluktaki iş güçlerinde kolaylıkla boşaltılabilmektedir (50, 51). Bu nedenle kastaki yüksek enerji fosfat miktarı bireylerin kısa sürede iş yapabilme kapasitelerini etkileyen önemli bir faktördür ve güç üretimi de buna bağlı olarak azalır. Yüksek güç üretimi gerektiren aktivitelerde kısa sürede iş yapılmasını sağlamak için yüksek oranda enerji üretimine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$\text{Güç} = \text{İş} / \text{Zaman}$$

Antrenman kasta depolanmış olan ATP ve PCr miktarını değiştirebilir. Enerjinin acil durumlarda kullanılabilmesi için depolanabilmesi bu enerji kaynağının önemli bir avantajıdır. Buna ilave olarak ATP ve PCr kaynağının büyük bir enerji kapasitesine sahip olması ikinci bir avantajdır. PCr kasta depolu olan, yüksek enerji bağı içeren kimyasal bir bileşiktir. ATP gibi parçalandığında önemli miktarda enerji açığa çıkarır (52).

ATP ve CP çok hızlı fakat çok kısıtlı

Glikojen $\Rightarrow$ Glikoz $\Rightarrow$ Laktat

Hızlı, O₂'siz, Kısıtlı

Glikojen $\Rightarrow$ Glikoz $\Rightarrow$ CO₂

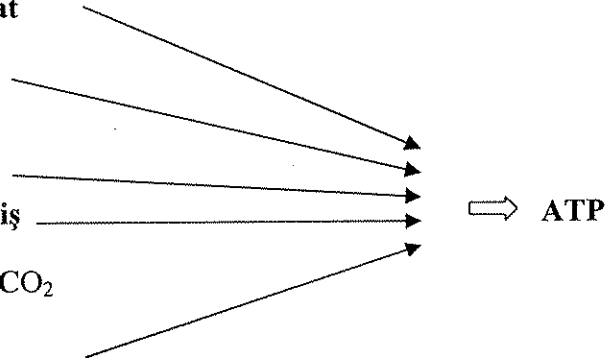
Yavaş, O₂'li, Glikojen ile Sınırlı iş

Trigliserit $\Rightarrow$ Yağ Asitleri $\Rightarrow$ CO₂

Yavaş, Fazla O₂, Limitsiz

Kas Proteinini $\Rightarrow$ Amino Asitler $\Rightarrow$ CO₂

Nadiren toplam enerji ihtiyacının > %5-7'i, kas kitlesi kaybı



Şekil 3.10: Hücrenin enerji üretebilmesi için gerekli olan ATP'nin üretim şekilleri (kaynak 53'ten alınmıştır) (53).

3.4.2. Anaerobik Glikolitik Sistem:

Vücut enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan diğer bir enerji üretim kaynağı ise anaerobik enerji üretim sistemidir. Anaerobik enerji sistemi, çalışma için gereken enerjinin tamamen O₂'siz ortamda sağlanmasını temin eden sistemdir (54).

3.4.2.1. Laktik Anaerobik Enerji Sistemi (Laktik Asit Sistemi)

Karbonhidratlar, O₂ siz bir ortamda glikolitik enzimlerin (fosfofruktokinaz enziminin katalizlediği fruktoz 1,6 bifosfattan gliseraldehit 3-fosfat ve dihidroksiaseton fosfat) etkisi ile glikolize uğrarlar (55). Genel anlamda anaerobik glikoliz glikojenin anaerobik yolla parçalanmasıdır. Bu yolla enerji üretilirken yağlar ve proteinler kullanılmaz sadece glikoz kullanılır. Kasta depo edilen glikojen glikoza parçalandıktan sonra glikozdan enerji oluşturulur (55). Glikoz

parçalanması ile iki pürivik asit molekülü oluşur (56, 57). Ortamda O_2 olmadığı için sitrik asit döngüsüne giremeyen pürivik asit laktik asite dönüşür. Bu arada 3 mol ATP oluşur. Bu yolla ATP oluşturulurken son ürün olarak laktik asit çıkmasından dolayı bu sisteme laktik asit sistemi adı verilir (58).

Laktik anaerobik sistemin önemli özelliklerinden birisi de ATP moleküllerini mitokondrideki oksidatif mekanizmadan 2,5 kat daha hızlı oluşturmasıdır (59, 60). Enerji, ilk olarak ATP-PCr sistemince ve bundan sonraki 30 saniyeyi aşan periyotlar boyunca laktik asit sistemince karşılanır. Laktik asit sistemi, kas hücreleri ve karaciğerdeki glikojeni parçalara ayırarak, ADP+P'den ATP oluşturmak üzere enerjiyi serbest bırakır. Glikojenin parçalara ayrılması sırasında O_2 'nin yetersiz olması nedeniyle, yan ürün adı verilen laktik asit oluşur. Çok uzun süre, yüksek yoğunluklu bir etkinlikte kasta büyük miktarlarda laktik asit toplanıp yorgunluğa neden olur. Bu ise, fiziksel etkinliğin kesilmesine yol açar (61, 62).

Sistemin yenilenmesi için gerekli zamanı, bireyin laktik asidi vücuttan uzaklaştırma hızı belirler. Genellikle 20-30 dakikalık bir yarı zamanda başanlır. Laktik anaerobik enerji sistemin kullanıldığı maksimum bir yüklenmeden bir saat sonra bile bu sistemde tam bir yenilenme beklenmez.

30 saniye üstü ve 3 dakika altındaki yoğun egzersiz performansında, vücut enerji sistemi temel olarak anaerobik metabolizma ile karşılanmaktadır (48, 63). Metabolik olarak glikolizis ile enerji üretimi, iskelet kaslarının sitoplazmasında karbonhidrat katabolizması ile olmaktadır. Glikolizis sırasında kimyasal formdaki glikozu enzimler aracılığıyla O_2 kullanmadan yıktığı için anaerobik terimi kullanılmaktadır. Her bir glikoz molekülünün yıkımı sonunda 2 laktik asit

molekölü ve kas kontraksiyonunda kullanılacak olan 2 ATP molekülü üretilmektedir. Enerji üretimi yüksek olmasına karşın (1.6 mol/dk) bu sistem etkili değildir ve yalnızca her bir glikoz molekülünün kırılmasıyla 2 mol ATP üretilmektedir (51). Kaslarda biriken hidrojen iyonlarına bağlı olarak gelişen pH değişikliği glikolizis hızını etkileyen önemli bir enzim olan fosfofruktokinazı etkileyerek yorgunluğa neden olabilmektedir (64).

Laktik asit tip II kaslarında üretildiğinde aktif olarak kana transfer edilmekte bu da laktatın tekrar pürüvik aside metabolize edileceği tip I kaslarına alınmaktadır (65). Bu laktik asidin diğer kas liflerine transferi kas hücre yüzeyinde bulunan monokarboksilat laktat taşıyıcıları ile sağlanmaktadır. Özellikle laktik asidin kas dokusundan uzaklaştırılması, pürüvata dönüşmesi ve takip edilen basamaklarda pürüvatin krebs siklusuna alınması homeostazın sağlanmasında önemlidir.

3.4.3. Aerobik Oksidatif Sistem

Glikoz (karbonhidrat) + Yağ + Protein + O₂ → ATP

Ortamda yeterli miktarda O₂ bulunmasıyla karbonhidrat ve yağların su ve CO₂'ye kadar parçalanmasıyla enerji elde edilmesidir. Aerobik yoldaki ilk basamaklar anaerobik glikoliz ile aynıdır ve hücrenin sitoplazmasında gerçekleştirilir. Aerobik glikolizin diğer aşamaları hücrenin mitokondrisinde gerçekleştirilir (66).

Aerobik oksidatif enerji sistemi insan vücudundaki enerji sistemleri arasında çok önemli yere sahiptir; çünkü değişen aktiviteler için temel enerji

kaynağıdır (67). Yürüme, yüzmeye, ev işi, merdiven çıkma gibi günlük aktivitelerde oksidatif enerji sistemi temel olarak enerji sağlayan sistemdir. AE altındaki egzersiz yoğunluğunda aerobik sistemler genel enerji üretim kaynağıdır. Kan laktat seviyesi aerobik egzersiz sırasında artış göstermeyip düşük seviyelerde kalmaktadır (2-6mmol/L). Artan aktivitenin süresi arttığı zaman aerobik oksidatif sistemin toplam enerji üretimindeki oranı artmaktadır (68). Yoğun egzersizde iyi antrenmanlı birey O_2 tüketimini istirahat seviyesinin yirmi kat üzerine kadar artırır (45). Ağır egzersiz durumlarında iskelet kası hücrelerinin aerobik metabolizma için O_2 ihtiyacı artmaktadır. Vücuttaki O_2 'nin %90'ı kas hücresi içerisindeki mitokondria tarafından tüketilmektedir. Egzersiz kasları enerji ihtiyacı için yeterince mitokondriya sahiptir, mitokondrialara yeterince O_2 sağlanır, enzim veya ara ürünler krebs siklusu ve solunum zincirinde enerji akışının hızını sınırlamazlar; böylece enerji yolları mitokondriada sürekli ATP üretirler.

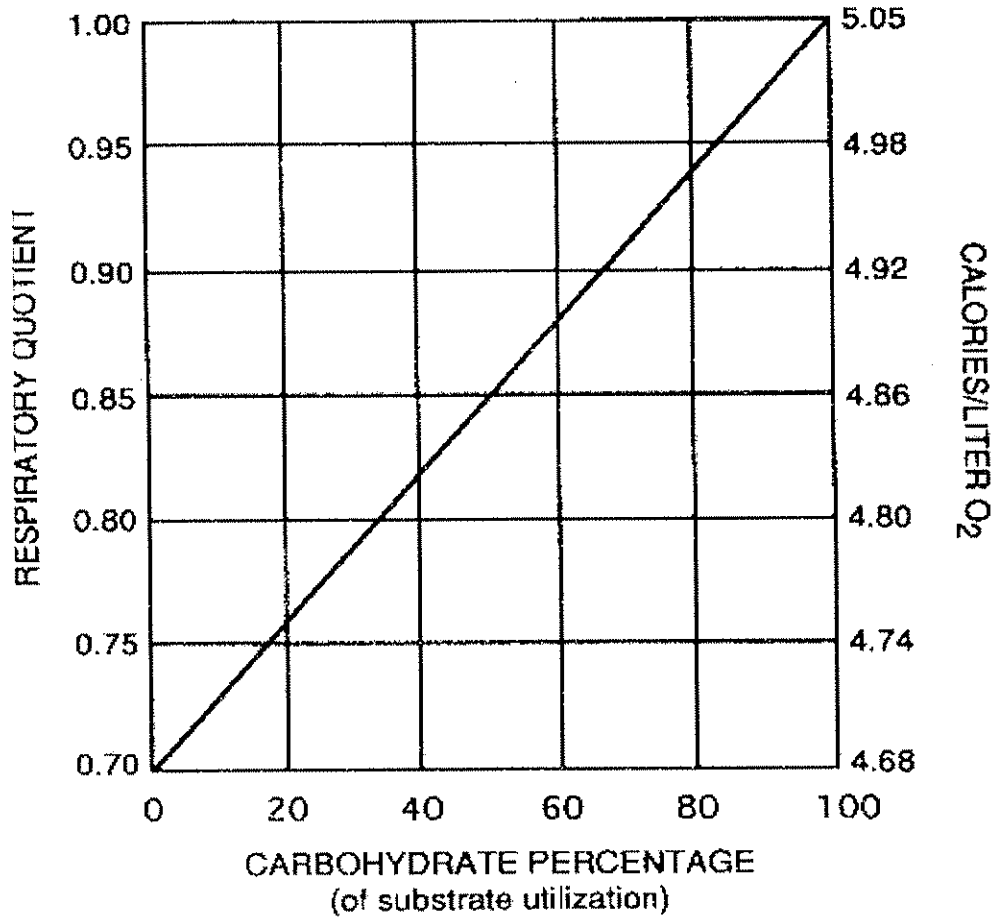
O_2 taşıma yolları akciğerler, dolaşım sistemi ve kaslar olmak üzere üç ana basamağı içerir. Solunum aerobik metabolizmanın ihtiyacına göre ayarlanmaktadır. ATP tüketimi arttıkça O_2 ihtiyacı da paralel olarak artış göstermektedir (45). Egzersiz sırasında artan O_2 transportu artan solunum kana O_2 geçiminde artış, artan kardiyak output, kanda O_2 taşınmasında hızlanma, kaslar tarafından O_2 alımında artış ve mitokondria tarafından O_2 alımındaki artış ile birliktedir.

Bu basamaklar ADP ve P_i 'nin kombinasyonunun O_2 varlığında biyokimyasal basamaklarla ATP sentezine neden olur. Hem karbonhidratlar (glikojen ve glikoz) hem de yağlar (trigliserit ve yağ asitleri) oksidatif

fosforilizasyonda kullanılan moleküllerdir (69). Bu enerji üretim sistemi yüksek derecede etkindir. Glikozun substrat olarak kullanıldığı metabolizma yeterli O₂ varlığında 36 ATP molekülü üretmektedir. Yağlar uzun süreli egzersizlerde gerekli olan enerjinin sağlanmasında önemli kaynaktır. 18 karbonlu yağ asitlerinin oksidasyonu ile 129 ATP molekülü üretilmektedir. Su ve CO₂ bu reaksiyonların son ürünüdür. Yağlar ideal enerji depolama molekülüdür (her bir gram yağ yaklaşık 9.4 kkal enerji depolamaktadır bu da karbonhidrat ve proteinlerin iki katına eşittir.

3.5. Enerji Kaynaklarının Hesaplanması (Solunum Katsayısı, Respiratory Quotient, 'RQ'):

VCO₂ ile VO₂ arasındaki gaz değişim oranı "R" veya "RER" olarak tanımlanmıştır. Egzersiz sırasında metabolik fonksiyonların dengeye ulaştığı "steady-state" durumunda R ile vücut enerji kullanımını gösteren solunum katsayısı "RQ" eşit olmaktadır. RQ, vücut enerji kullanım durumunu yansıtan (birim zamanda alınan O₂ ile birim zamanda atılan CO₂, $\Delta VCO_2 / \Delta VO_2$) önemli bir parametredir. RQ ölçümü için ağızdan konulacak düzen ile alınan ve verilen havadaki O₂ ve CO₂ arasındaki durumun değerlendirilmesi ile takibi kolayca yapılabilir (Şekil 3.11) (2, 70).



Şekil 3.11: Solunum katsayı ölçümü ile diyetteki karbonhidratın kullanım yüzdesi (kaynak 71'den alınmıştır) (71).

RQ değeri 1.0 ise vücut enerji kaynağının %100 karbonhidratlardan sağlandığını göstermektedir (Şekil 3.11) (71).

- $6 \text{ O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \gg 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + 36 \text{ ATP}$
- $\text{RQ} = 6 \text{ CO}_2 \div 6 \text{ O}_2 = 1.0$

RQ değeri 0.7 olduğu zaman ise vücut enerji kaynağının %100 yağlardan sağlandığının göstergesidir (Şekil 3.11) (71).

- $C_{16}H_{32}O_2 + 23 O_2 \gg 16 CO_2 + 16 H_2O + 129 ATP$
- $RQ = 16 CO_2 \div 23 O_2 = 0.7$

Vücut RQ değeri bireysel olarak farklılıklar göstermekle birlikte istirahatta yaklaşık 0.75 ile 0.85 aralığında bulunmaktadır. Bu ise vücut enerji kaynaklarının karışık olarak kullanıldığını göstermektedir. Proteinler için ise RQ değeri yaklaşık 0.8 civarındadır. Birçok kaynakta enerji kaynakları arasında proteinin önemli bir etkinliğinin olmadığı belirtilmektedir.

Egzersiz sırasında RQ değeri uygulanan egzersizin protokolüne (şiddet ve süre) göre değişiklik göstermektedir. Dokulardaki enerji kullanım durumunun solunum gazlarının takibi ile tespiti klinik ve spor bilimlerinde sık olarak kullanılmaktadır. Enerji alımı, üretimi, tüketimi ve bunlar arasındaki dengenin belirlenmesi günümüzde klinik ve spor bilimlerinin önemli konularından biridir.

Yüksek yoğunluktaki egzersiz sırasında iskelet kaslarında yağ kullanımını ayarlayan ve sınırlayan faktörler hala araştırma konusudur (72). Yapılan çalışmalarda progresif olarak artan egzersiz testlerinde istirahattten % 60 VO_{2max} seviyesine kadar yağ oksidasyonunda artışlar gösterilmiştir. Bu seviyenin üzerindeki egzersiz yoğunluğunda ise azalmalar bildirilmiştir (73, 74).

Bu çalışmada ulaşılması hedeflenen noktalar:

- 1) Egzersiz sırasında aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş noktası olan AE ve bireylerin yorulmadan gidebildikleri en st egzersiz seviyesini gösteren KG’te yapılan sabit yük egzersiz testlerinde vücut enerji kaynaklarının egzersize katılımlarının belirlenmesi.
- 2) Egzersiz sırasında karbonhidrat ve yağların kullanımlarının belirlenerek hangi egzersiz protokolünün bu enerji kaynaklarını daha verimli kullanıldığını bulmak.
- 3) Egzersiz sırasında enerji kaynaklarının kullanımındaki değişimin egzersizin süresi ile olan ilişkisini belirlemek.
- 4) Egzersiz yoğunluğu ile substrat kullanımı arasındaki ilişkinin belirlenerek klinik bilimlerinde özellikle göğüs hastalıkları, kardiyoloji ve obezite kliniklerinde hastalara teşhis ve tedavi amaçlı uygulanacak en ideal egzersiz protokolünün belirlenmesidir.

4. GEREÇ VE YÖNTEMLER

4.1. Deneklerin Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmaya 18-25 yaş arası 7 sağlıklı sedanter erkek denek gönüllülük ilkesine göre katılmıştır. Tüm deneklerin fiziksel özellikleri ölçülerek kaydedildi (Tablo 5.1). Egzersiz testleri esnasında oluşabilecek negatif durumlar (kas yorgunluğu, terleme, sıvı kaybı, çarpıntı, soluk alıp verme ve kalp atımı sayısı artışı) deneklere kapsamlı şekilde anlatıldı. Denekler "Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsanlar Üzerine Yapılacak Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı'ndan" alınan izin belgesi (20.06.2011-09/09-sayı:160) ve gönüllü olur formunu onayladıktan sonra egzersiz testine katıldılar.

Egzersiz testlerine katılacak olan deneklere uygulanan katılma kriterleri şunlardır:

- Egzersiz yapmalarına mani olacak şekilde zihinsel ve fiziksel bir engellerinin olmaması.
- Uyuşturucu madde, alkol, sigara ve sedatif ilaç kullanımı alışkanlığının bulunmaması
- Egzersiz yapmalarını engelleyici akut ve kronik herhangi bir hastalığının olmaması (alerji, hipertansiyon, diyabet, kardiyovasküler ve respiratuvar hastalıklar vb.)

Deneklerin vücut kompozisyonları, sabah aç karnına, ayaktan ayağa biyoelektrik analiz cihazı ile ölçülüp değerlendirildi. (Tanita, Body Composition Analyser, TBF-300 M) (75). Bu değerlendirme vücut yağ yüzdesi, vücut yağ oranı, yağsız vücut ağırlığı, total vücut su miktarı ile vücut kitle indeksini

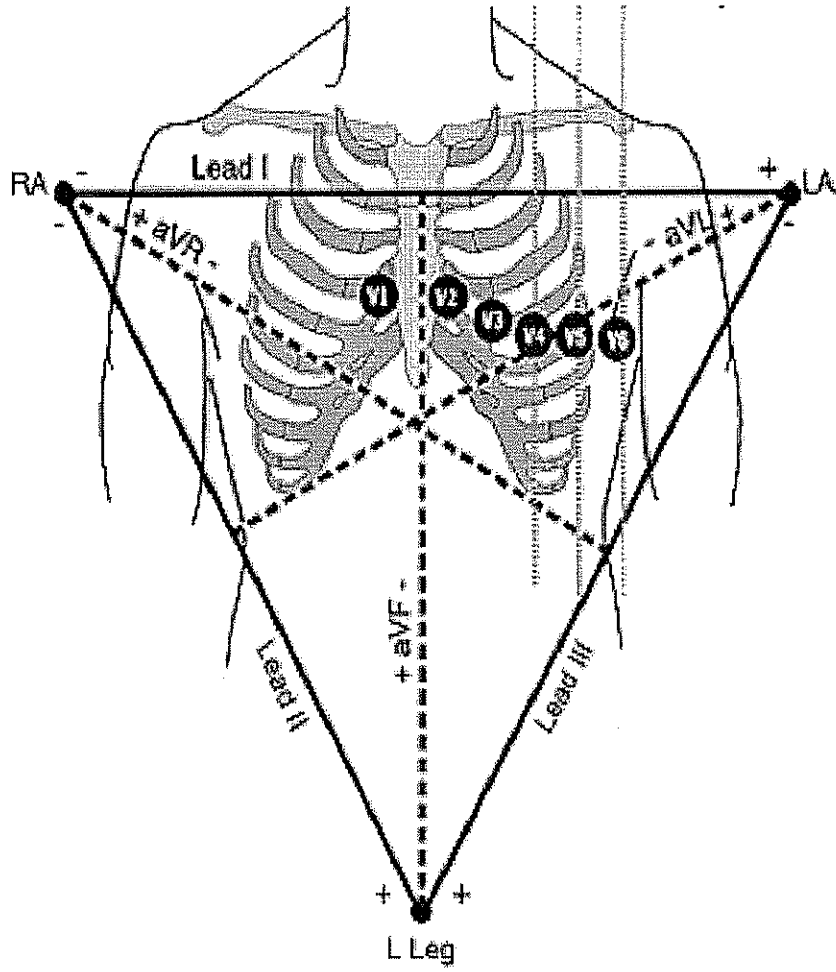
içermektedir. Bu vücut kompozisyon analiz cihazı elektrik akımının vücut dokularında farklı iletkenliğine bağlı olarak ölçümleri gerçekleştirmektedir.

4.2 Deneklerin Sabit Yük Egzersiz Testine Hazırlanması

Test sırasında ölçülecek olan akciğer gaz değişim parametrelerinde hatalı sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilecek test öncesi heyecan durumu ve buna bağlı vücut gaz depolarının değişiminin minimuma indirilmesi sağlandı (15). Bu nedenle çalışmaya başlamadan önce deneklerin heyecan faktörünün en aza indirilmesini sağlamak için laboratuvar ortamı tanıtılıp aletler gösterildi. Egzersiz çalışmaları, deneklere sabah 08:00-10:00 arasında aç karnına yada en az 2-3 saat öncesinden yemek yenilmemiş olacak şekilde uygulandı. Deneklere, çalışmalardan önce performanslarını etkileyecek sigara, sedatif ilaçlar, alkol, kafein, çay almamaları söylendi.

Egzersiz test protokollerinin yapılacağı laboratuvarın sıcaklığı, klima cihazı ile 20-22 C° aralığında sabit tutuldu. Tüm deneklerin bacak uzunluğu göz önünde bulundurularak her deneğe göre bisikletin sele yüksekliği ayarlandı. Laboratuvarın sıcaklığı, barometrik basıncı nem dengesi egzersiz ölçüm sistemine kaydedildi. Egzersiz testlerinde kullanılacak olan bisiklet ergometre, solunum ve metabolik ölçüm sistemleri kalibre edildi.

Egzersiz testi öncesinde 12 derivasyonlu EKG elektrotları deneklerin göğüs duvarına uygun şekilde yerleştirildi (Şekil 4.1). Deneklerin 12'li göğüs EKG'leri bilgisayar ekranından tüm çalışma boyunca takip edildi.



Şekil 4.1: Egzersiz testi sırasında deneklere rutin olarak uygulanan 12’li EKG elektrotlarının bağlantı yerleri.

4.3. Egzersiz Test Protokolleri

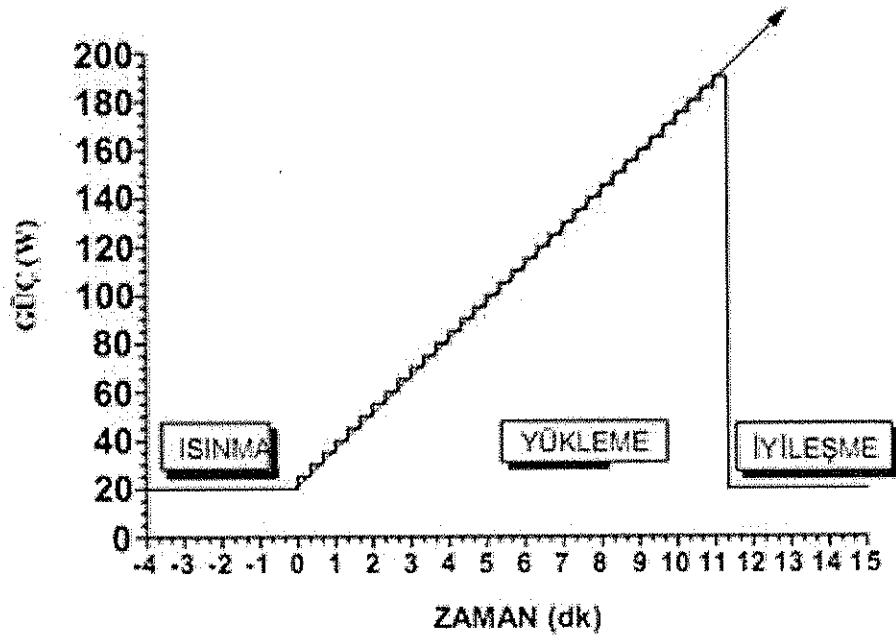
Bu çalışmada deneklere şiddeti düzenli olarak artan yük egzersiz testi (rapid incremental exercise test) ve iş gücünün artırılıp sabit tutulduğu sabit yük egzersiz (constant load exercise) testi olmak üzere 2 farklı tür egzersiz test programı uygulandı.

4.3.1. Şiddeti Düzenli Olarak Artan Egzersiz Testi (rapid incremental exercise test)

EKG elektrotlarının takılmasından ve deneğin dinlenim durumunda olduğundan emin olunduğunda egzersiz test protokolü minimum 3-4 dakikalık 20 W iş gücünde ısınma dönemi ile test başlatıldı (Şekil 4.2). Elektromanyetik bisiklet ergometrenin (VIASPRINT™ 150/200P) pedal çevirme hızı yaklaşık olarak 60 rpm'de sabit tutulmaya çalışıldı. Başlangıçtaki 20 W ısınma döneminin amacı, deneklerin kardiyak, metabolik, respiratuvar ve psikolojik durumlarının normal olup olmadığını tespit etmektir. Test öncesi heyecan durumunun yüksek oluşu, vücut gaz depolarını (özellikle CO₂) ve metabolizma durumunu değiştirmekte ve akciğer gaz değişim parametrelerine dayanan ölçümlerin yanlış olmasına neden olmaktadır (15). Böylece egzersiz testi sırasında akciğer solunum ve gaz değişim parametrelerinde oluşabilecek yanlış sonuçlardan özellikle de AE hesaplanmasındaki hatalardan kaçınmak için bu dönemde deneklerin heyecan veya anksiyete durumları varsa değerlendirilip düzeltildi (15).

Isınma dönemi sonunda deneklerin heyecanlı olmadığı normal durumda olduğu görüldükten sonra elektromanyetik bisiklet ergometrenin (VIAsprint™ 150/200P) pedal gücü bilgisayar kontrollü olarak iş gücü dakikada 15 W (5 W/20 sn) olarak artırılmaya başlandı. Pedal çevirme hızının olumsuz etkilerini önlemek için deneklerden yaklaşık 60 rpmde çevirmeleri istenildi (88). Deneklerin pedal çevirmeleri maksimum eforlarına ulaşınca kadar devam ettirildi. Denekler maksimum egzersiz seviyelerine ulaştıklarında yani pedal çevirmeye devam edemeyecek noktaya çıktıklarında bisiklet ergometrenin pedal gücü bilgisayar tarafından tekrar 20 W'a indirildi ve denekler minimum dört dakika süre ile pedal

çevirmeye devam ettirildiler. İyileşme döneminde, yükleme süresince vücutta biriken anaerobik metabolizma yan ürünlerinden laktik asidin ve CO_2 'nin vücuttan uzaklaştırılmasını sağlamak ve deneklerin durumunun normale doğru dönüp dönmediğine bakmaktır.



Şekil 4.2: Şiddeti düzenli şekilde artan yüke karşı yapılan egzersiz test protokolünde -4 ve 0 dakikalar arası 20 W'taki ısınma dönemini gösterir. 0'dan itibaren artan (incremental) dönem başlar ve yük dakikada 15 W (5 W/ 20 sn) kontrollü olarak artırıldı. Yükleme dönemi sonunda iyileşme dönemi başlangıcında iş gücü tekrar 20 W'a düşürüldü.

Bu şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi ile bireylerin maksimal efor kapasiteleri (W_{max} , W), aerobik ve anaerobik iş kapasiteleri (AE) belirlendi (16).

Aerobik ve anaerobik metabolizma değişim bölgesini tanımlayan AE:

- a) V-slope tekniği ile yani egzersiz sırasında tüketilen O_2 ile üretilen CO_2 (VCO_2/VO_2) ilişkisi ile (76) (Şekil 5.1).

b) diğer akciğer gaz değişim parametreleri yani O_2 için solunum eşitliği (V_E/VO_2), CO_2 için solunum eşitliği (V_E/VCO_2), tidal sonu parsiyel O_2 basıncı ($PETO_2$ mmHg) ve tidal sonu parsiyel CO_2 basıncı ($PETCO_2$ mmHg) kriterleri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (2, 76) (Şekil 5.1).

Deneklerin solunum kompanzasyon noktasındaki (SKN) iş gücü değeri CO_2 için solunum eşitliği (V_E/VCO_2) ve tidal sonu parsiyel CO_2 basıncı ($PETCO_2$ mmHg) kriterleri kullanılarak indirekt olarak hesaplandı (2, 76) (Şekil 5.1).

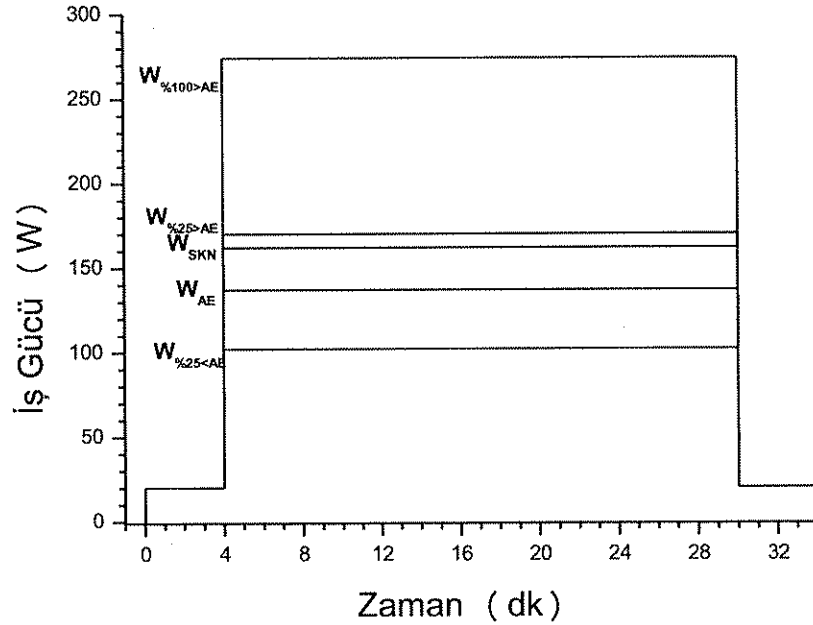
4.3.2. Sabit Yük Egzersiz Testi

Denekler şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testini takiben farklı günlerde 5 tane sabit yük egzersiz testine katıldılar (Şekil 4.3). Bu testlerde uygulanan iş gücü şiddetleri:

- 1) Anaerobik eşiğin %25 altına denk gelen iş gücü ($\%25 < W_{AE}$)
- 2) Anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE})
- 3) SKN deki iş gücü (W_{SKN})
- 4) Anaerobik eşiğin %25 üstüne denk gelen iş gücü ($\%25 > W_{AE}$)
- 5) Anaerobik eşiğin %100 üstüne ($\%100 > W_{AE}$) denk gelen iş güçleri kullanıldı.

Sabit yük egzersiz testleri, 20 W iş gücünde ısınma dönemiyle başladı ve yaklaşık 4 dakika sürdürüldü. Bir önceki test protokolünde bahsedilen ısınma dönemi uygunluk kriterleri burada göz önünde bulunduruldu. Bu ısınma dönemini takiben iş gücü bilgisayar kontrolünde olarak aniden uygulanacak olan iş gücüne kadar artırılarak teste devam edildi. Deneklere uygulanan $\%25 < W_{AE}$, W_{AE} , W_{SKN} ,

$\%25 > W_{AE}$ ve $\%100 > W_{AE}$ iş güçlerinde gidebilecekleri kadar egzersiz devam ettirildi. Burada ulaşmaları hedeflenen süre en fazla 30 dakikadır.



Şekil 4.3: deneklere uygulanan sabit yük egzersiz test protokolleri anaerobik eşik $\%25$ altına denk gelen iş gücü ($W_{\%25 < W_{AE}}$) anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), SKN'deki iş gücü (W_{SKN}), anaerobik eşik $\%25$ üstüne denk gelen iş gücü ($\%25 > W_{AE}$) ve anaerobik eşik $\%100$ üstüne ($\%100 > W_{AE}$) denk gelen iş güçleri kullanıldı.

Egzersiz testleri sırasında deneklerin kardiyak parametreleri, 12'li göğüs elektrotları kullanılarak EKG'leri (Nihon Kohden BSM-230) takip edildi (Şekil 4.1). Akciğer gaz değişim parametreleri ise metabolik gaz ölçüm cihazı ile solunumdan solunuma yapıldı (Master Screen CPX, Germany). Solunum parametreleri ise turbin volümmetre ile ölçülerek solunumdan-solunuma hesaplama ile değerlendirildi.

Egzersiz sırasında bireylerin metabolik durumlarının takibi solunumdan solunuma $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$ ilişkisi (Respiratory Quotient, solunum katsayısı, RQ) kullanılarak yapıldı.

4.3.3. Kardiyak, Respiratuvar ve Metabolik Ölçümler

Egzersiz Laboratuvarında yapılan egzersiz testleri, metabolik gaz ölçüm cihazı (Master Screen CPX, Germany) kullanılarak yapıldı. Cihazın teknik özellikleri (Tablo 4.1) de gösterilmiştir. Egzersiz testleri esnasında deneklerin metabolik değişimleri ve gaz değişimleri solunumdan solunuma (breath by breath) hesaplandı. Egzersiz testi esnasında deneklerin solunum parametrelerinin ölçülmesinde düşük ağırlıklı (45 gr) dijital volüm sensörü (TripleVVolume Sensor) kullanıldı. Teknik özelliği; düşük dirençli (<0.1 kPa/L/sn, 15 L/sn), düşük ölü boşluklu (30 ml), bir kerede 0-10 L kapasiteli, akımı 0-15 L/sn, etkinliği 50 ml veya % 2, ve 0.07 L/sn veya % 3 ve rezolüsyon 3 ml'dir. Denekler egzersiz sırasında düşük dirençli tek yönlü ağızlıktan nefes almaları sağlanarak ölçümleri yapıldı. Bu sistemde kullanılan O_2 analizörünün (elektrokimyasal prensip) yanıt süresi 80 ms , ölçüm gücü %0.01, etkinliği %0.05 tir. CO_2 'analizörü ısı iletkenliği (thermoconductivity) tipinde olup ölçüm aralığı %0-10, ölçüm gücü %0.005, etkinliği 0.05, ölçüm süresi 80 ms dir. Her test öncesinde cihazların gaz ve ventilasyon kalibrasyonları yapıldı.

4.4. İstatiksel Analiz

Çalışma sırasında elde edilen değerler ortalama $\pm$ SD olarak hesaplandı. AE'nin %25 altı, AE'de, SKN'de, AE'nin %25 üstü ve %100 AE üstü sabit yük egzersiz testlerinde ve artan yüke karşı egzersiz testlerinde elde edilen değerlerin istatistiksel analizinde paired *t*-testi kullanıldı. $P<0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Tablo 4.1: Tez çalışmasında kullanılan metabolik ölçüm sisteminin (Master Screen CPX) özellikleri.

Gaz Ölçümleri	Sıra	Doğruluk
Havalandırma (V_E)	0 ile 300 L/dk	%2 veya 0.005 L/dk
O_2 alımı (VO_2)	0-7 L/dk	%3 veya 0.005 L/dk
CO_2 salınımı (VCO_2)	0-7 L/dk	%3 veya 0.005 L/dk
RER	0.6 ile 2.0	%4
Akış/hacim gaz ölçümleri	Türü Hacim Hacim çözünürlüğü Çözünürlük Akış Akış hassasiyeti Direnç Ölü boşluk Ağırlık	TriplevV 0.10 L 50 ml yada %2 3 ml 0-15 L/s 70 ml/sn veya % 3 15 L/s<0.1kPa/L/s 30ml 45 g
O_2 Analizörü	Türü Sıra Çözünürlük T90 Doğruluk	Elektro kimyasal hücre 0 ile %25 % 0.01 O_2 80 ms (filtreleme sonrası) % 0.05 vol
CO_2 Analizörü	Türü Sıra Çözünürlük T90 Doğruluk	Isı iletkenliği %0-10'luk %0.005 CO_2 80 ms (filtreleme sonrası) %0.05 vol
Barometre	Sıra	700-1060 mbar (525-795mmHg)
Sıcaklık	Sıra	-10- +40° C
Nem	Sıra	%15-95 yoğuşmasız
Çalışma	Sıcaklık Nem	10-34° C %15-95
Depolama	Sıcaklık Nem	-20 ile 50° C %15-95
Elektrik gereksinimleri	Voltaj Frekans Güç	100/115/125 V AC 50/60 Hz Maks. 508 VA
Standartlar	Kalite sistemi FDA: MDD 93/42/EEC Elektrik güvenliği EMC	ISO 13485 510 CE işareti EN 60601-1 EN 60601-1-2

5. BULGULAR

5.1. Deneklerin Sabit Yük Egzersiz Testi Sırasında Verdiği Cevaplar

Çalışmaya katılan tüm deneklerin fiziksel özellikleri (yaş, boy, ağırlık ve vücut kitle indeksleri; VKİ) Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Deneklerin yaş (yıl), boy (cm), vücut ağırlığı (kg) ve vücut kitle indeksleri (VKİ, kg/ m²) (n=7).

Denekler	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Ağırlık (kg)	VKİ (kg/cm ²)
1	19	180	68.2	21.0
2	22	190	74.0	20.4
3	18	195	82.7	21.7
4	18	185	80.9	23.6
5	20	186	72.3	20.8
6	20	197	69.4	17.8
7	22	190	81.9	22.6
Ort (±SD)	19.8±1.6	189±5	75.6±6	21.2±1.8

Deneklerin, şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında ulaştıkları maksimal iş gücü (Vmax), AE'deki iş gücü değerleri (W_{AE}), maksimal iş gücü ile AE'deki iş gücü oranı (%W_{AE}), maksimal iş gücü (Wmax/kg) ve AE'deki (W_{AE}/kg) kilogram vücut ağırlığı başına ulaştıkları değerler Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin maksimal iş gücü (V_{max}), AE'deki iş gücü değerleri (W_{AE}), maksimal iş gücü ile AE'deki iş gücü oranı ($\%W_{AE}$) ve maksimal iş gücü (W_{max}/kg) ve AE'deki (W_{AE}/kg) kilogram vücut ağırlığı başına ulaştıkları değerler ($n=7$).

Denekler	W_{max} (W)	W_{max}/kg (W/kg)	W_{AE} (W)	AE (%)	AE/kg (W/kg)
1	260	3.812	165	63	2.419
2	205	2.770	125	60	1.689
3	225	2.720	135	60	1.632
4	255	3.152	165	64	2.039
5	185	2.558	110	59	1.521
6	235	3.386	150	63	2.161
7	195	2.380	110	56	1.34
Ort ($\pm$SD)	222$\pm$29	2.968$\pm$0.5	137$\pm$23	60.7$\pm$2	1.829$\pm$0.3

Deneklerin W_{max} kapasitelerinde ulaştıkları iş gücü değerleri minimum 185 W ile maksimum 260 W arasında değişmekte olup ortalama ($\pm$ SD) 222 $\pm$ 29 W olarak bulundu (Tablo 5.2).

W_{max}/kg değerleri minimum 2.380 W/kg maksimum 3.386 W/kg arasında değişmekte olup ortalama ($\pm$ SD) 2.968 $\pm$ 0.5 W/kg olarak bulundu (Tablo 5.2). W_{AE}/kg değerleri minimum 1.34 W/kg ile maksimum 2.161 W/kg arasında değişmekte olup ortalama ($\pm$ SD) 1.829 $\pm$ 0.3 W/kg olarak bulundu (Tablo 5.2).

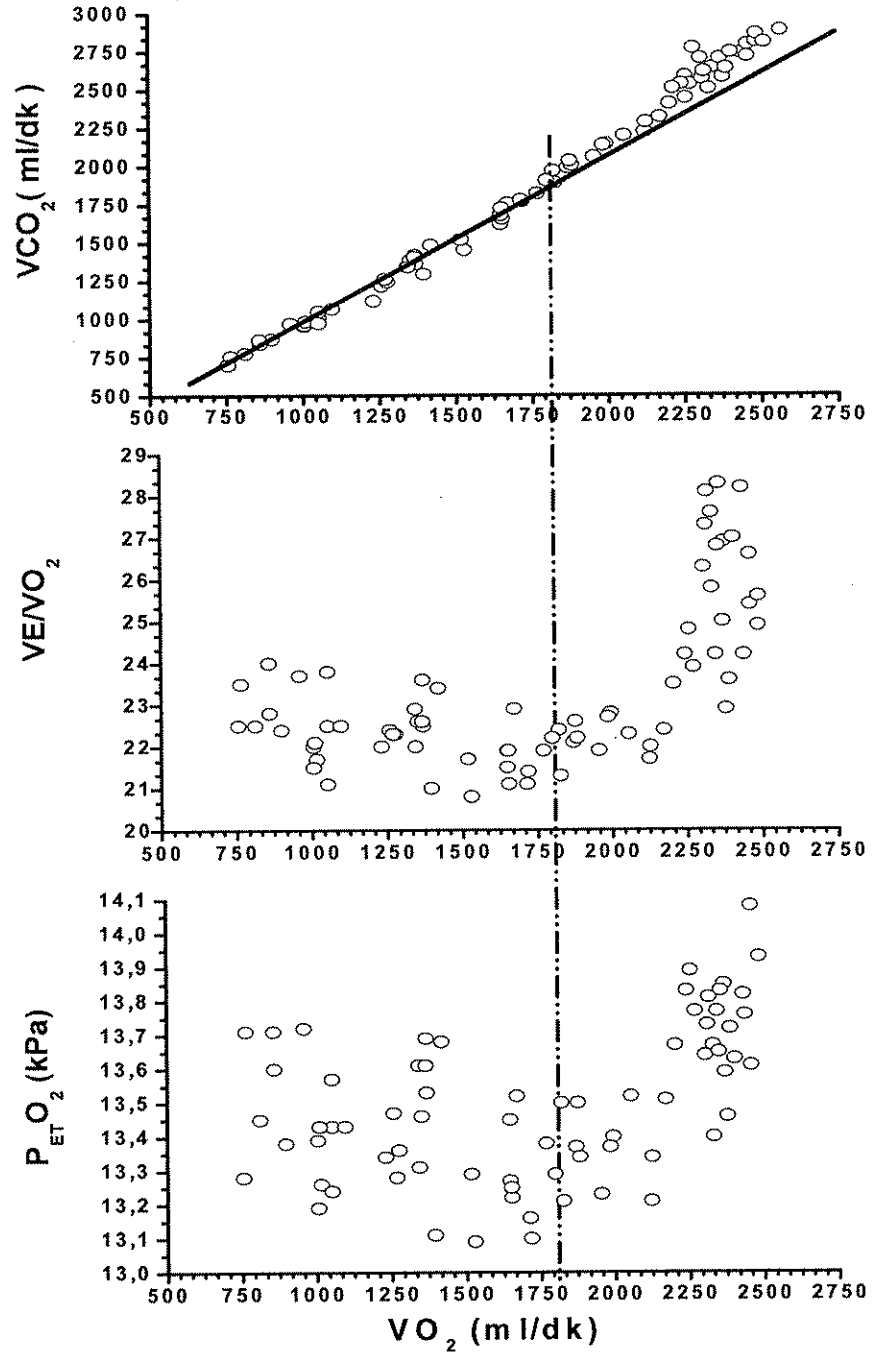
AE hesaplanmasında egzersiz sırasında alınan O_2 (VO_2) ile atılan CO_2 (VCO_2) arasındaki ilişki (V-slope tekniği, VCO_2/VO_2) kullanılmıştır (Şekil 5.1).

Egzersiz iş gücünün artması ile başlangıçta VO_2 ile VCO_2 artışı paralellik göstermektedir (Şekil 5.1). Bu VO_2 ile VCO_2 arasındaki paralel artış deneklerin yaklaşık olarak maksimal egzersiz seviyelerinin %61'ine kadar (Tablo 5.2) devam

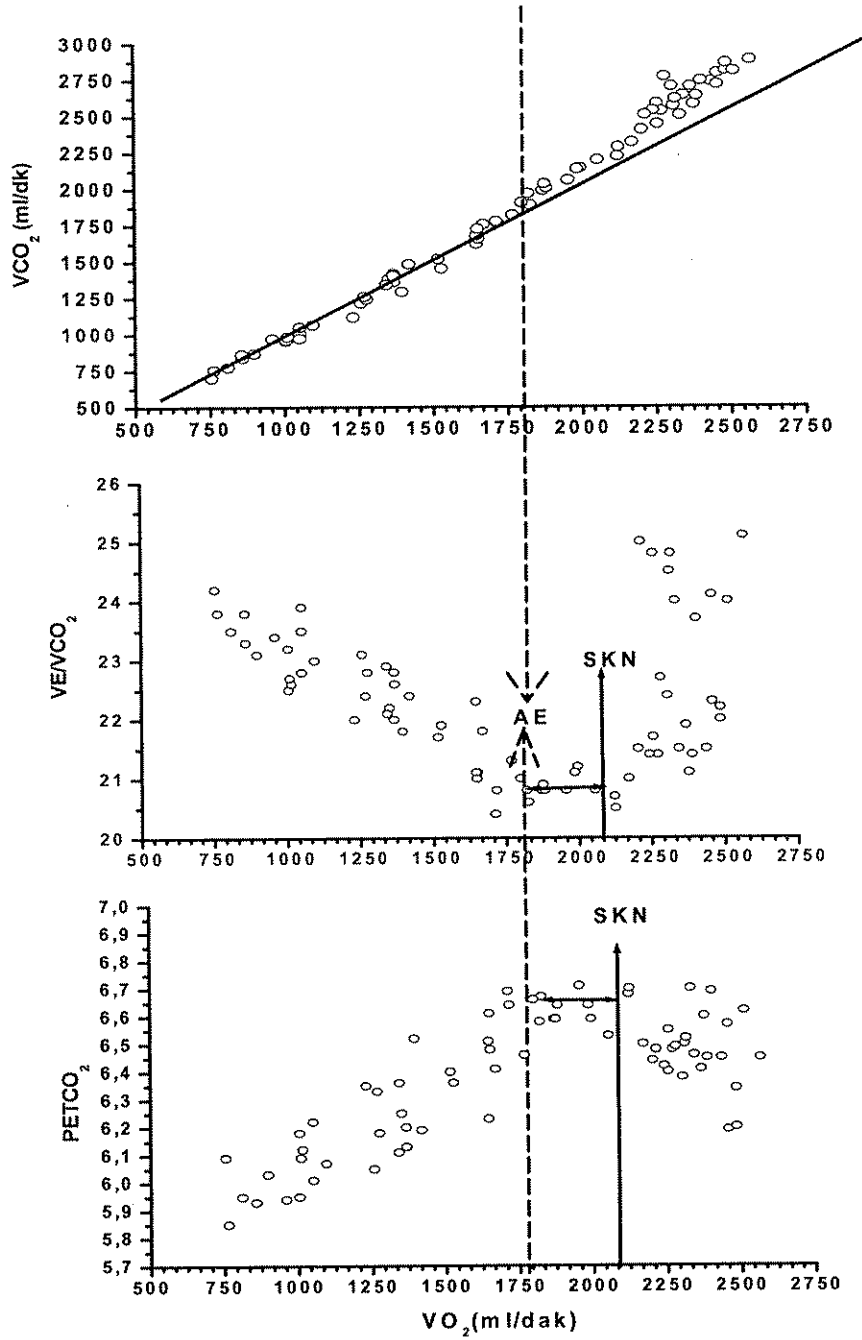
ederken bu seviyenin üzerinde ise VCO_2 'deki artış VO_2 'ye göre daha hızlı olmaktadır (Şekil 5.1). Egzersiz sırasında VCO_2 'deki VO_2 'ye göre hızlanma anaerobik metabolizmasının aktifliğini göstermektedir (Şekil 5.1).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında V_E/VO_2 , $PETCO_2-VO_2$ ve VCO_2/VO_2 ilişkisi ile AE ve SKN tespiti Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Deneklerin diğer bir önemli egzersiz seviyesi olan SKN değerinin hesaplanmasında ise $PETCO_2$ deki azalmanın başlangıç noktası ve V_E/VCO_2 'deki hızlı artış dönemi kullanıldı (Şekil 5.1). AE'nin başlangıcında $PETCO_2$ 'de azalma ve V_E/VCO_2 'de artış görülmemektedir. İş gücündeki artış devam ederken AE'nin yaklaşık olarak %17 üzerinde $PETCO_2$ azalmaya başlarken V_E/VCO_2 'de ise artışlar gözlemlendi (Şekil 5.2).



Şekil 5.1: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında örnek bir denegın O_2 alımının (VO_2) CO_2 atılımına (VCO_2) göre değişimini gösteren V-Slope tekniğı ile (üstteki grafik) AE hesaplanması. Buna ilave olarak solunum O_2 alım ilişkisi (VE/VO_2) ve tidal sonu parsiyel O_2 basıncının ($P_{ET}O_2$) ile AE hesaplanmasının desteklenmesi. Dikey kesik çizgi AE'yi göstermektedir.



Şekil 5.2: Üstteki grafik AE hesaplanmasında kullanılan VCO_2 'nin VO_2 'ye oranını göstermektedir. Ortadaki grafikte ise dakika solunum (V_E) ile CO_2 atılımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir (V_E/VCO_2). Altteki grafikte tidal sonu CO_2 parsiyel basıncının ($PETCO_2$) verdiği cevabı göstermektedir. Dikey kesik çizgi anaerobik metabolizmanın başlangıcı olan AE'yi göstermektedir. Dikey solid çizgiler ise solunum kompanzasyon noktasının (SKN) başlangıcını göstermektedir.

Egzersiz testi sırasında önemli iki parametre olan AE ve SKN'deki iş gücü değerleri, deneklere sabit yük egzersiz testi iş gücü uygulanmasında kullanıldılar. Buna ilave olarak AE'nin %25 altındaki ve AE'nin %100 üstündeki iş güçleri de egzersiz protokolü olarak kullanıldılar. Bu çalışmaya katılan deneklere uygulanan egzersiz test protokolündeki iş gücü değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Bu çalışma sırasında deneklere uygulanan egzersiz test protokolleri ve bu protokollere denk gelen iş gücü uygulamaları: Anaerobik eşiğe denk gelen iş gücünün %25 altı ($W_{AE<\%25}$), anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), izokapnik tamponlanma döneminin sonundaki solunum kompanzasyon noktasındaki iş gücü (W_{SKN}), anaerobik eşiğin %25 üstüne denk gelen iş gücü ($W_{AE>\%25}$) ve anaerobik eşiğin %100 üzerine denk gelen iş gücü ($W_{\%100>AE}$) değerleri.

Denekler	$W_{AE<\%25}$ (W)	W_{AE} (W)	W_{SKN} (W)	$W_{AE>\%25}$ (W)	$W_{\%100>AE}$ (W)
1	123	165	194	206	330
2	94	125	145	156	250
3	105	135	160	168	270
4	123	165	195	206	330
5	82	110	125	138	220
6	110	150	180	187	300
7	82	110	135	135	220
Ort ($\pm$SD)	102$\pm$ 17	137$\pm$ 23	162$\pm$ 28	170$\pm$ 29	274$\pm$ 47

Bireylerin AE<%25, AE, SKN, AE>%25 ve %100>AE deki iş gücü değerleri sırasıyla Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Bu çalışma sırasında deneklere uygulanan egzersiz test protokolleri ve bu protokollere gelen iş gücü uygulamaları: anaerobik eşiğe denk gelen iş gücünün %25 altı ($W_{AE<\%25}$), anaerobik eşikteki iş gücü (W_{AE}), izokapnik tamponlanma döneminin sonundaki solunum kompanzasyon noktasındaki iş gücü (W_{SKN}), anaerobik eşiğin %25 üstüne denk gelen iş gücü ($W_{AE>\%25}$) ve anaerobik eşiğin %100 üzerine denk gelen iş gücü ($W_{\%100>AE}$) değerlerinin kilograma bölünmesiyle elde edilen değerler.

Denek	$W_{AE<\%25}$ /kg (W/kg)	W_{AE} /kg (W)	W_{SKN} /kg (W)	$W_{AE>\%25}$ (W/kg)	$W_{\%100>AE}$ (W/kg)
1	1.803	2.229	2.345	2.546	4.564
2	1.378	1.689	1.753	1.928	3.457
3	1.539	1.824	1.934	2.076	3.734
4	1.803	2.229	2.357	2.546	4.564
5	1.202	1.486	1.511	1.705	3.042
6	1.612	2.027	2.176	2.311	4.149
7	1.202	1.486	1.632	1.668	3.042
Ort ($\pm$SD)	1.506$\pm$0.2	1.853$\pm$ 0.3	1.958$\pm$0.3	2.111$\pm$0.3	3.793$\pm$0.6

Deneklerin $AE<\%25$ denk gelen iş gücü değerleri 82W-123W arasında olup ortalama 102 ± 17 W olarak bulundu. AE 'deki iş gücü değerleri 110W-165W arasında değişmekte olup ortalama 137 ± 23 W değerine ulaştı. SKN 'deki iş gücü değerleri ise 125W-195W arasında değişmekte olup ortalama 162 ± 28 W olarak bulundu. SKN , AE 'nin yaklaşık olarak %18 üstüne denk gelmektedir. $AE>\%25$ iş gücü değerleri 135W-206W arasında değişmekte olup ortalama 170 ± 29 W olarak

bulundu. %100>AE iş gücü değerleri ise 220W-330W arasında değişmekte olup ortalama 274 ± 47 W olarak bulundu (Tablo 5.3).

Tablo 5.5. Deneklere uygulanan egzersiz protokolündeki iş güçlerinin maksimal egzersiz kapasitesine yüzde oran değerleri.

Denekler	AE<%25 altı (%)	AE (%)	SKN (%)	AE>%25 üstü (%)	%100 AE üstü (%)
1	47	63	74	79	126
2	45	60	70	76	121
3	46	60	71	73	120
4	48	64	76	80	129
5	44	59	67	74	118
6	46	63	76	79	127
7	42	56	69	69	128
Ort ($\pm$SD)	45.4$\pm$1	60.7$\pm$2	71.8$\pm$3	75.7$\pm$3	124.1$\pm$4

Deneklerin %25 AE altına denk gelen iş gücünün maksimal egzersiz kapasitesine oranı %42-%48 arasında değişmekte olup ortalama 45.4 ± 1 olarak bulundu (Tablo 5.5). AE'ye denk gelen iş gücünün maksimal egzersiz kapasitesine oranı %56-%64 arasında değişmekte olup ortalama 60.7 ± 2 olarak bulundu (Tablo 5.5). SKN'ye denk gelen iş gücünün maksimal egzersiz kapasitesine oranı %67-76 arasında değişmekte olup ortalama 71.8 ± 3 olarak bulundu (Tablo 5.5). AE %25 üstüne denk gelen maksimal egzersiz kapasitesine oranı %69-80 arasında değişmekte olup ortalama 75.7 ± 3 olarak bulundu (Tablo 5.5). AE % 100 üstüne denk gelen iş gücünün maksimal egzersiz kapasitesine

oranı %118-129 arasında değişmekte olup ortalama 124.1 ± 4 olarak bulundu (Tablo 5.5).

Tablo 5.6: Deneklerin AE<%25 altı, AE, SKN, AE>%25 üstü ve %100>AE'deki iş güçleri uygulanması sonucunda devam ettirebildikleri zaman değerleri (%AE altı, AE ve SKN deki maksimal egzersiz süresi 30 dakika ile sınırlandırılmıştır).

Denekler	AE<%25altı (dk)	AE (dk)	SKN (dk)	AE>%25üstü (dk)	%100>AE (dk)
1	30	30	30	8:55	1:46
2	30	30	30	9:09	1:57
3	30	30	30	14	1:59
4	30	30	30	11:08	2:15
5	30	30	30	14:53	1:48
6	30	30	30	16:56	1:46
7	30	30	30	30*	2:19

*7. deneğin %25 AE üstü ile SKN'deki iş güçleri aynı iş gücüne denk geldiği için denek%25 AE üstü çalışmasını yapmamıştır.

Bireyler AE, SKN ve AE<%25 altına denk gelen egzersiz iş gücünde performans süreleri çalışma için belirlenen maksimal süre olan 30 dakikaya kadar devam ettirmişlerdir (Tablo 5.6). Buna karşılık olarak Tablo 5.6'da görüldüğü üzere %25 AE üstü ve %100>AE üstünde zaman değerleri çok kısalarak denekler egzersizi sonlandırmak zorunda kalmışlardır. Çalışmaya katılan denekler arasındaki farklılıklardan kaynaklanan bu değişimler Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.7: Artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin maksimal egzersiz kapasitelerinde ve anaerobik eşikteki VO₂ değerleri ve kilogram başına ulaştıkları O₂ alım (VO₂) değerleri.

Denekler	VO _{2max} (ml)	VO _{2max} / kg (ml/kg)	VO _{2AE} (ml)	VO _{2AE} /kg (ml/kg)
1	3433	50.34	2128	31.20
2	2565	34.66	1826	24.68
3	2290	27.69	1706	20.63
4	3216	39.75	2185	27.01
5	2714	37.54	1540	21.30
6	3109	44.80	2210	31.84
7	2804	34.23	1654	20.19
Ort (±SD)	2875±398	38.43±7	1892±277	25.26±4

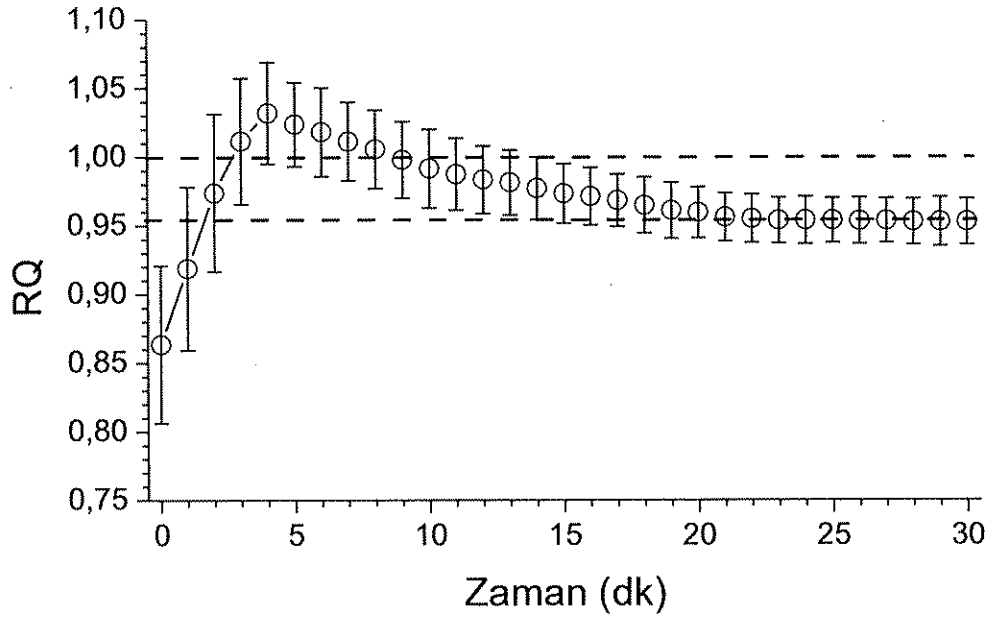
Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin ortalama VO_{2max} değeri 2875±398 ml, ortalama VO_{2max}/kg değeri 38.43±7 ml/kg olarak bulundular (Tablo 5.7). Deneklerin AE'deki ulaştıkları VO₂ değeri ortalama olarak 1892±227 ml bulundu. Kilogram vücut ağırlığı başına AE'deki VO₂ değeri ise ortalama 25.26±4 ml/kg bulundu (Tablo 5.7).

5.2 Sabit Yük Egzersiz Testindeki Solunum Katsayısı (RQ) Cevapları:

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersizi takiben denekler farklı günlerde 5 farklı sabit yük egzersiz testine katıldılar.

İş gücü şiddetinin %25 AE altında olduğu sabit yük egzersiz testi sırasındaki RQ değerinin verdiği cevapların ortalama (±SD) değerleri şekil 5.3'te verilmiştir. Sabit yük egzersiz testinin ısınma dönemindeki RQ değeri ortalama 0.863±0.05 olarak bulunurken iş gücünü artırılmasını takiben RQ hızlı bir şekilde

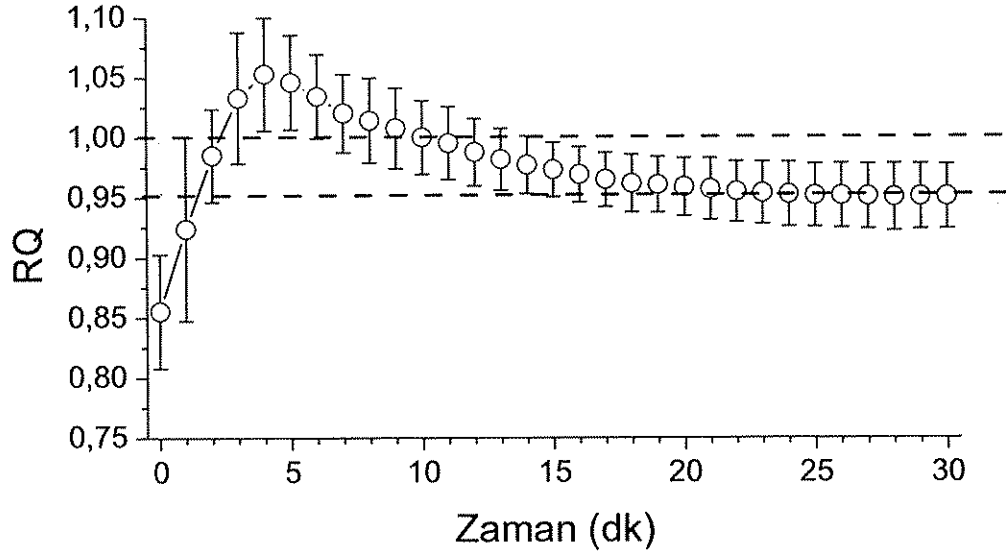
artış göstererek yaklaşık 1.03 civarına yükselip yaklaşık 20. dakikadan sonra 0.952 ± 0.01 düşüp sabit bir şekilde egzersiz sonuna kadar devam etmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Egzersiz iş gücü şiddetinin %25 AE altında olan egzersiz testinde tüm deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 alttaki ise test esnasında RQ'nun dengelendiği noktayı göstermektedir (n=7).

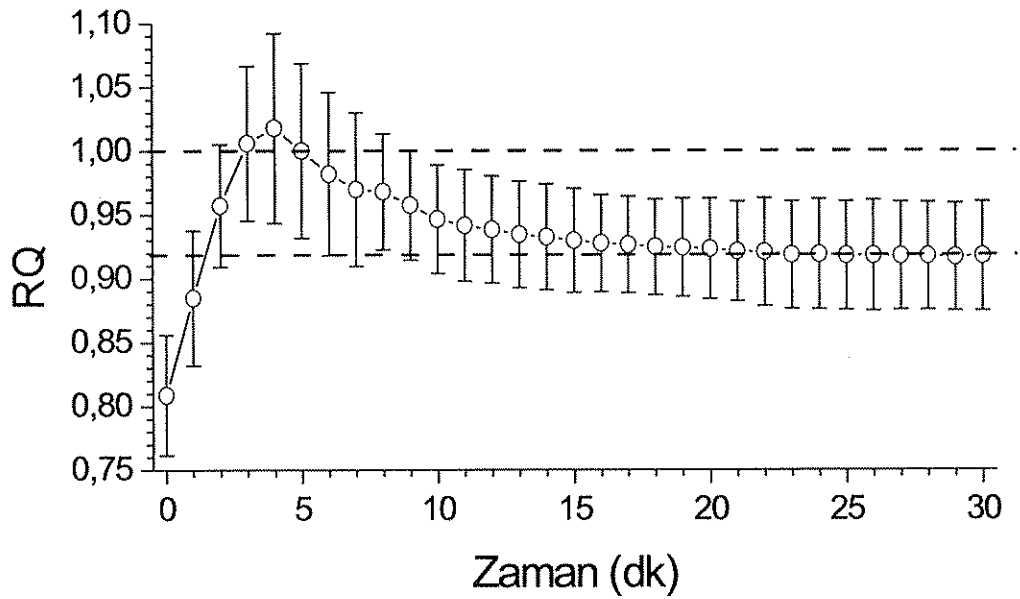
İş gücü şiddetinin AE' ye denk geldiği sabit yük egzersiz testi sırasındaki RQ değerinin verdiği cevapların ortalama ($\pm$ SD) değerleri şekil 5.4'te verilmiştir. Sabit yük egzersiz testinin ısınma dönemindeki RQ değeri ortalama 0.855 ± 0.04 olarak bulunurken iş gücünü arttırılmasını takiben RQ artış göstererek yaklaşık 1.05 civarına yükselip yaklaşık 20 dakikadan sonra ise 0.950 ± 0.02 düşüp sabit bir şekilde egzersiz sonuna kadar devam etmiştir. Bu egzersiz protokolünde elde

edilen RQ değeri %25 AE altındaki değerden istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemiştir.



Şekil 5.4: Egzersiz iş gücü şiddeti AE'ye denk gelen sabit yük egzersiz testinde deneklerin ortalama (±SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 altındaki kesik çizgi ise test esnasında RQ'nun dengelendiği noktayı göstermektedir (n=7).

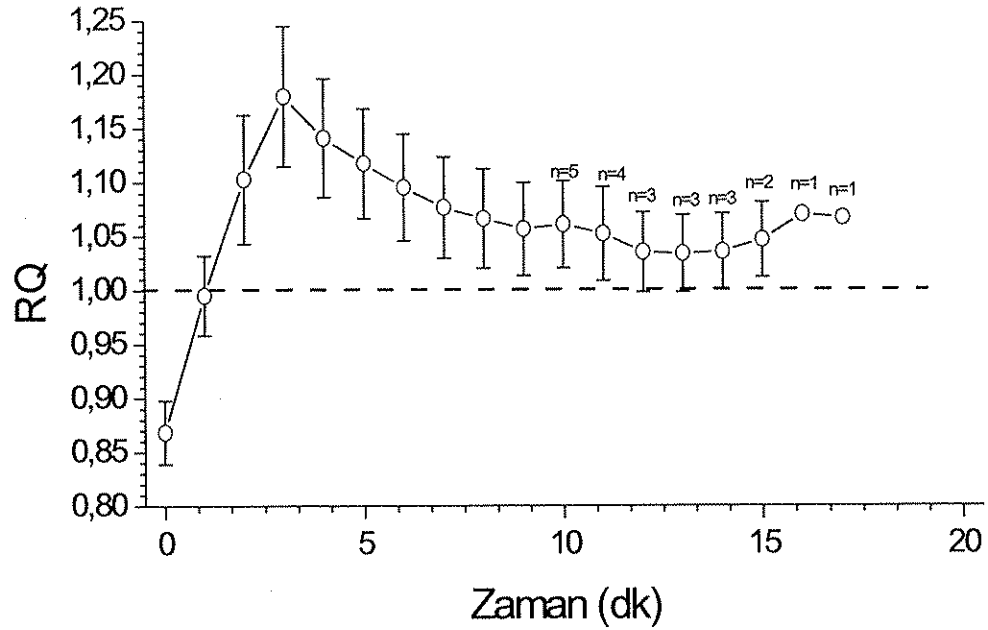
Deneklerin iş gücü şiddetinin SKN'ye denk gelen sabit yük egzersiz testi sırasındaki RQ değerinin verdiği cevapların ortalama (±SD) değerleri şekil 5.5'te verilmiştir. Sabit yük egzersiz testinin ısınma dönemindeki RQ değeri ortalama 0.808 ± 0.04 olarak bulunurken iş gücünü artırılmasını takiben RQ artış göstererek yaklaşık 1.02 civarına yükselip yaklaşık 18 dakikadan sonra ise 0.917 ± 0.04 düşüp sabit bir şekilde egzersiz sonuna kadar devam etmiştir (Şekil 5.5). SKN'de elde edilen RQ değeri AE'deki ($p < 0.05$) ve %25 AE altındaki ($p < 0.05$) değerlerden istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.



Şekil 5.5: İş gücü şiddeti SKN’de olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Üstteki kesik çizgi RQ:1.00 alttaki kesik çizgi ise test esnasında RQ’nun dengelendiği noktayı göstermektedir (n=7).

Deneklerin iş gücü şiddetinin %25 AE üstüne denk gelen sabit yük egzersiz testi sırasındaki RQ değerinin verdiği cevapların ortalama ($\pm$ SD) değerleri şekil 5.6’da verilmiştir. İş gücü şiddetinin %25 AE üzerinde olan sabit yük egzersiz testinde denekler 30 dakikalık maksimum hedeflenen egzersiz süresini tamamlayamadan testi sonlandırmak zorunda kalmışlardır. Denekler arasında maksimal egzersiz süreleri farklılıklar göstermektedir (Tablo 5.6). Deneklerden bir tanesinde (7. denek) SKN’deki iş gücü ile %25 AE üstü egzersiz değeri aynı olduğu için bu değerlendirmeye alınmamıştır ve denek sayısı 6 olarak değerlendirilmiştir.

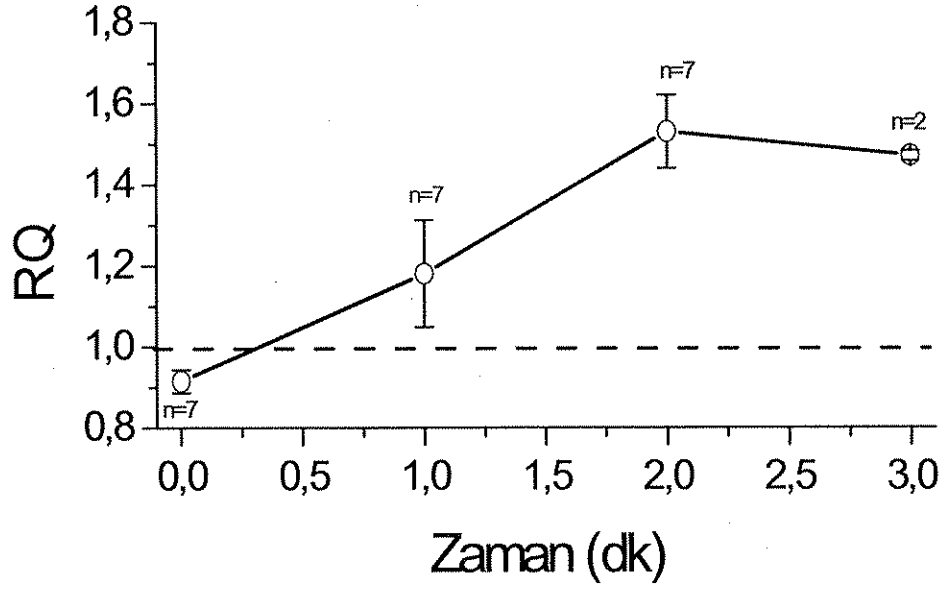
Isınma dönemindeki $RQ = 0.868 \pm 0.02$ olup egzersiz iş gücü uygulanması sonucunda 1.00 üzerine çıkıp tüm egzersiz boyunca 1.00 üzerinde devam ederek testin sonunda 1.046 ± 0.03 olarak bulundu.



Şekil 5.6: İş gücü şiddetinin %25 AE üstünde olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Kesik çizgi RQ:1.00'ı göstermektedir (işaretsiz noktalarda n=6).

Deneklerin iş gücü şiddetinin %100 AE üstüne denk gelen sabit yük egzersiz testi sırasındaki RQ değerinin verdiği cevapların ortalama ($\pm$ SD) değerleri şekil 5.7'de verilmiştir.

İş gücü şiddetinin %100>AE üstünde olan egzersiz testinin ısınma döneminde RQ değeri 0.914 ± 0.02 olarak bulundu. Artan iş gücü ile birlikte RQ artarak testin sonunda ise 1.530 ± 0.09 değerine ulaştı. Deneklerin egzersiz süreleri 1 dk 46 sn ile 2 dk 19 sn arasında değişmektedir (Tablo 5.6).



Şekil 5.7: İş gücü şiddetinin %100 AE üstünde olan egzersiz testinde deneklerin ortalama ($\pm$ SD) solunum katsayısı (RQ) cevapları. Kesik çizgi RQ:1.00'i göstermektedir.

6. TARTIşMA VE SONUÇ

6.1 İş gücü şiddetinin Düzenli Olarak Arttığı Egzersiz Testi Cevapları

Balke ve arkadaşları tarafından aerobik fitnessin ölçümünde ve değerlendirilmesinde kullanılmak için "istirahat seviyesinden başlayarak maksimal iş kapasitelerine kadar düzenli olarak artan egzersiz test protokolü" (incremental exercise test) geliştirilmiştir (14). Bu test ile Amerikan Hava Kuvvetleri'ndeki askerler üzerinde performans ile ilgili önemli ölçümler yapmışlardır (14). İlerleyen yıllarda, Whipp ve arkadaşları "Balke protokolünü" geliştirerek "hızlı artan egzersiz test protokolüne çevirmişlerdir (rapid incremental exercise test) (16, 77). Bu çalışmada Whipp ve arkadaşları tarafından geliştirilen hızlı artan egzersiz test protokolü deneklerin aerobik fitnesslerini ölçmek için kullanıldı (Şekil 4.2).

Deneklerin, şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında ulaştıkları maksimal egzersiz kapasitelerinin ve AE'lerindeki iş gücü değerlerinin vücut ağırlıkları başına miktarı, literatürde normal kabul edilen değerler ile uyum göstermektedirler (78, 79) .

Egzersiz devam ettirebilme süreleri egzersiz iş güçlerinin maksimal egzersiz kapasitelerine oranı ile yakından ilişkili olarak bulundu. Aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş noktasını tanımlayan AE'deki iş gücü oranı deneklerin maksimal egzersiz seviyelerinin %56 ile %64'ü arasında değişmektedir (Tablo 5.5) (2, 79). Literatürde yapılan çalışmalarda egzersiz sırasında kan-laktik asit konsantrasyonu normal bireyler için egzersiz

kapasitelerinin %40 ile %65 seviyesine ulaşıldığı zaman artmaya başladığı gösterilmiştir (2).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında AE üstü bölgede artan iş gücüne bağlı olarak artmaya başlayan laktik asit üretimi kısa bir dönem için vücut tampon sistemleri tarafından baskılanmaya çalışılmaktadır. İzokapnik tamponlanma dönemi (İTD) olarak adlandırılan bu periyot AE ile solunum kompanzasyon noktası (SKN) arasındaki bölgeyi tanımlamaktadır (Şekil 5.2). Bu çalışmada PETCO₂'nin azalmaya başladığı V_E/VCO₂'nin artmaya başladığı yer SKN olarak tanımlanmıştır. Bu nokta bireylerin egzersizi devam ettirebildikleri en yüksek iş gücü kapasitesi olarak tanımlanmıştır (80). Artan iş gücü ve metabolik ihtiyaç sonucu laktik asit üretimi daha üst seviyelere çıkınca solunum kompanzasyonu ve hipokapni gelişmektedir (Şekil 5.2). Bireylerin SKN'si bireyler arasında %67 ile %76 arasında değişmekte olup ortalama olarak %72 civarında bulunmaktadır (Tablo 5.5).

AE'nin maksimal egzersiz kapasitesine oranı normal bireyler için kabul edilen değer ortalama olarak %62 bulundu (2, 79). Deneklerin şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında maksimal O₂ alım değerinin vücut ağırlıkları başına miktarı (38.43±7 ml/dk/kg) normal denekler için kabul edilen sınırlar içinde bulunmaktadır (2).

6.2 Egzersiz-Substrat Kullanım Cevabı

İstirahat veya egzersiz sırasında değişen şartlar altında vücut sistemlerinin enerji tüketiminin ölçümü ve hesaplanması özellikle hasta ve sporcular için önemli bir konudur. Egzersiz substrat kullanım ilişkisinin belirlenmesi diyabet, obezite gibi rahatsızlıklarda hastalığın gidişatını etkileyebilecek hayati bir faktördür (81-83). Mesela; egzersiz sırasında azalan lipit oksidasyonu çocuk obezlerde önemli bir etkidir (84, 85). Spor bilimlerinde performans artışının sağlanması veya sporcu sağlığının izlenmesi için de enerji kullanım durumunun belirlenmesi gereklidir.

Substrat kullanımının etkin ölçümü için çok farklı direkt veya indirekt teknikler geliştirilmekle birlikte VCO_2 ve VO_2 arasındaki ilişki ile kolaylıkla ölçüm yapılmaktadır. Vücudun enerji ihtiyacındaki değişen şartlara bağlı olarak substrat varlığı ve oksidasyon oranının vücut hücreleri tarafından kullanımındaki değişikliği tanımlayan metabolik esneklik, şartlara bağlı olarak RQ'daki değişikliği tespit edilebilmektedir (86). RQ değerinin substrat kullanımını belirlemedeki önemi 1800'lü yılların sonu ve 1900'lerin başlarından beri bilinmektedir (87). Egzersiz sırasında kandaki kan-yağ oranının artışı ilk defa bu yüzyıl başlarında Patterson ve Lafon tarafından çalışılmıştır (87).

Metabolizma, kısaca besinlerle aldığımız enerjiyi vücut yaşamını desteklemek için yakma olayı olarak tanımlanmaktadır. Metabolik hız, yani aldığımız besinlerin yakılarak enerjiye dönüştürülme hızı vücut ve sistemleri için önemli bir sağlık kriteridir. Metabolizma hızındaki azalma veya artma hastalık göstergelerinden birisidir. Metabolizmanın "bazal metabolizma", "dışarıdan alınan gıdaların sindiriminde kullanılan enerji" ve "günlük aktiviteler ile harcanan enerji"

olma üzere 3 tane önemli bileşeni vardır. Metabolizmanın gerçekleşmesi için harcadığı enerji genelde kalori birimi olarak tanımlanmaktadır. Metabolik hızın belirlenmesinin önemine paralel olarak metabolizma için kullanılan kaynakların oranlarının da belirlenmesi yine klinik açıdan üzerinde durulması gereken bir konudur.

Vücut enerji sistemlerinin devamlılığı için glikojen ve yağlar temel kaynaklardır (88, 89). İskelet kasları değişen şartlara bağlı olarak (istirahat, hafif egzersiz veya maksimal efor gibi) enerji tüketim hızını artırma kabiliyeti olan önemli yapılarımızdır. İstirahat seviyesine göre 300 katlı bir enerji artışını birkaç milisaniye içerisinde artıracak kapasitesi bulunmaktadır (90). Diğer yandan orta seviyede uzun süren egzersiz sırasında da enerji tüketimini dengeleyecek kapasiteye de sahiptir. Bilindiği gibi kas kasılması sırasında temel enerji kaynağımız ATP'dir. Buna karşılık vücut hücre içi ATP deposu çok azdır (5-6mM) ve kas aktivasyonu sırasında bu depolar bir veya iki saniye içinde tükenmektedir (90). Bu nedenle metabolik yollar aktive olarak ATP depolarının bitmesini engellerler. Bu metabolik yollar aerobik ve anaerobik olup kısa sürede yüksek iş gerektiren durumlarda ya da uzun süreli devam etmesi gereken egzersizlerde rol oynarlar (90).

Egzersiz sırasında enerji kaynaklarının kullanımında egzersizin yoğunluğu, tipi, süresi, diet, fiziksel durum gibi pek çok faktör rol oynamaktadır (91-93). İstirahat durumunda yağlar etkin olan enerji kaynağıdır (88). Düşük yoğunluktaki egzersiz sırasında adipozitlerden mobilize olan serbest yağ asitleri, ana enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (94). Yüksek yoğunluktaki egzersizler sırasında anaerobik glikolizis ve kreatinkinaz reaksiyonu (fosfokreatini ATP'ye

Çeviren enzim) ana enerji kaynağıdır (89). Submaksimal egzersizlerde ise substrat kullanım durumu genellikle egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Düşük yoğunluklu egzersizde yağlar temel kaynak olurken egzersiz yoğunluğu artınca karbonhidratlar temel kaynak durumuna geçerler. Egzersiz sırasında iskelet kaslarında glikoz alımının düzenlenmesi tam olarak anlaşılmamakla birlikte bunun insülinle bağımlı bir mekanizma olduğu görüşü ileri sürölmektedir (95).

Tablo 6.1: Karbonhidratlar ve yağlar için substrat kullanım yüzde değerleri (kaynak 96'dan alınmıştır) (96).

Protein harici RQ	Karbonhidrat	Yağ
0.707	0.0	100.0
0.71	1.1	98.9
0.72	4.8	95.2
0.73	8.4	91.6
0.74	12.0	88.0
0.75	15.6	84.4
0.76	19.2	80.8
0.77	22.8	77.2
0.78	26.3	73.7
0.79	29.9	70.1
0.80	33.4	66.6
0.81	36.9	63.1
0.82	40.3	59.7
0.83	43.8	56.2
0.84	47.2	52.8
0.85	50.7	49.3
0.86	54.1	45.9
0.87	57.5	42.5
0.88	60.8	39.2
0.89	64.2	35.8
0.90	67.5	32.5
0.91	70.8	29.2
0.92	74.1	25.9
0.93	77.4	22.6
0.94	80.7	19.3
0.95	84.0	16.0
0.96	87.2	12.8
0.97	90.4	9.6
0.98	93.6	6.4
0.99	96.8	3.2
1.00	100.0	0

6.3 Sabit Yük Egzersiz Test Protokollerinin Verdiği Cevaplar

Kas egzersiz testleri sırasında artan metabolik ihtiyan karşılanabilmesi için kardiyovasküler ve solunum sistemlerinin uygulanan iş gücüne paralel biçimde artış göstermesi gerekmektedir (2). Metabolizmayı destekleyici sistemlerde meydana gelebilecek olan herhangi bir problem durumunda, metabolik ihtiyaçlar için gerekli olan O₂'nin sağlanması yeterli olmayacağından ve CO₂ gibi metabolik yan ürünlerin ortamdan uzaklaştırılmasında sıkıntı olacağından egzersiz performansında azalma ve yorulma meydana gelmektedir (2).

Sabit yüke karşı yapılan egzersiz test protokolü kullanılarak uygulanan KPET, bireylerin fonksiyonel kapasitelerinin değerlendirilmesi için çeşitli fizyolojik değerkenlerin ölçümünü içermektedir. Birçok klinik bilim dalının yanı sıra spor bilimlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (2, 97). Bu test protokolü sedanter, sağlıklı yetişkin bireylere (2, 78), farklı fonksiyonel kapasiteye sahip bireylere etkin şekilde uygulanmaktadır (78, 98). Bireye uygun hazırlanan egzersiz programlarının önemi son yıllarda gittikçe artmaktadır. Yağ oksidasyonunun maksimal seviyede olduğu egzersiz tipini belirlemek bireyler için önemli avantaj sağlamaktadır (99). Düşük yoğunluktaki egzersizlerde lipit oksidasyonunda artış (100), yüksek yoğunluklardaki egzersizlerde ise karbonhidrat oksidasyonunun artığı gösterilmiştir (101). Lipit oksidasyonu için optimal egzersiz yoğunluğunun bireylere bağlı olarak belirlenmesi obez bireylerin antrenmanında en uygun egzersiz uygulamasına neden olacaktır (99, 102).

Egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak ortaya çıkan olumlu yöndeki etkilerin önemi ortaya konulmuştur (103). Egzersiz yoğunluğu iki önemli nokta

içermektedir. Birincisi bireylerin tolere edecekleri zorlanmayacakları yoğunluk olması diğeri ise bireylere sağlık ve fitnessle ilgili faydalar sağlamasıdır (104). Egzersiz yoğunluğunun aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş noktasında olduğu testler önemli bir uygulama göstergesidir (104). Bu çalışmada sedanter bireylere sabit yük egzersiz testi uygulanarak deneklerin AE<%25 altı, AE, SKN, AE>%25 üstü ve %100> AE, değişimleri tespit edildi.

Sabit yük egzersiz test protokollerinde seçilen iş gücü değerleri ve bu iş gücünde deneklerin 30 dakika boyunca egzersizi devam ettirebilme durumları %25 AE altında, AE'de ve SKN'deki iş güçlerinde gözlenmiştir. Deneklerin egzersizi devam ettirebilme süreleri Tablo 5.6'da verilmiştir. AE'deki kilogram başı iş gücü değerleri ortalama 1.853 ± 0.3 W/dk/kg olup yüzde olarak 60.7 ± 2 olarak bulundu. Deneklerin tolere edebilecekleri en yüksek kg başına işgücü değeri 1.958 ± 0.3 W/dk/kg olarak bulunmuştur. Deneklerin tolere edebildikleri en yüksek egzersiz kapasiteleri SKN'ye denk gelen iş güçlerinde bulunmuştur. Bu değerler bireyler arasında %67 ile %76 arasında değişiklik göstermekle birlikte ortalama olarak 71.8 ± 3 olarak bulunmuştur (Tablo 5.5).

Sabit yük egzersiz testlerinin ısınma dönemindeki RQ değerleri yaklaşık olarak 0.85 civarlarında bulunmaktadır. Deneklerin bu dönemde enerji kaynaklarının %50 yağ %50 karbonhidrat kökenli olduğunu göstermektedir (Tablo 6.1). Sabit yük egzersiz testlerinde RQ'nun verdiği cevap uygulanan iş gücüne bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

AE'deki ve AE altındaki sabit yük egzersiz testlerinde RQ değerleri egzersizi takiben yaklaşık 20. dakika civarında 0.95 seviyelerine düşüp testin sonuna kadar benzer şekilde devam etmiştir. AE ve %25 AE altı testi hafif ve orta

seviyedeki egzersiz yoğunluğunu tanımlamaktadır (2). Bu QR 0.95 oranı, %84 karbonhidrat %16 yağ yakımını göstermektedir (Tablo 6.1).

Bu çalışmada elde ettiğimiz diğer önemli bir nokta ise iş gücü şiddeti SKN'ye denk gelen sabit yük egzersiz testinde deneklerin bu QR oranları 0.92'lere düşmüş ve bu düşüş ise 20 dakikadan daha önce olmuştur. Bu RQ 0.92 oranı %74 karbonhidrat %26 yağ yakımını göstermiştir (Tablo 6.1). Burada egzersiz şiddetinin AE'den SKN'ye çıkarılması sonucunda yağların enerji kaynağı olarak kullanılma oranı daha erkene çekilmekte ve daha yüksek oranda olmaktadır.

Aminoasitler aerobik egzersizlerde diğer bir substrat olup enerji üretimlerine katılımları %5 civarındadır ve karbonhidrat kaynakların tükenmesinde bile katılımı %10 civarında olmaktadır (105). Kas metabolik fonksiyonlar, egzersiz performansı, vücut kilo alım ve kaybetme durumu birbiriyle alakalı önemli konulardır (106). Proteinlerin yakımı ile RQ değeri 0.83-0.85 arasında olmaktadır. Bu çalışmada protein yakımı hesaba katılmamıştır.

SKN seviyenin üzerinde ise iş kapasiteleri ve egzersizi devam ettirebilme süreleri çok hızlı bir düşüş göstermektedir (Tablo 5.6). %100 AE üstü egzersiz testinde ise anaerobik glikolitik ve fosfokreatine bağlı olarak egzersiz süresi birkaç dakika ile sonlandırılmıştır (Şekil 5.7). Yoğun egzersize bağlı üretilen laktik asidin bikarbonat tamponlanma sistemi tarafından tamponlanma kapasitesinin üstüne çıktığı zamanlarda kas hücresinde artan asitte kaslarda yorgunluğa neden olmaktadır (107, 108).

Artan kas H^+ iyon konsantrasyonu glikoneogenolitik ve glikolitik yollarlarda önemli rol oynayan düzenleyici enzimlerden fosforilaz ve

fosfofruktokinazı inhibe etmektedir (109). Bu yorulmanın nedenleri ile ilgili çeşitli faktörler etkili olmaktadır. İskelet kas hücrelerinde fosfokreatinin kırılarak enerji üretmesi sonucunda inorganik fosfat konsantrasyonunda artışı meydana gelmektedir. Bu ise güç üretiminde rol oynayan çarpaz köprü sayısındaki azalmaya neden olmaktadır (110, 111). Miyofibriller Ca^{++} sensitivesi bu güç üretim azalmasında ana sorumlu faktör olup ısının artışının etkisi daha az oranlarda olmaktadır (112).

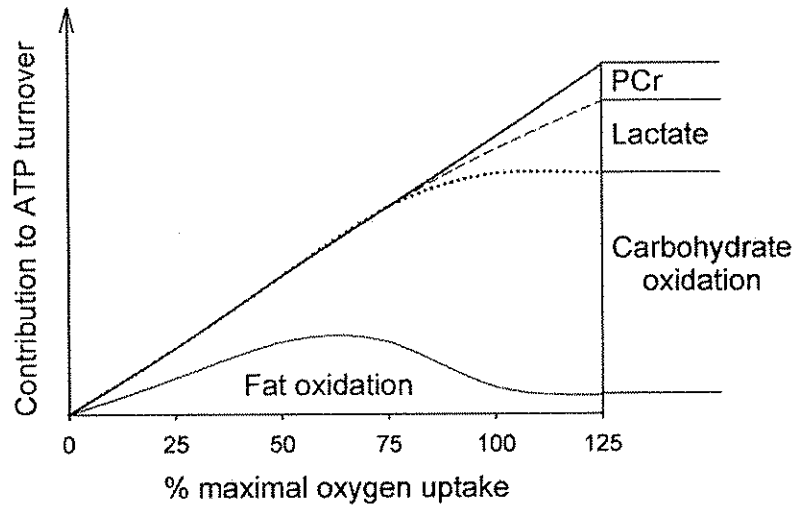
İlave olarak inorganik fosfat sarkoplazmik retikuluma girip serbest Ca^{++} varlığını da azaltarak yorgunluğa neden olabilmektedir (113). Egzersiz sırasında egzersizin tipine bağlı olarak en çok enerji tüketilen yerler miyozin başı, çarpaz köprüler ile sarkoplazmik retikulumdaki Ca^{++} iyon pompalarıdır (101, 114).

Yorgunlukta rol oynayan diğer bir önemli faktör ise artan serbest radikal olduğu ileri sürülmüştür (110, 116, 117). Serbest radikaller kasılma sırasında glikoz alım sinyallerini AMP bağımlı proteinkinaz aktivasyonunu etkileyerek değiştirmektedir. Yağ asitlerinin, aerobik submaksimal egzersiz sırasında serbest O_2 radikalleri artış göstermektedir (116) ve bu seviyelerde ATP üretimlerinde glikozun katılımı çok yüksek oranlardadır (118). ATP üretimlerine katılımları egzersiz yoğunluğuyla yakından alakalı olduğu ileri sürülmüştür. VO_{2max} ın %44 seviyesine denk gelen düşük yoğunluktaki 30 dakikalık egzersiz sırasında plazma serbest yağ asitlerinin varlığı yağ oksidasyonunda hızı belirleyen önemli faktör olduğu belirlenmiştir (119). Achten ve ark. yağ yakım oranlarında ideal rakamın %55 ile %75 VO_{2max} arasında olduğunu göstermiştir. Egzersiz yoğunluğunun %65'den %85 VO_{2max} 'a arttığı egzersizlerde lipit oksidasyonunun azaldığı gösterilmiştir (94). Endojen karbonhidrat depoları sınırlı miktardadır ve

VO₂maxın %70-80 seviyesine denk gelen egzersiz testlerinde 3 saat süre ile testin devamını desteklemektedir. Egzersize bağı olarak karbonhidrat depolarının azalması da egzersiz kapasitesinin azalmasına ve yorgunluğa neden olan en önemli faktördür (67, 120). Literatürde AE ve SKN arasındaki iş güçlerinde yapılan egzersizlerin, bireylerin aerobik fitnesslerini arttırdığı gözlenmiştir (121, 122).

Yüksek yoğunluktaki egzersiz testi ile düşük yoğunluktaki egzersiz testinin karşılaştırılmasında toplam enerji tüketiminin farklılık gösterdiği ama yağ yakım oranında değişiklik göstermediği belirtilmiştir (123). Bu çalışmada egzersiz yoğunluğunun % 61'lerden %72'lere çıkmasının yağ kullanım oranında önemli artışa neden olduğu gösterilmiştir. İlave olarak artan iş gücü oranına bağı olarak toplam enerji tüketim miktarının artışı da beklenebilir.

%25 AE üstüne denk gelen sabit yük egzersiz testinde ise bireylerin substrat kullanımı tamamen karbonhidrat ağırlıklı olmakta ve RQ değerleri glikojen kullanımına bağı olarak 1.00 üzerinde bulunmuştur. Üzerinde durulması gereken diğ bir ilginç nokta ise %25 AE üstü egzersiz testinde deneklerin egzersizi sonlandırma süreleri SKN'deki egzersiz testinde karbonhidratların azalıp yağlara kaymaya denk gelen iş güçlerine yakın olmasıdır. AE üstü egzersiz testlerinde karbonhidrat kaynaklarının azalması egzersizi sonlandırmak için önemli bir faktördür.



Şekil 6.1: Farklı enerji substratları ve egzersiz yoğunluğunun özellikleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. ATP dönüşümü, bacak kasında sistem boyunca hesaplanmıştır. PCr ve laktat sadece yüksek yoğunluktaki egzersizde ATP üretimine önemli katkı sağlayarak oluşmuştur (kaynak 115'ten alınmıştır) (115).

Bu çalışmada egzersiz testini 30 dakika ile sınırladık. %25 AE altı ve AE'nin yaklaşık 20. dakikasında, SKN'nin ise 18. dakikasıdan itibaren RQ'da sabitlenme görülmüştür. Egzersiz 30 dakikanın üzerine çıkma durumunda bu RQ değerlerinde daha da azalmanın olması yani yağlara dönüşüm hızlanması kuvvetle muhtemel olacaktır. SKN'deki egzersiz yoğunluğunun artışı katekolamin ve glukagon seviyesinde artışa insülin seviyesinde ise azalmaya neden olmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, elde edilen değerlerin analizinde standart sağlamak için genelde maximal iş gücünün % değeri, VO_2 maxın % değeri, maximal kalp atım değerinin % değerleri gibi parametreler kullanılmaktadır. Bununla birlikte substrat kullanımının belirlenmesi için kullanılan bu üç parametrenin sonuçları farklılık göstermektedir (124). Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar hangi kriter olursa olsun belirli bir % değer yerine (%40 VO_2 max gibi) bireylerin egzersiz sırasındaki ölçülen AE değerleri veya SKN değerlerinin daha anlamlı olduğudur. Literatürde genel olarak %70 VO_2 max üzeri ağır kabul

edilirken bireysel olarak bu değerler farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmadaki denek grubunda devam ettirilebilen en yüksek egzersiz değerleri %67 ve %76 arasında değişiklik göstermekle birlikte ortalama %72 civarındadır. Diğer bir önemli nokta ise bu egzersiz grubundaki bireylerin kaldırabilecekleri en yüksek kg başına iş üretim kapasiteleri bireyler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmanın işığında sonuçların daha gerçekçi ve bireylere daha uygun değerleri yansıtabilmesi için her birey için aynı anlamı ifade eden (farklı iş gücü değerleri ve VO_2max % değerleri olsa bile) AE ve SKN'deki egzersiz değerleri kullanılmalıdır (125, 126).

Egzersiz substrat kullanım değişimleri ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında deneklerin %50 ile %75 VO_2max değerleri arasında yağ kullanım oranlarında artış olduğu gösterilmiştir (şekil 6.1). Bu çalışmada ise elde edilen önemli bulgulardan bir tanesi ise bu %50 ile %75 arası bölgedeki değerlerin AE ve SKN noktalarına denk gelmesini gösterdiğidir. Bulgulardan elde edilen sonuçlara göre AE değerleri denekler arasında farklılık göstermekle birlikte ortalama %60'a denk gelmektedir. Deneklerin AE'ye denk gelen iş güçlerinde yaptıkları 30 dakikalık test süresince substrat kullanım durumlarında meydana gelen değişiklikler şekil 5.4'te gösterilmiştir. Deneklerin 20 dakika üzerinde substrat kullanımlarının 0.95'lere düşerek testin sonuna kadar sabit olarak devam ettiğini gözlenmektedir. Bu substrat kullanım değeri %16 yağ ve %84 karbonhidrat şeklinde olmaktadır.

Özellikle obezite kliniklerinde hastaları zayıflatmak amacıyla geliştirilen ideal yağ yakım aerobik bölgesi maksimal kalp atımının %50'si ile AE arasında olduğu ileri sürülmüştür (127). Bu çalışmada ise AE'deki yağ yakım oranı

SKN'de elde edilen yağ yakım oranından daha düşük bulunmuştur (Tablo 6.1). SKN'de egzersizin yağ yakım oranını artırdığı gibi yağ yakımına geçme süresi de daha erken olmaktadır. AE ve %25 AE altında yapılan sabit yük egzersiz testlerinde, testin sonuna doğru yağ-karbonhidrat oranı %16-84 olarak bulunmuştur. SKN'de yapılan egzersiz testinde ise bu oran %30-70 olarak gözlenmiştir. Bu nedenle egzersiz sırasında ideal yağ yakım iş gücünün AE ve AE altı egzersiz testlerinden daha ziyade AE ile SKN arasında olduğu gösterilmiştir.

SKN üzerindeki yoğunlukta yapılan egzersiz testlerinde deneklerin egzersizi 30 dakika ile devam ettirebilmeleri mümkün olmadı. %25 AE üstü egzersiz testlerinde deneklerin egzersizi devam ettirme süreleri farklılıklar göstermekle birlikte 10-17 dakika arasında bulundu.

Egzersiz yoğunluğunun %100 AE üstü olduğu testte ise deneklerin egzersizi devam ettirebilme süreleri yaklaşık 2-3 dakika arasına inmelerine sebep olmuştur. Burada enerji kaynağı olarak sadece glikolitik anaerobik metabolizma ve fosfokreatin olduğu düşünülmektedir. Bu çok ağır egzersiz protokolünde deneklerin testi sonlandırmasında asit, H^+ , K^+ gibi birçok faktörlerin olduğu düşünülebilir (128). Uygulanan iş gücünü devam ettirebilmekte başarısız olduğunu tanımlayabilecek kas yorgunluğu SKN üzerinden yukarılara çıktıkça daha belirgin hale gelmektedir (128). İstirahat egzersiz ve iyileşme durumlarında iskelet kaslarının yağ asitleri ve gliserol üzerine etkileri çalışılmış ve iskelet kaslarının egzersiz sırasında gliserol kullanımını birkaç kat arttırmıştır (127, 129). Literatürde, yapılan çalışmalarda yüksek yoğunluktaki egzersiz protokollerinin lipid dengesini etkileyerek vücut yağ oranını azalttığı gösterilmiştir (130, 131). Bu çalışmada elde edilen VO_2max 'ın %72'sine denk gelen SKN'deki iş gücünde elde

ettiğimiz diğerlerine göre daha düşük RQ bu sonucu desteklemektedir. Burada uygulanması gereken önemli nokta ise karbonhidratların 30 dakika boyunca yapılan sabit yük egzersiz testi sırasında kasların ana enerji kaynağı olduğudur: AE'de %84, SKN'de ise %70'dir.

6.4. Sonuçlar

Egzersiz yoğunluğunun sağlık ve fitnes üzerine etkilerinin belirlenerek uygun egzersiz iş gücü şiddetinin bireylere göre seçimi sağlanmalıdır. AE ve SKN'deki egzersiz yoğunlukları bu konuda göz önünde bulundurulması gereken iki etkili egzersiz bölgesidir.

Substrat kullanım oranlarının istirahatde, egzersiz sırasında belirlenmesi günümüzün vebas olarak kabul edilen obezite tedavisinde önemli bir kriterdir. Özellikle SKN'deki egzersiz yoğunluğunun yağ yakımını erkene alması ve daha fazla oranda yakması nedeni ile obezite tedavisinde rol oynayan bir parametredir. Bu AE ile SKN arasındaki egzersiz yoğunluğu "ideal yağ yakım bölgesi" olarak tanımlanabilir.

Bireylere uygulanacak olan (fitnes ölçümü, antrenman programı vb.) egzersiz parametrelerinin belirlenmesinde % değerler yerine (%VO₂max veya %Wmax gibi) bireylere uygun ve her birey için aynı değeri ifade eden AE veya SKN (veya KG) egzersiz noktalarının kullanılması daha önem arz etmektedir.

6.5. Yapılması Hedeflenen Çalışmalar:

Bu çalışmada elde edilen önemli bir sonuç olan “AE ve özellikle SKN’deki iş gücündeki egzersiz protokollerinde gözlenen yüksek oranda yağ kullanımı” obezite için önemli bir destekleyici tedavi yöntemi olabileceğini düşündürmektedir. Böylelikle, obezlerin egzersiz RQ değerlendirilmesinde egzersiz şiddeti ve süresi ile olan ilişkilerinin belirlenmesi hedeflenen çalışmalardan biridir. İlave olarak, bu egzersiz uygulamalarının sağlayacağı diğer pozitif etkilerin (fiziksel fitness artışı ve kan biyokimyasal değişikliklerinin değerlendirilmesi) belirlenmesi diğer önemli hedef noktasıdır.

7. KAYNAKLAR

1. WHO World Health Report: Health Systems-Improving Performance. Geneva-Switzerland, 2000.
2. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, W Stringer, BJ Whipp. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications, Lippincott Williams & Wilkins; Fifth edition, 2012.
3. Albouaini K, Egred M, Alahmar, Wright DJ. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Heart* 2007; 93: 1285-1292.
4. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation and Prevention Committee of the Council on Clinical Circulation 2010; 122: 191-225.
5. Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. Cardiopulmonary exercise testing: relevant but underused *Postgrad Med* 2010; 122: 68-86.
6. Wasserman K. Coupling of external to cellular respiration during exercise: the wisdom of the body revisited. *Am J Physiol* 1994; 266: 519-539.
7. Agostoni P, Cattadori G. Patterns of response diagnostic for cardiac disease. *Eur Respir* 2007; 40: 93-107.
8. 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.
9. Singh S. Walking for the assessment of patients with chronic obstructive pulmonary disease. In: *Clinical Exercise Testing*. Ward SA, Palange P. (Ed). *Eur Respir*. 2007; 40: 148-164.
10. Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Rev Respir Med* 2010; 4: 179-188.
11. Palange P, Ward SA. Indications for exercise testing: a critical perspective. In: *Eur Res Mon* 2010; 1: 221-230.
12. Roca J, Rabinovich R. Clinical exercise testing. *Eur Respir Mon* 2005; 40: 146-165.
13. Horwich TB, Leifer ES, Brawner CA. The relationship between body mass index and cardiopulmonary exercise testing in chronic systolic heart failure. *Am Heart J* 2009; 158: 31-36.
14. Balke B, Ware RW. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *U. S Armed Forces Med J* 1959; 10: 675-688.
15. 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.
16. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman KA. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol* 1981; 50: 217-221.

17. Whipp BJ, Wagner PD, Agusti A. Determinants of the physiological systems responses to muscular exercise in healthy subjects. *Eur Res Mon* 2007; 40: 1-35.
18. Ward SA. Discriminating features of responses in cardiopulmonary exercise testing. *Eur Respir* 2007; 40: 36-68.
19. Ferguson C, Whipp BJ, Cathcart AJ, et al. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance *J Appl Physiol* 2007; 103: 812-822.
20. Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, et al. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exer* 2006; 38: 1770-1781.
21. Ozcelik O, Dogan H, Kelestimur H. Effects of a weight reduction program with orlistat on serum leptin levels in obese women: A 12-Week, Randomized, Placebo- Controlled Study. *Curr Ther Res Clin Exp* 2004; 65: 127-137.
22. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14: 844-852.
23. Holmann W. Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med* 1985; 6: 109-116.
24. Solberg G, Robstad B, Skjonsberg OH, Borchsenius F. Respiratory gas Exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sports Sci Med* 2005; 4: 29-36.
25. Casaburi R. A primer in cardiopulmonary exercise testing. *Monaldi Arch Chest Dis* 1993; 48: 266-271.
26. Green P, Lund LH, Mancini D. Comparison of peak exercise oxygen consumption and the Heart Failure Survival Score for predicting prognosis in women versus men. *Am J Cardiol* 2007; 99: 399-403.
27. Mello RG, Oliveira LF, Nadal J. Detection of the anaerobic threshold by surface electromyography. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2006; 1: 6189-6192.
28. 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.
29. Whipp BJ. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol* 2007; 92: 347-355.
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. Reproducibility of the determination of anaerobic threshold in patients with heart failure. *Arq Bras Cardiol* 2010; 94: 771-778.
32. Whipp BJ. Domains of aerobic function and their limiting parameters. In: *The Physiology and Pathophysiology of Exercise Tolerance*. Edited by Ward SA. 1996; 12(3): 83-89.
33. Older P, Hall A. Clinical review: how to identify high-risk surgical patients. *Crit Care* 2004; 8: 369-372.

34. 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.
35. Moritani T, Nagata A, deVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981; 24: 339-350.
36. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscle group. *Ergonomics* 1965; 8: 329-338.
37. Brickley G, Doust J, Williams CA. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *Eur J Appl Physiol* 2002; 88: 146-151.
38. Jenkins DG, Quigley BM. The y - intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1991; 34: 13-22.
39. Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, et al. Critical power: implications for determination of VO₂max and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exer* 2010; 42: 1876-1890.
40. Dekerle J, Sidney M, Hespel JM, Pelayo P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med* 2002; 23: 93-98.
41. Mielke M, Housh TJ, Hendrix CR, et al. A test for determining critical heart rate using the critical power model. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 504-510.
42. Anderson P, Saltin B. Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J Appl Physiol* 1985; 366: 233-249.
43. Vogel JA, Gleser MA. Effect of Carbon monoxide on oxygen transport during exercise. *J Appl Physiol* 1972; 32: 234-239.
44. di Prampero PE. Metabolic and circulatory limitations to VO₂ max at the whole animal level. *J Exp Biol* 1985; 115: 319-331.
45. Hoppeler H, Weibel ER. Limits for oxygen and substrate transport in mammals. *J Exp Biol* 1998; 201: 1051-1064.
46. Bonen A, Dohm GL, van Loon LJ. Lipid metabolism, exercise and insulin action. *Essays Biochem* 2006; 42: 47-59.
47. Hargreaves M. Metabolic responses to carbohydrate ingestion: effects on exercise performance. In: *Perspectives in Sports Medicine and Exercise Science. The Metabolic Basis of Performance in Exercise and Sport*, Lamb DR and Murray R (Eds.). Carmel, IN: Cooper Publishing, 1999; 12: 93-124.
48. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of Sport and Exercise*: 3rd Edition. Champaign, IL: Human Kinetics, 2005.
49. Homma T, Hamaoka T, Sako T, et al. Muscle oxidative metabolism accelerates with mild acidosis during incremental intermittent isometric plantar flexion exercise. *Dyn Med* 2005; 20: 4-2.

50. Terjung RL, Clarkson P, Eichner ER, et al. American college of sports medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 706-717.
51. McArdle WD, Katch FL, Katch VI. Exercise physiology: Energy, nutrition and human performance, 5th Edition ed. McArdle WD, Katch FL, Katch VI, editors Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
52. Janssen AJ, Trijbels FJ, Sengers RC, et al. Measurement of the energy-generating capacity of human muscle mitochondria: diagnostic procedure and application to human pathology. *Clin Chem* 2006; 52: 860-871.
53. Wolinsky I, Driskell AJ. Sport Nutrition, Energy Metabolism and Exercise, Crc Press Taylor and Francis Group, 2008.
54. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exer* 1995; 27: 863-867.
55. Vogt M, Puntchart A, Howald H, et al. Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes. *Med Sci Sport Exer* 2003; 35: 952-960.
56. Hargreaves M, Hawley JA, Jeukendrup AE. Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance. *J Sport Sci* 2004; 22: 31-38.
57. Wasserman K, Beaver WL, Davis JA, Pu JZ, Heber D, Whipp BJ. Lactate, pyruvate, and lactate-to-pyruvate ratio during exercise and recovery. *J Appl Physiol* 1985; 59: 935-940.
58. Shulman RG, Rothman DL. The 'glycogen shunt' in exercising muscle energetics and fatigue. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001; 98: 457-461.
59. Shulman RG. Glycogen turnover forms lactate during exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 2005; 33: 157-162.
60. Sherman WM, Doyle JA, Lamb DR, Strauss RH. Dietary carbohydrate, muscle glycogen and exercise performance during 7 d of training. *Am J Clin Nutr* 1993; 57 :27-31.
61. Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Q J M Int J Med* 1923; 16: 135-71.
62. Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 281-288.
63. Simonsen JC, Sherman WM, Lamb DR et al. Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and power output during rowing training. *J Appl Physiol* 1991; 70: 1500-1505.
64. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10: 123-145.
65. Bonen A. Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Med Sci Sport Exerc* 2000; 32: 778-789.
66. Adamo KB, Tarnopolsky MA, Graham TE. Dietary carbohydrate and postexercise synthesis of proglycogen and macroglycogen in human skeletal muscle. *Am J Physiol: Endoc M* 1998; 275: 229-234.

67. Burke LM, Hawley JA. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. *Med Sci Sport Exer* 2002; 34: 1492-1498.
68. Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med* 1999; 27: 313-327.
69. Decombaz J, Schmitt B, Ith M, et al. Postexercise fat intake repletes intramyocellular lipids but no faster in trained than in sedentary subjects. *Am J Physiol* 2001; 281: 760-769.
70. Whipp BJ, Wasserman K. Blood-gas and acid-base regulation. In: *The Lung*, chapter 152, edited by Crystal RG, West JB, et al. Lippincott Raven Publisher, Philadelphia 1987; 2021-2031.
71. Holloszy JO, Kohrt WM, Hansen PA. The regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise. *Front Biosci* 1998; 15: 1011-1027.
72. Jeppesen J, Kiens B. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise. *J Physiol* 2012; 590: 1059-1068.
73. Galbo H. Exercise physiology: Humoral function. *Sport Sci Rev* 1992; 1: 65-93.
74. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 92-97.
75. 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: 603-607.
76. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange *J Appl Physiol* 1986; 60: 2020-2027.
77. Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N, et al. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14: 339-343.
78. 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.
79. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis.* 1984; 129(2): 49-55.
80. Serhatlıoğlu İ. Sedanter Deneklerin aerobik performans kapasitelerinin belirlenmesinde "Kritik Güç" ve "Anaerobik Eşik" değerlerinin geçerliliğinin karşılaştırılması olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2010.
81. Bordenave S, Metz L, Flavier S et al. Training-induced improvement in lipid oxidation in type 2 diabetes mellitus is related to alterations in muscle mitochondrial activity. Effect of endurance training in type 2 diabetes. *Diabetes Metab* 2008; 34(2):162-168.
82. Genton L, Melzer K, Pichard C. Energy and macronutrient requirements for physical fitness in exercising subjects. *Clin Nutr* 2010; 29: 413-423.
83. Chan JM, Rimm EB, Colditz GA, et al. Obesity, fat distribution, and weight gain as a risk factors for clinical diabetes in man. *Diabetes Care* 1994; 17: 961-969.

84. Zanonoto S, Baraldi E, Santuz P, et al. Gas exchange during exercise in obese children. *Eur J Pediatr* 1989; 148: 614-617.
85. Brandou F, Dumortier M, Garandeau P, Mercier J, Brun JF. Effects of a two-month rehabilitation program on substrate utilization during exercise in obese adolescents. *Diabetes Metab* 2003; 29: 20-27.
86. Galgani J, Ravussin E. Energy metabolism, fuel selection and body weight regulation. *Int J Obes* 2008; 32(7): S109-S119.
87. Lyon M, Dunlop DM, Stewart CP. Respiratory quotient in obese subjects. *Biochem J* 1932; 1107-1117.
88. Felig P, Wahren J. Fuel homeostasis in exercise. *N Engl J Med* 1975; 293:1078.
89. Wahren J. Glucose turnover during exercise in man. *Ann N Y Acad Sci* 1977; 301: 45.
90. Sahlin K, Tonkonogi M, Söderlund K. Energy supply and muscle fatigue in humans, *Acta Physiol* 1998; 162: 261-266.
91. Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol* 1974; 241:45.
92. Essen B. Glycogen depletion of different fibre types in human skeletal muscle during intermittent and continuous exercise. *Acta Physiol* 1978; 103: 446.
93. Das AM, Steuerwald U, Illsinger S. Inborn errors of energy metabolism associated with myopathies. *J Biomed Biotechnol* 2010; 340: 849.
94. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993; 265: 380-391.
95. Holloszy JO. A forty-year memoir of research on the regulation of glucose transport into muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003; 284: 453-467.
96. Measurement of Energy in Food and During Physical Activity. *Nutrient Bioenergetics in Exercise and Training Outline* 2007.184.
97. Westerblad H, Bruton JD, Katz A. Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Exp Cell Res* 2010; 1; 316(18): 3093-3099.
98. Voderholzer U, Dersch R, Dickhut HH, et al. Physical fitness in depressive patients and impact of illness course and disability. *J Affect Disord* 2011; 128: 160-164.
99. Epstein LH, Coleman K, Myers M. Exercise in treating obesity in children and adolescent. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 428-435.
100. Van Aggel-Leijssen DP, Saris WH, Wagenmakers AJ, Senden JM, Van Baak MA et al. Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *J Appl Physiol* 2002; 92: 1300-1309.
101. Manetta J, Brun JF, Perez-Martin A, et al. Fuel oxidation during exercise in middle-aged men: role of training and glucose disposal. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 33: 423-429.

102. Bar-Or O, Foreyt J, Bouchard C, et al. Physical activity, genetic, and nutritional considerations in childhood weight management. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 2-10.
103. Hardman AE. Physical activity and health: current issues and research needs. *Int J Epidemiol* 2001; 30(5): 1193-1197.
104. Ekkekakis P, Hall EE, Petruzzello SJ. Practical markers of the transition from aerobic to anaerobic metabolism during exercise: rationale and a case for affect-based exercise prescription. *Prev Med* 2004; 38(2):149-159.
105. Lemon PW, Mullin JP. Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol* 1980; 48: 624-629.
106. Larew K, Hunter GR, Larson-Meyer DE, et al. Muscle metabolic function exercise performance and weight gain. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(2): 230-236.
107. Bangsbo J, Madsen K, Kiens B, Richter EA. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *J Physiol* 1996; 495(2): 587-596.
108. Spriet LL, Lindinger MI, Mckelvie RS, Heigenhauser GJ, Jones NL. Muscle glycogenolysis and H^+ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol* 1989; 66: 8-13.
109. Amorena CF, Wilding TJ, Manchester JK, Ross A. Changes in intracellular pH caused by high K in normal and acidified frog muscle. *J Gen Physiol* 1990; 96: 959-972.
110. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008; 88: 287-332.
111. Gordon AM, Homsher E, Regnier M. Regulation of contraction in striated muscle. *Physiol Rev* 2000; 80: 853-924.
112. Coupland ME, Puchert E, Ranatunga KW. Temperature dependence of active tension in mammalian (rabbit psoas) muscle fibres: effect of inorganic phosphate. *J Physiol* 2001; 536: 879-891.
113. Fryer MW, West JM, Stephenson DG. Phosphate transport into the sarcoplasmic reticulum of skinned fibres from rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 1997; 18: 161-167.
114. Homsher E. Muscle enthalpy production and its relationship to actomyosin ATPase. *Annu Rev Physiol* 1987; 49: 673-690.
115. Sahlin K, Metabolic changes limiting muscle performance. *Int Series Sport Sci* 1986; 16: 323-343.
116. Powers SK, Jackson MJ. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol Rev* 2008; 88: 1243-1276.
117. Bruton JD, Place N, Yamada T, et al. Reactive oxygen species and fatigue-induced prolonged low-frequency force depression in skeletal muscle fibres of rats, mice and SOD2 overexpressing mice. *J Physiol* 2008; 586: 175-184.
118. Katz A, Sahlin K, Broberg S. Regulation of glucose utilization in human skeletal muscle during moderate dynamic exercise. *Am J Physiol* 1991; 260: 411-415.

119. Ravussin E, Bogardus C, Scheidegger K, et al. Effect of elevated FFA on carbohydrate and lipid oxidation during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol* 1986; 60: 893-900.
120. Hargreaves M. Metabolic responses to carbohydrate ingestion: effects on exercise performance. In: *Perspectives in Sports Medicine and Exercise Science. The Metabolic Basis of Performance in Exercise and Sport*, D. R. Lamb and R. Murray (Eds.). Carmel, IN: Cooper Publishing, 1999; 12: 93-124.
121. Hoogeveen AR. The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82: 45-51.
122. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exercise Sport* 1980; 51: 234-248.
123. Egan D, Head T. Energy substrate metabolism during dual work rate exercise: Effects of order. *J Sports Sci* 1999; 17(11): 889-894.
124. Capostagno B, Bosch A. Higher fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities. *Int J Sport Nutr Exe* 2010; 20: 44-55.
125. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, LippincottWilliams & Wilkins, Baltimore, Md, USA, 8th edition, 2010.
126. Hofmann P, Tschakert G. Special needs to prescribe exercise intensity for Scientific Studies. *Cardiol Res Pract Volume* 2011; 2011: 209302.
127. Blaak EE. Substrate oxidation, obesity and exercise training. *Best Pract Res Cl En* 2002; 16(4): 667-668.
128. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* 2005; 98: 160-167.
129. Hall GV, Sacchetti M, Radegran G, Saltin B. Human skeletal muscle fatty acid and glycerol metabolism during rest exercise and recovery. *J Physiol* 2002; 543(39): 1047-1058.
130. Yoshioka M, Doucet E, St-Pierre S, et al. Impact of high-intensity exercise on energy expenditure, lipid oxidation and body fatness. *Int J Obesity* 2001; 25: 332-339.
131. Tremblay A, Despreas J-P, Leblanc C, et al. Effect of intensity of physical activity on body fatness and fat distribution. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 153-157.

8. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Ad soyad : Seda UĞRAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1986-ELAZIĞ
Adres : Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D.
: Elazığ/Merkez
e-mail : sedaugras@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans-Kocaeli Üniversitesi Spor Akademisi/Spor Yöneticiliği
Uzmanlık Alanı: Egzersiz Fizyolojisi ve Engellilerde Fiziksel Aktivite.
Uzmanlık Projesi: Otizm ve Otizmin Tedavisinde Egzersizin Rolü
Yüksek Lisans: Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi-Fizyoloji A.D/Elazığ
Yabancı Dil: İngilizce

YAYINLAR

Abstracts in International Congress:

- 1- **Seda Ugras**, Bayram Yılmaz, İhsan Serhatlıoğlu, Nida Aslan, Oguz Ozcelik. Effects of Work Load Intensity on Body Metabolism and Substrate Utilisation During Muscular Exercise Performance. Turkish FEPS Physiology Congress- Yeditepe University- Istanbul- September 3-7 2011- PC215.
- 2- Nida Aslan, İhsan Serhatlıoğlu, **Seda Ugras**, Fethi Ahmet Ugur, Oguz Ozcelik. Effects of Aerobic and Anaerobic Regions of Incremental Exercise Test on Cardiorespiratory and Metabolic Changes in Trained Subjects. Turkish FEPS Physiology Congress- Yeditepe University- Istanbul- September 3-7 2011- PC237.
- 3- İhsan Serhatlıoğlu, Gulsen Cakmak, **Seda Ugras**, Oguz Ozcelik. Effects of Anaerobic Threshold on Respiratory Patterns During Incremental

Exercise Test in Sedentary Male Subjects. Turkish FEPS Physiology Congress- Yeditepe University- Istanbul- September 3-7 2011- PC075.

4- Gulsen Cakmak, Ihsan Serhatlıoglu, **Seda Ugras**, Fethi Ahmet Ugur, Oguz Ozcelik. Determination of The Relationships Between Heart Rate Work Rate Ratio Anaerobic Threshold During Exercise in Sedentary Females Turkish. FEPS Physiology Congress- Yeditepe University- Istanbul- September 3-7 2011- PC238.

BELGELER

1-Turkish - Federation European Physiological Societies Physiology Congress Certificate of Attendance.

2- Kocaeli Üniversitesi Yüksek Onur Belgesi.

3- Kocaeli Üniversitesi Onur Belgesi.